EMPA

Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt
Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et institut de recherches
Laboratorio federale di prova dei materiali ed istituto sperimentale
Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research

# Beobachtungsstrecken mit verschiedenen Strassenbaubitumen

## Jährliche Beobachtungen 1972 - 1983
## Schlussbericht

Eidgenössisches Departement des Innern, Bern

Forschungsauftrag 3/81

EMPA Nr. 44800

CH-8600 Dübendorf

Oktober 1986

INHALTSVERZEICHNIS Seite

ZUSAMMENFASSUNG 4

A. EINLEITUNG 5

B. ZWECK 6

C. ALLGEMEINES ZU DEN BEOBACHTUNGSSTRECKEN 7

I. Lage der Beobachtungsstrecken 8

II. Aufbau, Materialien 16

III. Sanierung im Sommer 1983 18

D. MATERIALTECHNOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN: BINDEMITTEL, VERSCHLEISS- UND AUSGLEICHSSCHICHTEN 19

E. UNTERSUCHUNGEN AN DER FAHRBAHNOBERFLÄCHE 24

IV. Ausgeführte Arbeiten 24

V. Messmethoden und Messvorgang 25

F. RESULTATE DER EBENHEITS- UND GRIFFIGKEITS-MESSUNGEN (ISETH) 29

VI. Ebenheitsmessungen im Querprofil (Planum, Radspurrinnentiefe T, theoretische Wassertiefe t) 29

VII. Ebenheitsmessungen im Längsprofil (mit Winkelmessgerät) 55

VIII. Griffigkeitsmessungen 57

1. Griffigkeitsmessungen mit dem SRT-Gerät (Pendel) 57

2. Griffigkeitsmessungen mit dem Skiddometer 60

G. BEOBACHTUNGEN (EMPA) 64

IX. Augenscheine 64

1. Beurteilung verschiedener Kriterien 64

2. Besonderes Vorkommnis (Risse) 72

3. Aussehen (Fotos) 78

Seite

H. BEURTEILUNGEN

1. Ebenheit im Querprofil 86
   - Vertiefungen V und Erhöhungen E in den Radspurbereichen 86
   - Spurrinnentiefe; T-Wert, V+E-Wert 89
   - Theoretische Wassertiefe t 96
   - Stand der Spurrinnenbildung im Jahr 1983 102
   - Vergleich mit der Norm SN 640 521a, Ebenheit 103
2. Ebenheit im Längsprofil 104
3. Griffigkeit 105
4. Kornausbruch, Kornzertrümmerung 106
5. Oberflächenbeschaffenheit 107
6. Allgemeinzustand 108

I. SCHLUSSFOLGERUNGEN 112

1. Konzept der Beobachtungsstrecken 112
2. Mischguteigenschaften 112
3. Eigenschaften der Verschleiss- und Ausgleichsschicht 112
4. In-situ-Verhalten der Beobachtungsstrecken 113
5. Bleibende Deformationen im Querprofil 113
6. Oberflächenbeschaffenheit; Rissbildung 117
7. Kornausbrüche, Kornzertrümmerungen 118
8. Ebenheit im Längsprofil 118
9. Griffigkeiten 118
10. Eigenschaften der Bindemittel bezüglich in-situ-Verhalten der Beläge 119

ZUSAMMENFASSUNG

Während insgesamt 11 Jahren, von 1972 bis zur Sanierung 1983, konnte das Praxisverhalten von fünf Beobachtungsstrecken auf der als Autobahn ausgeführten Regionalverbindungsstrasse HLS Bülach - Kloten verfolgt werden. Der Schichtaufbau dieser Beobachtungsstrecken umfasst, wobei lediglich das Bindemittel in den beiden obersten Schichten variiert, etwa 40 mm Verschleissschicht AB 16, 40 mm Ausgleichsschicht AB 16u und 110 mm zweilagig eingebaute Heissmischtragschicht HMT 32 mit Bitumen B 60/70. Die Asphaltbetonbeläge der Sorten AB 16 und AB 16u wurden gemäss Schweizer Norm SN 40'432a eingebaut. In bezug auf Anforderungen an Marshall-Prüfkörper fand jedoch die damals in Bearbeitung befindliche Norm 640'438 Berücksichtigung.

In den verschiedenen Beobachtungsstrecken lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Deformationsverhalten der Verschleiss- und Ausgleichsschicht sowie der Bindemittelhärte im oberen Gebrauchsbereich der Temperatur feststellen. Die mit geblasenem Bitumen 80/100 S ausgeführte Beobachtungsstrecke 1, bei dem es sich gemäss Norm um kein Strassenbaubitumen handelt, weist die deutlich geringsten bleibenden Deformationen auf. Seit dem dritten Betriebswinter ist jedoch eine Rissbildung festzustellen, die seither stark zunehmend ist. Auch die mit Bitumen 60/70 ausgeführte Beobachtungsstrecke verhält sich bei der herrschenden hohen Beanspruchung gegenüber bleibenden Deformationen günstiger als die mit Bitumen 80/100 ausgeführten Beobachtungsstrecken 2, 3 und 4.

Die im Rahmen dieses Forschungsauftrages insgesamt gewonnenen Erkenntnisse sind am Schluss dieses Berichtes in den Kommentaren und Schlussfolgerungen aufgeführt. Ebenfalls aufgeführt sind die wesentlichen Ergebnisse aus der Forschungsarbeit 30/77. Im entsprechenden Schlussbericht sind die Resultate von umfangreichen materialtechnologischen Untersuchungen an Ausschnitten aus den verschiedenen Beobachtungsstrecken, entnommen nach sechs Betriebsjahren, enthalten.

## A. EINLEITUNG

Die Forschungsaufträge (FA) der EMPA Dübendorf

- ANFORDERUNGEN AN STRASSENBAUBITUMEN FA 2/73 UND 8/77
- BEOBACHTUNGSSTRECKEN MIT VERSCHIEDENEN STRASSENBAU-BITUMEN FA 3/73, 29/77, 30/77 UND 3/81

sind eng miteinander verknüpft. Im FA 2/73 "ANFORDERUNGEN AN STRASSENBAUBITUMEN" sind die Ergebnisse von Laboruntersuchungen an 14 Bitumen mit insgesamt 37 Laboratoriumsproben aufgeführt. Einbezogen wurden vor allem Bitumen der Sorten 40/50 und 80/100, die sich nach Rohölprovenienz und Herstellungsart unterscheiden. Eine Auswertung der in verschiedenen Teilberichten veröffentlichten Resultate erfolgte im FA 8/77.

Vier dieser Bitumen, das eine sowohl mit als auch ohne Haftmittel, fanden in fünf Beobachtungsstrecken auf der stark befahrenen Autobahn Bülach - Kloten Verwendung. Die fünf Strekken, die sich lediglich im Bindemittel der Verschleiss- und Ausgleichsschicht unterscheiden, weisen ein stark unterschiedliches Verhalten auf. Bei vier Strecken sind im allgemeinen starke, z.T. sehr starke Spurrinnen aufgetreten. Bei einer Strecke, ausgeführt mit einem geblasenen Bitumen 80/100 S, haben sich deutlich geringere Spurrinnen ausgebildet, dagegen ist eine starke Rissbildung aufgetreten.

Die Ergebnisse der Untersuchungen an Bohrkernen, entnommen unmittelbar nach dem Einbau, sowie Beobachtungen und Messungen auf den Strecken der ersten fünf Betriebsjahre sind in verschiedenen Berichten des FA 3/73 "BEOBACHTUNGSSTRECKEN MIT VERSCHIEDENEN STRASSENBAUBITUMEN" veröffentlicht. Die entsprechenden Beobachtungen und Messungen der Jahre 1978 bis 1980 sind im Schlussbericht des FA 29/77 aufgeführt.

Im Herbst 1978 wurden ausserdem aus 15 Profilen der fünf Beobachtungsstrecken Ausschnitte des gesamten Normalfahrstreifens entnommen. Durch umfangreiche materialtechnologische Untersuchungen an diesen Ausschnitten sind Zustand und Eigen-

schaften der einzelnen Schichten der verschiedenen Strecken nach sechs Betriebsjahren im Schlussbericht der FA 30/77 festgehalten.

Im Sommer 1983 musste ein grösseres Teilstück des Normalfahrstreifens der Autobahn Bülach - Kloten, das auch die fünf Beobachtungsstrecken umfasste, saniert werden. Ab diesem Zeitpunkt ist das ursprüngliche Konzept der Beobachtungsstrecken im Normalfahrstreifen, zusätzlich in der Beobachtungsstrecke 1 auch im Ueberholstreifen, verändert.

Im vorliegenden Schlussbericht des FA 3/81 sind die vor der Sanierung gemachten Beobachtungen und durchgeführten Messungen der Jahre 1981 und 1983 aufgeführt. Zudem sind die Beobachtungen und Messungen der gesamten Benützungsdauer zusammenfassend dargestellt.

## B. ZWECK

Im Rahmen des Projektes "Beobachtungsstrecken mit verschiedenen Strassenbaubitumen" sind aufgrund des Langzeitverhaltens Rückschlüsse auf entscheidende Eigenschaften der Bitumen zu ziehen.

Umfassend sind die Auswirkungen der in den Belägen der Verschleissschicht AB 16 und der Ausgleichsschicht AB 16u verwendeten verschiedenen Bitumen auf das Deformationsverhalten, die Rissbildung, die Griffigkeit, die Kornausbrüche und Kornzertrümmerungen usw. zu untersuchen.

Bis zur vorgesehenen Sanierung ist mit den jährlichen Beobachtungen der weitere Verlauf der Spurrinnenbildung (Ebenheit im Querprofil), der Ebenheit im Längsprofil und der Griffigkeit zu verfolgen. Von besonderem Interesse ist auch die weitere Entwicklung der Rissbildung in der mit geblasenem Bitumen 80/100 S ausgeführten Beobachtungsstrecke 1.

## C. ALLGEMEINES ZU DEN BEOBACHTUNGSSTRECKEN

Die Beobachtungsstrecken liegen so, dass das Verhalten von fünf Bitumen in Asphaltbetonbelägen auf einer stark bis sehr stark befahrenen Autobahn im Schweizer Mittelland untersucht werden kann (tägliche äquivalente Verkehrslast TF > 1000).

Es wurden drei Bitumen B 80/100 und ein Bitumen B 60/70 gewählt. Jedes dieser Bitumen, ein Bitumen B 80/100 sowohl mit als auch ohne Haftmittel, fand jeweils in einer Beobachtungsstrecke in der Verschleiss- und in der Ausgleichsschicht Verwendung (vgl. Angaben zu den Beobachtungsstrecken, Seite 9/10). Dabei ist erstmals in der Schweiz ein Spezialbitumen B 80/100 S verwendet worden, das weniger temperaturempfindlich ist. Dieses Bitumen erfüllt jedoch die Anforderungen der Norm für Strassenbaubitumen nicht.

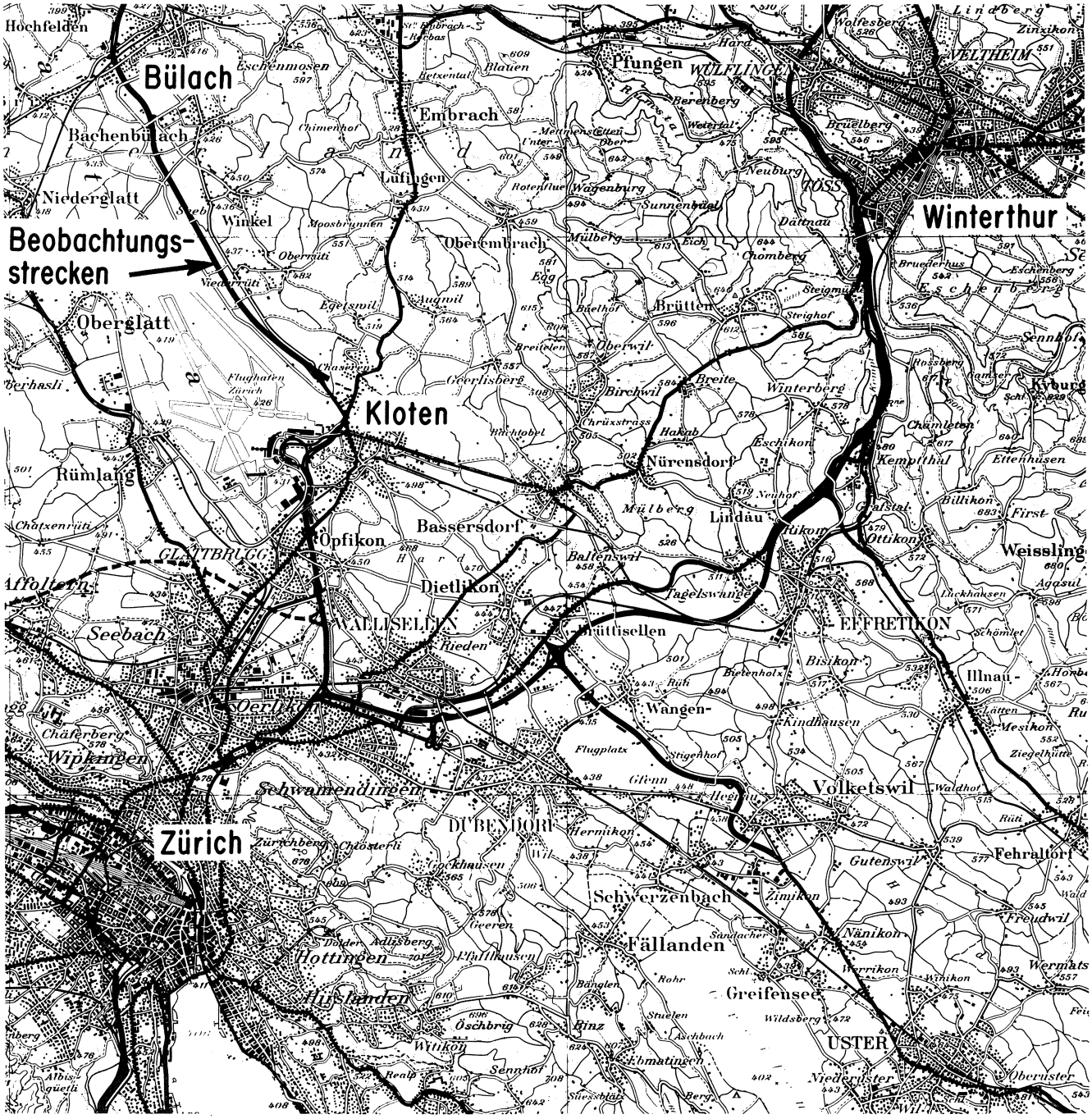
In den verschiedenen Beobachtungsstrecken wurde lediglich das Bindemittel in den Belägen (Verschleiss- und Ausgleichsschicht) variiert. Die im übrigen verwendeten Baustoffe sowie die angestrebten Zusammensetzungen der einzelnen Schichten sind in allen Beobachtungsstrecken identisch.

Die Beobachtungsstrecken sind mit Nummer 1 bis 5 bezeichnet. Die entsprechenden Bitumen sind im Forschungsauftrag FA 2/73 gleich numeriert. Umfangsreiche Bindemitteluntersuchungen wurden im 1. Teilbericht veröffentlicht.

I. Lage der Beobachtungsstrecken

Die fünf Beobachtungsstrecken befinden sich auf der als Autobahn ausgeführten REGIONALVERBINDUNGSSTRASSE HLS BÜLACH - KLOTEN, Fahrbahn Bülach-Kloten. Die Verkehrsübergabe fand am 15. September 1972 statt.

Situation: etwa 1 : 100'000



Angaben zu den Beobachtungsstrecken

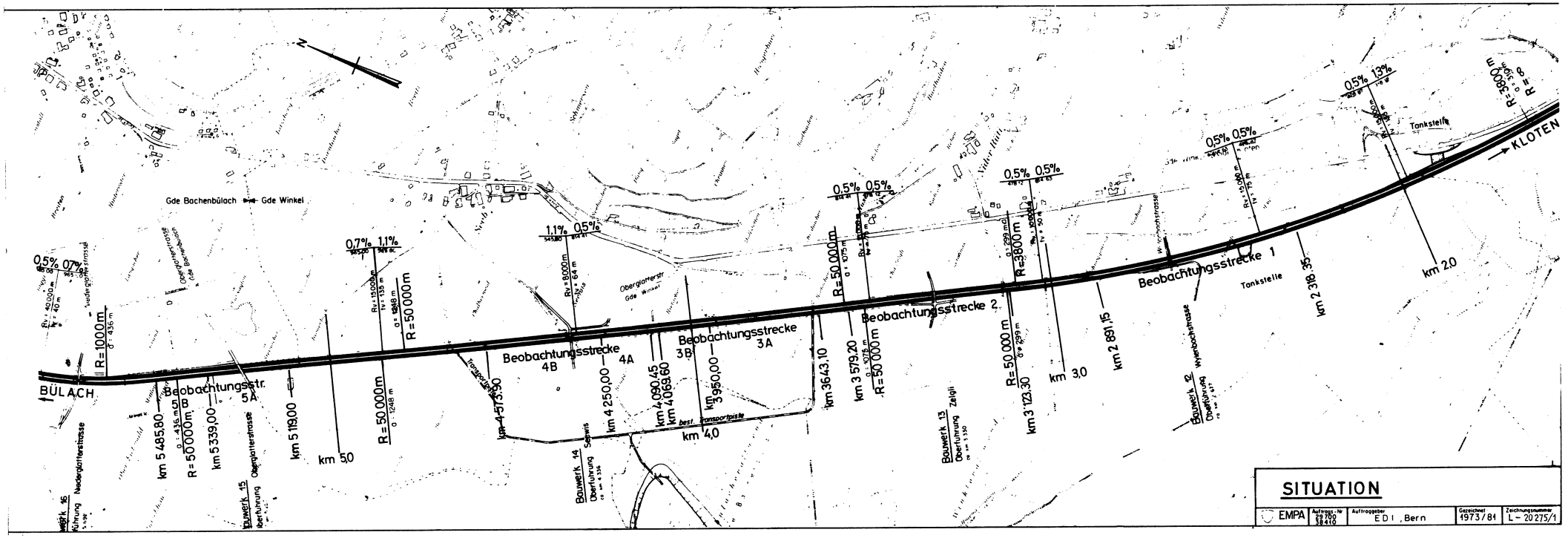
| Beobachtungs-strecke (BS) Bezeichnung | Kilometrierung km | Streckenlänge m | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2'318 - 2'891 | 573 | |
| 2 | 3'123 - 3'579 | 456 | |
| 3A * | 3'643 - 3'950 | 307 | } 427 |
| 3B * | 3'950 - 4'070 | 120 | |
| 4A * | 4'090 - 4'250 | 160 | } 484 |
| 4B * | 4'250 - 4'574 | 324 | |
| 5A ** | 5'119 - 5'339 | 220 | } 367 |
| 5B ** | 5'339 - 5'486 | 147 | |

* Aufteilung aufgrund unterschiedlichen Deformationsverhaltens.

** Eine Aufteilung der Beobachtungsstrecke 5 in die Teilstrecken 5A und 5B kam aufgrund der Verwendung unterschiedlich zusammengesetzter Ausgleichsschichten zustande. In der Teilstrecke 5B wurde in der Ausgleichsschicht ein AB 16, der gleiche Belag wie für die Verschleissschicht, eingebaut. Diese beiden Teilstrecken weisen ebenfalls ein unterschiedliches Deformationsverhalten auf.

Abbildungen 1 bis 10

Die Lage der Beobachtungsstrecken ist aus den Abbildungen 1 bis 10 ersichtlich (Aufnahmen aus dem Jahr 1981).




| 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Beobachtungsstrecke |
|---|---|---|---|---|---|
| B 60/70 | B 80/100 | B 80/100 | B 80/100 | B 80/100 S | Bitumensorte |
| Kuwait | Kuwait mit 0.2 Gew% Haftmittel | Kuwait (ohne Haftmittel) | Venezuela (Bachaquero) | Kuwait | Provenienz des Rohöls |
| Endprodukt: Mischung aus weichem, unter Vakuum destilliertem Bitumen (~ Penetration 200) und aus hartem, unter Vakuum destilliertem und angeblasenen Bitumen (~Penetration 20) | | | direkte Destillation Vakuum | Vakuum-Destillation, geblasen (spez. Blasvorgang, kein Strassenbaubitumen!) | Herstellungsart |



Abb. 1 (Foto EMPA-Nr. 81'681/23a)

Beobachtungsstrecke 1. In Fahrtrichtung gesehen, vom Anfang der Strecke (Tafel BS 1) in Richtung Kloten. Die Beobachtungsstrecke 1 befindet sich auf einem Damm.



Abb. 2 (Foto EMPA-Nr. 81'682/27a)

Gegen Fahrtrichtung gesehen, vom Ende der Beobachtungsstrecke 1 (Tafel BS 1) in Richtung Bülach.



Abb. 3 (Foto EMPA-Nr. 81'680/26)

Beobachtungsstrecke 2. In Fahrtrichtung gesehen, vom Anfang der Strecke (Tafel BS 2) in Richtung Kloten. Die Beobachtungsstrecke 2 befindet sich auf einem Damm.



Abb. 4 (Foto EMPA-Nr. 81'681/14a)

Gegen Fahrtrichtung gesehen, vom Ende der Beobachtungsstrecke 2 (Tafel BS 2) in Richtung Bülach.



Abb. 5 (Foto EMPA-Nr. 81'677/33)

Beobachtungsstrecke 3. In Fahrtrichtung gesehen, vom Anfang der Strecke (Tafel BS 3) in Richtung Kloten. Die Beobachtungsstrecke 3 befindet sich auf einem Damm.



Abb. 6 (Foto EMPA-Nr. 81'680/18a)

Gegen Fahrtrichtung gesehen, vom Ende der Beobachtungsstrecke 3 (Tafel BS 3) in Richtung Bülach.




Abb. 7 (Foto EMPA-Nr. 81'677/2a)

Beobachtungsstrecke 4. In Fahrtrichtung gesehen, vom Anfang der Strecke (Tafel BS 4) in Richtung Kloten. Die Beobachtungsstrecke 4 befindet sich in diesem Bereich auf einem Damm.



Abb. 8 (Foto EMPA-Nr. 81'677/26)

Gegen Fahrtrichtung gesehen, vom Ende der Beobachtungsstrecke 4 (Tafel BS 4) in Richtung Bülach. In diesem Bereich befindet sich die Strecke in einem Einschnitt.



Abb. 9 (Foto EMPA-Nr. 81'679/8a)

Beobachtungsstrecke 5. In Fahrtrichtung gesehen, vom Anfang der Strecke (Tafel BS 5) in Richtung Kloten.

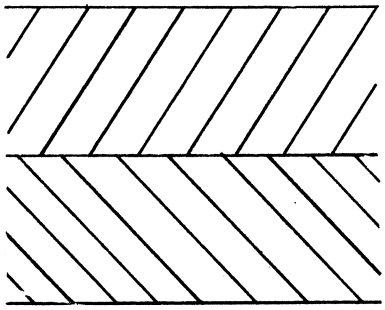


Abb. 10 (Foto EMPA-Nr. 81'679/32)

Gegen Fahrtrichtung gesehen, vom Ende der Beobachtungsstrecke 5 (Tafel BS 5) in Richtung Bülach.

## II. Aufbau, Materialien

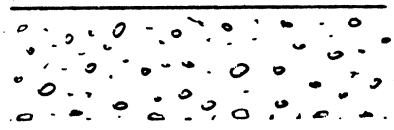
Für die Verschleiss- und Ausgleichsschichten der fünf Beobachtungsstrecken wurden keine speziellen Asphaltbetonbeläge, sondern übliche Heissmischbeläge der Sorten AB 16 und AB 16u gemäss SN 40'432a eingebaut.



40 mm Verschleissschicht (VS) AB 16

40 mm Ausgleichsschicht (AS) AB 16 u

110 mm Heissmischtragschicht HMT 32, zweischichtig mit Bitumen 60/70 (Gleiches Bitumen,wie in Beobachtungsstrecke 5 für VS und AS verwendet wurde.)



mind. 620 mm Fundationsschicht (teilweise mit etwa 200 mm Zementstabilisierung)

In allen Beobachtungsstrecken gelangten dieselben Mineralstoffe und dieselben Sollzusammensetzungen in den einzelnen Schichten zur Anwendung.

### Bindemittel

Angaben zu den fünf verwendeten Bitumen in der Verschleiss- und Ausgleichsschicht siehe Situation Seite 10.

## Haftmittel

Für die Beobachtungsstrecke 4 wurde dem Bitumen ein handelsübliches, in der Schweiz oft verwendetes Haftmittel zugegeben. Die Dosierung des Haftmittels in den Zwangsmischer erfolgte volumetrisch. Beim Abwägen der Bindemittelmenge wurde 0.2 Masse-% Haftmittel automatisch dosiert und separat - gleichzeitig mit dem Bindemittel - direkt in den Mischer zugegeben.

## Mineralstoffe

### Splitt

Die Splittarten entsprechen den Anforderungen gemäss SN 670'710 a und SN 40'432a, Ziffer 6, für TF ≥1001 für Verschleiss- bzw. Ausgleichsschichten.

Für die Ausgleichsschicht wurde ein gebrochenes Grubenmaterial verwendet. Die Verschleisschicht besteht in den Kornfraktionen unter 10 mm ebenfalls aus gebrochenem Grubenmaterial. Für die Fraktion über 10 mm wurde jedoch ein felsgebrochener Splitt verwendet, der praktisch ausschliesslich aus hartem Gesteinsmaterial besteht.

### Brechsand

Es wurde nur trocken gelagerter Brechsand 0.2/3 mm verwendet, gemäss SN 70'765.

### Rundsand

Rundsand wurde nicht verwendet.

### Filler

Der Filler besteht aus 100% Eigenfiller.

Alle Mineralstoffe stammen aus einem einzigen Lieferwerk im Rafzerfeld.

## III. Sanierung im Sommer 1983

Im Sommer 1983 musste auf der Autobahn Bülach - Kloten, Fahrtrichtung Kloten, ein etwa sechs Kilometer langes Teilstück des Normalfahrstreifens, das auch die Beobachtungsstrecken enthielt, vor allem wegen aufgetretener, starker Spurrinnenbildungen saniert werden. Im Zuge dieser Sanierungsarbeiten wurde auch der stark gerissene Belag der Beobachtungsstrecke 1, sowohl im Normalfahr- als auch im Ueberholstreifen, einbezogen. Ab diesem Zeitpunkt ist das ursprüngliche Konzept der Beobachtungsstrecken im Normalfahrstreifen, zusätzlich in der Beobachtungsstrecke 1 auch im Ueberholstreifen, verändert.

Die Sanierung erfolgte mit einem modifizierten "Recycling in place"-Verfahren ("Wiederverwendung im Ortsmischverfahren") mit Neuprofilierung der Oberfläche. Dazu wurden in einem kontinuierlichen Arbeitsgang die Oberfläche des deformierten Normalfahrstreifens aufgeheizt, Belagsmaterial auf eine Tiefe von etwa 35 mm abgestossen, ein Teil dieses abgestossenen Materials mit Ergänzungsmischgut vermischt, auf das ursprüngliche Profil neu eingebaut und verdichtet. In der Beobachtungsstrecke 1 wurde das gesamte, abgestossene Belagsmaterial, vermischt mit Ergänzungsmischgut, verwendet. Da hier sowohl der Normalfahr- als auch der Ueberholstreifen zu sanieren waren, konnte die Belagsoberfläche etwas höher gelegt werden.Das Vorgehen bei der Sanierung ist ausführlicher beschrieben in "Strasse und Verkehr" Nr. 6 vom Juni 1984, Seiten 209 bis 212.

## D. MATERIALTECHNOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN: BINDEMITTEL, VERSCHLEISS- UND AUSGLEICHSSCHICHTEN

An den für die Beobachtungsstrecken verwendeten Bitumen im Anlieferungszustand und an den eingebauten Verschleiss- und Ausgleichsschichten nach dem Einbau sowie nach sechs Betriebsjahren wurden umfangreiche materialtechnologische Untersuchungen durchgeführt, vgl. Forschungsaufträge 3/73 und 30/77. Aus den entsprechenden Schlussberichten sind im folgenden die wesentlichen Ergebnisse aufgeführt.

Mit dem Aufführen dieser Ergebnisse sind somit umfassende Unterlagen für die Gesamtbeurteilung der Beobachtungsstrecken in dem vorliegenden Forschungsbericht 3/81 zusammengestellt.

- Das angestrebte Ziel, verschiedene Strecken zu vergleichen, in denen lediglich das Bindemittel in den Belägen (Verschleiss- und Ausgleichsschicht) variiert, wurde gut erreicht. Das Mischgut beider Schichten ist sehr ähnlich aufgebaut und unterscheidet sich lediglich im Bindemittel- und Fillergehalt. Die Ausgleichsschicht weist im Mittel einen um etwa 0.2 Masse-% geringeren Bindemittelgehalt und einen um etwa 0.4 Masse-% geringeren Fillergehalt auf als die Verschleissschicht.

Mittelwert aller Beobachtungsstrecken

| | | Verschleiss-schicht AB 16 | Ausgleichs-schicht AB 16u |
|---|---|---|---|
| Bindemittelgehalt | Masse-% | 5.32 | 5.12 |
| Durchgang in | Masse-% | | |
| bei Prüfsieb 10 | mm | 76.7 | 77.3 |
| 3.15 | mm | 42.7 | 41.9 |
| 0.08 | mm | 9.3 | 8.9 |
| Schichtdicke | mm | 37 | 36 |
| Hohlraumgehalt | vol-% | 2.8 | 3.6 |
| Verdichtungsgrad | % | 99.0 | 98.7 |

- Die Eigenschaften der eingebauten Verschleiss- und Ausgleichsschicht sind in bezug auf Hohlraumgehalt, Verdichtungsgrad und Schichtdicke für alle Beobachtungsstrecken im wesentlichen gleich und für beide Schichten auch sehr ähnlich. Für die Verschleiss- bzw. die Ausgleichsschicht beträgt der mittlere Hohlraumgehalt 2.8 bzw. 3.6 vol-% und der mittlere Verdichtungsgrad 99.0 bzw. 98.7%. Die Solldicke von 40 mm wurde in beiden Schichten gut eingehalten, mit Ausnahme in der Ausgleichsschicht der Teilstrecken 3B und 4A mit deutlich geringeren Werten.

- Bei den drei Beobachtungsstrecken 3, 4 und 5 führte das unterschiedliche Deformationsverhalten innerhalb der Strecken zur Unterteilung in je zwei Teilstrecken A und B.

  Bei den zwei Beobachtungsstrecken 3 und 4 mit B 80/100 wurden als massgebender Unterschied in den Teilstrecken 3B und 4A mit je etwas geringeren Spurrinnen deutlich geringere Dicken in der Ausgleichsschicht festgestellt, als mit 40 mm angestrebt. In diesen Abschnitten sind die weniger deformationsanfälligen Heissmischtragschichten ab geringerer Tiefe angeordnet und übernehmen einen grösseren Anteil der Tragfunktion.

  Die grundsätzlich mit Bitumen B 60/70 ausgeführte Beobachtungsstrecke 5 weist in den zwei Teilstrecken unterschiedlich zusammengesetzte Ausgleichsschichten auf. In der Teilstrecke 5B, mit deutlich grösseren bleibenden Deformationen als in der Teilstrecke A, wurde jedoch in der Ausgleichsschicht Verschleissschicht-Material mit Bitumen B 80/100 eingebaut.

  Zusammenstellungen von Untersuchungsergebnissen aus dem Forschungsauftrag 30/77 sind im folgenden aufgeführt.

## Zusammenfassung der Ergebnisse für die Beobachtungsstrecken

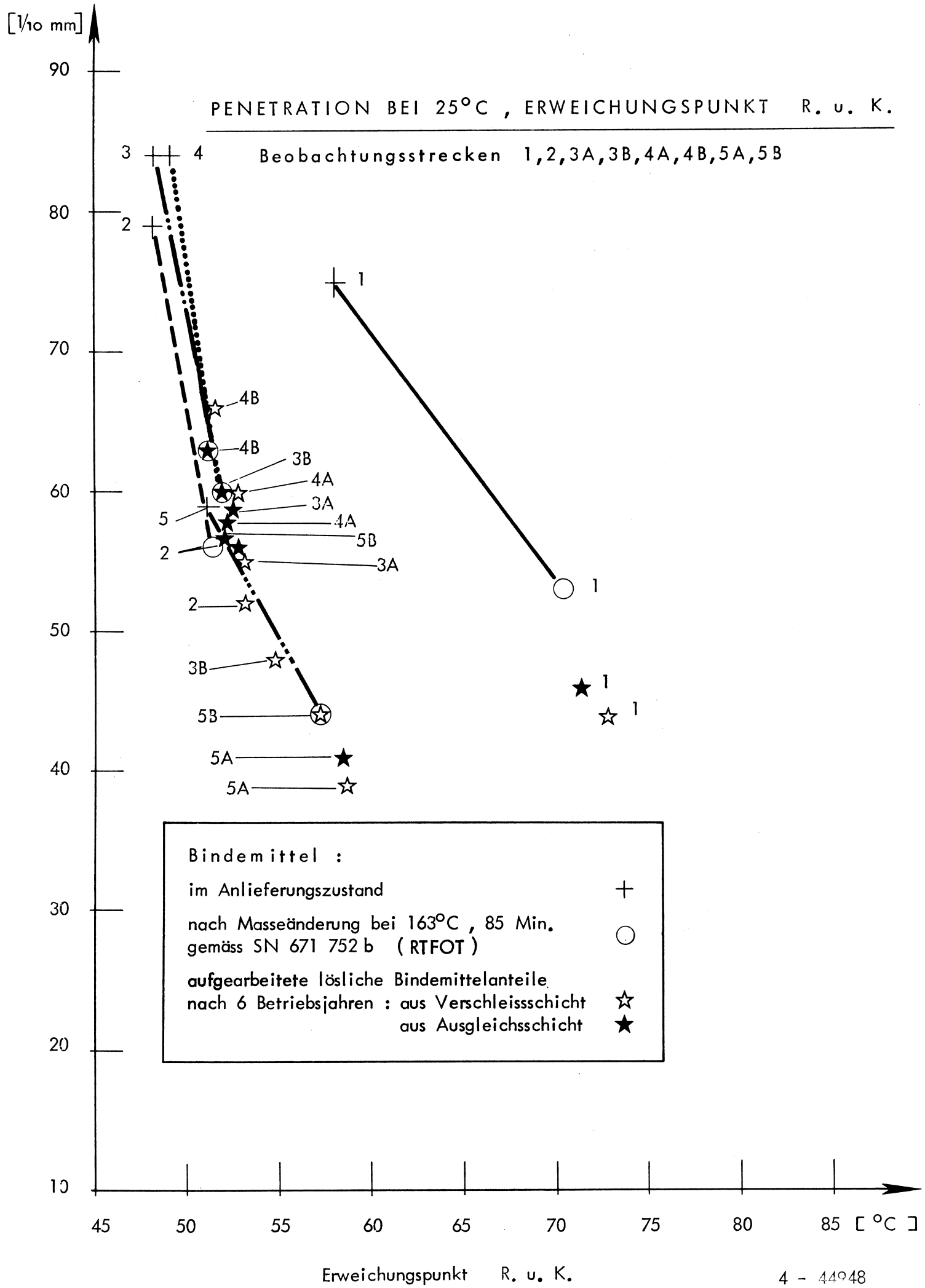
Ermittelt an im September 1978 entnommenen Ausschnitten
(aus Schlussbericht FA 30/77)

| Beobachtungsstrecke | | | 1 | 2 | 3 A | 3 B | 4 A | 4 B | 5 A | 5 B |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Anzahl Profile | | | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| **Schicht** | | | **Verschleissschicht** | | | | | | | |
| Maximale bleibende Deformation | | | | | | | | | | |
| gesamt | | mm | 8.2 | 13.8 | 14.5 | 10.5 | 12.5 | 14.0 | 10.0 | 14.3 |
| mit Schichtdickenänderung | | mm | 2.1 | 6.8 | 6.5 | 5.5 | 6.5 | 8.0 | 5.5 | 5.8 |
| Eingebaute Schicht | | | | | | | | | | |
| Schichtdicke | | mm | 36 | 36 | 36 | 35 | 35 | 39 | 36 | 40 |
| Hohlraumgehalt | | vol-% | 2.6 | 2.6 | 2.8 | 3.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 2.8 |
| Verdichtungsgrad | | % | 99.8 | 99.0 | 98.8 | 98.8 | 98.8 | 99.1 | 98.7 | 98.7 |
| Bindemittelgehalt | | gew-% | 5.21 | 5.28 | 5.32 | 5.36 | 5.29 | 5.38 | 5.32 | 5.41 |
| Siebdurchgang | | gew-% | | | | | | | | |
| bei Prüfsieb 25 | mm | | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10 | mm | | 77.3 | 76.8 | 76.8 | 76.3 | 75.6 | 79.7 | 75.0 | 75.9 |
| 3.15 | mm | | 43.1 | 42.6 | 43.1 | 43.0 | 42.7 | 43.1 | 41.6 | 42.3 |
| 0.08 | mm | | 9.6 | 9.6 | 9.1 | 8.3 | 9.3 | 9.3 | 9.4 | 9.6 |
| Marshall-Versuch | | | | | | | | | | |
| Hohlraumgehalt | HM | vol-% | 2.7 | 1.5 | 1.8 | 2.3 | 1.5 | 1.8 | 1.6 | 1.6 |
| Stabilität | SM | kN | 12.9 | 9.7 | 9.8 | 9.6 | 9.6 | 7.7 | 10.7 | 10.7 |
| Fliessen | FM | mm | 3.3 | 3.6 | 3.7 | 3.2 | 3.3 | 3.6 | 3.6 | 3.6 |
| Verhältnis | SM/FM | kN/mm | 3.9 | 2.7 | 2.7 | 3.0 | 2.9 | 2.1 | 3.0 | 3.0 |
| Lösliche Bindemittelanteile | | | | | | | | | | |
| Dichte bei 25 °C | | $g/cm^3$ | 1.015 | 1.025 | 1.025 | 1.027 | 1.026 | 1.024 | 1.027 | 1.027 |
| dyn. Viskosität bei 60 °C | | $10^2$ Pa·s | - | 3.6 | 4.1 | 5.8 | 3.5 | 2.7 | 11.9 | 9.5 |
| 130 °C | | $10^{-1}$ Pa·s | 25.0 | 6.0 | 7.8 | 9.2 | 7.3 | 6.5 | 8.6 | 12.4 |
| Penetration bei 25 °C | | $10^{-1}$ mm | 44 | 52 | 55 | 48 | 60 | 66 | 39 | 44 |
| Erweichungspunkt R.u.K. | | °C | 72.8 | 53.0 | 53.1 | 54.7 | 52.3 | 51.1 | 58.6 | 57.3 |
| Penetrationsindex PI | | | + 3.0 | - 0.3 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.2 | + 0.2 | + 0.1 |
| Brechpunkt nach Fraass | | °C | -22 | -10 | -17 | -15 | -15 | -19 | - 8 | -16 |
| Kriechversuch an Bohrkernen | | | | | | | | | | |
| Hohlraumgehalt | | vol-% | 2.5 * | 2.5 * | 3.0 | 3.4 | 3.2 | 3.1 | 3.5 * | 3.0 * |
| Kriechen Mittel | $\varepsilon 60'$ | o/oo | 4.32 * | 9.13 * | 10.73 | 8.15 | 10.95 | 9.41 | 9.07 * | 10.27 * |
| nach 60' : Standardabweichung | | o/oo | 1.21 * | 0.47 * | 1.79 | 1.60 | 0.98 | 0.29 | 0.08 * | 0.79 * |
| Minimum | $\varepsilon 60'$ | o/oo | 1.98 | 7.11 | 8.15 | 7.06 | 9.75 | 9.09 | 7.54 | 9.13 |
| Maximum | $\varepsilon 60'$ | o/oo | 6.46 | 10.37 | 12.86 | 9.98 | 12.39 | 9.66 | 10.79 | 11.74 |
| **Schicht** | | | **Ausgleichsschicht** | | | | | | | |
| Maximale bleibende Deformation | | | | | | | | | | |
| gesamt | | mm | 2.9 | 5.5 | 7.5 | 3.5 | 3.5 | 5.0 | 2.2 | 7.2 |
| mit Schichtdickenänderung | | mm | 1.0 | 4.2 | 5.5 | 2.5 | 2.5 | 3.5 | 1.5 | 4.8 |
| Eingebaute Schicht | | | | | | | | | | |
| Schichtdicke | | mm | 41 | 38 | 44 | 27 | 28 | 37 | 35 | 38 |
| Hohlraumgehalt | | vol-% | 4.3 | 3.1 | 2.7 | 4.0 | 4.2 | 3.8 | 4.0 | 3.0 |
| Verdichtungsgrad | | % | 98.7 | 99.5 | 99.4 | 97.9 | 98.2 | 98.8 | 98.4 | 98.6 |
| Bindemittelgehalt | | gew-% | 5.05 | 5.16 | 5.18 | 5.10 | 5.06 | 5.03 | 5.07 | 5.33 |
| Siebdurchgang | | gew-% | | | | | | | | |
| bei Prüfsieb 25 | mm | | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10 | mm | | 77.0 | 77.4 | 81.0 | 75.9 | 78.3 | 74.7 | 77.5 | 76.4 |
| 3.15 | mm | | 42.6 | 41.9 | 42.3 | 41.1 | 41.7 | 41.0 | 42.2 | 42.6 |
| 0.08 | mm | | 9.2 | 8.4 | 9.0 | 8.9 | 8.8 | 8.2 | 9.1 | 9.3 |
| Marshall-Versuch | | | | | | | | | | |
| Hohlraumgehalt | HM | vol-% | 2.9 | 2.6 | 2.0 | 2.1 | 2.6 | 2.5 | 2.3 | 1.5 |
| Stabilität | SM | kN | 12.9 | 8.9 | 9.1 | 9.8 | 9.9 | 8.9 | 11.0 | 9.9 |
| Fliessen | FM | mm | 3.5 | 3.1 | 3.1 | 3.3 | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 3.2 |
| Verhältnis | SM/FM | kN/mm | 3.7 | 2.8 | 3.0 | 3.0 | 3.4 | 2.8 | 3.3 | 3.1 |
| Lösliche Bindemittelanteile | | | | | | | | | | |
| Dichte bei 25 °C | | $g/cm^3$ | 1.014 | 1.025 | 1.024 | 1.026 | 1.025 | 1.025 | 1.028 | 1.025 |
| dyn. Viskosität bei 60 °C | | $10^2$ Pa·s | - | 3.6 | 3.9 | 3.6 | 3.6 | 3.2 | 10.2 | 4.3 |
| 130 °C | | $10^{-1}$ Pa·s | 21.4 | 6.1 | 7.6 | 7.5 | 7.6 | 7.3 | 13.0 | 8.3 |
| Penetration bei 25 °C | | $10^{-1}$ mm | 46 | 56 | 59 | 60 | 58 | 63 | 41 | 57 |
| Erweichungspunkt R.u.K. | | °C | 71.4 | 52.6 | 52.4 | 51.9 | 52.2 | 50.9 | 58.3 | 52.1 |
| Penetrationsindex PI | | | + 2.9 | - 0.3 | - 0.2 | - 0.3 | - 0.3 | - 0.4 | + 0.3 | - 0.3 |
| Brechpunkt nach Fraass | | °C | -22 | -11 | -15 | -14 | -16 | -17 | -14 | -15 |
| Kriechversuch an Bohrkernen | | | | | | | | | | |
| Hohlraumgehalt | | vol-% | 4.5 * | 3.3 * | 2.8 | 4.3 | 4.9 | 4.2 | 4.9 * | 3.0 * |
| Kriechen Mittel | $\varepsilon 60'$ | o/oo | 4.06 * | 7.83 * | 9.54 | 9.82 | 11.28 | 8.59 | 9.41 * | 11.76 * |
| nach 60' : Standardabweichung | | o/oo | 0.58 * | 0.53 * | 1.31 | 0.86 | 1.43 | 0.96 | 0.56 * | 0.41 * |
| Minimum | $\varepsilon 60'$ | o/oo | 2.82 | 6.21 | 7.56 | 8.83 | 9.41 | 7.49 | 7.69 | 10.18 |
| Maximum | $\varepsilon 60'$ | o/oo | 5.93 | 9.73 | 11.41 | 10.44 | 13.50 | 9.25 | 11.30 | 13.82 |

* Mittelwert und Standardabweichung der Profil-Mittelwerte

## Vergleich von ausgewählten Bitumeneigenschaften

| Beobachtungsstrecke | | 1 | 2 | 3 A | 3 B | 4 A | 4 B | 5 A | 5 B |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bitumen** | | | | | | | | | |
| im Anlieferungszustand | | | | | | | | | |
| Dichte bei 25 °C | g/cm³ | 1.012 | 1.026 | 1.023 | | 1.022 | | 1.026 | |
| Penetration bei 25 °C | $10^{-1}$mm | 75 | 79 | 84 | | 84 | | 59 | |
| Erweichungspunkt R.u.K. | °C | 58.0 | 48.2 | 48.2 | | 49.1 | | 51.1 | |
| Penetrationsindex PI | | + 1.8 | - 0.4 | - 0.3 | | - 0.05 | | - 0.5 | |
| Brechpunkt nach Fraass | °C | -27 | -12 | -16 | | -14 | | -16 | |
| Duktilität 7°C | mm | 36 | 280 | 165 | | 135 | | | |
| (5 cm/min) 13°C | mm | - | - | - | | - | | 240 | |
| 25°C | mm | 120 | >1500 | >1500 | | >1500 | | >1500 | |
| nach Gewichtsverlust bei 163 °C, 5 Stunden: SN 671 752 a | | | | | | | | | |
| Penetration bei 25 °C | $10^{-1}$mm | 52 | 55 | 63 | | 62 | | 47 | |
| Erweichungspunkt R.u.K. | °C | 73.0 | 52.0 | 49.5 | | 50.3 | | 57.7 | |
| Penetrationsindex PI | | + 3.5 | - 0.45 | - 0.7 | | - 0.55 | | + 0.45 | |
| Brechpunkt nach Fraass | °C | -29 | -11 | -14 | | -16 | | -14 | |
| nach Masseänderung bei 163 °C, 85 Minuten: SN 671 752 b | | | | | | | | | |
| Penetration bei 25 °C | $10^{-1}$mm | 53 | 56 | 60 | | 63 | | 44 | |
| Erweichungspunkt R.u.K. | °C | 70.4 | 51.3 | 51.8 | | 51.1 | | 57.2 | |
| Penetrationsindex PI | | + 3.1 | - 0.5 | - 0.3 | | - 0.3 | | + 0.2 | |
| Brechpunkt nach Fraass | °C | -24 | -11 | -15 | | -13 | | -14 | |
| Duktilität 13°C | mm | 32 | 850 | 225 | | 335 | | – | |
| (5 cm/min) 19°C | mm | - | - | - | | - | | 360 | |
| 25°C | mm | 55 | >1500 | >1500 | | >1500 | | 1340 | |
| Anzahl untersuchter Profile nach 6 Betriebsjahren | | 4 | 3 | 1(A), 1(B) | | 1(A), 1(B) | | 2 | 2 |
| **Lösliche Bindemittelanteile** | | | | | | | | | |
| Verschleissschicht | | | | | | | | | |
| Dichte bei 25 °C | g/cm³ | 1.015 | 1.025 | 1.025 | 1.027 | 1.026 | 1.024 | 1.027 | 1.027 |
| Penetration bei 25 °C | $10^{-1}$mm | 44 | 52 | 55 | 48 | 60 | 66 | 39 | 44 |
| Erweichungspunkt R.u.K. | °C | 72.8 | 53.0 | 53.1 | 54.7 | 52.3 | 51.5 | 58.6 | 57.3 |
| Penetrationsindex PI | | + 3.0 | - 0.3 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.2 | + 0.2 | + 0.1 |
| Brechpunkt nach Fraass | °C | -22 | -10 | -17 | -15 | -15 | -19 | -10 | -16 |
| Duktilität 25°C | mm | 48 | >1500 | >1500 | >1500 | >1500 | >1500 | 1260 | >1500 |
| Ausgleichsschicht | | | | | | | | | |
| Dichte bei 25 °C | g/cm³ | 1.014 | 1.025 | 1.024 | 1.026 | 1.025 | 1.025 | 1.028 | 1.025 |
| Penetration bei 25 °C | $10^{-1}$mm | 46 | 56 | 59 | 60 | 58 | 63 | 41 | 57 |
| Erweichungspunkt R.u.K. | °C | 71.4 | 52.6 | 52.4 | 51.9 | 52.2 | 50.9 | 58.3 | 52.1 |
| Penetrationsindex PI | | + 2.9 | - 0.3 | - 0.2 | - 0.3 | - 0.3 | - 0.4 | + 0.3 | - 0.3 |
| Brechpunkt nach Fraass | °C | -22 | -11 | -15 | -14 | -16 | -17 | -14 | -15 |
| Duktilität bei 25°C | mm | 50 | >1500 | >1500 | >1500 | >1500 | >1500 | 1340→1500 | >1500 |


Penetration bei 25°C
[1/10 mm]
PENETRATION BEI 25°C , ERWEICHUNGSPUNKT R. u. K.
Beobachtungsstrecken 1,2,3A,3B,4A,4B,5A,5B
90
80
70
60
50
40
30
20
10
45
50
55
60
65
70
75
80
85 [ °C ]
Erweichungspunkt R. u. K.
Bindemittel :
im Anlieferungszustand
nach Masseänderung bei 163°C , 85 Min. gemäss SN 671 752 b ( RTFOT )
aufgearbeitete lösliche Bindemittelanteile nach 6 Betriebsjahren : aus Verschleissschicht
aus Ausgleichsschicht

## E. UNTERSUCHUNGEN AN DER FAHRBAHNOBERFLÄCHE

Aufgrund aufgetretener unterschiedlicher Deformationen in den Beobachtungsstrecken 3, 4 und 5 wurden die Ergebnisse der Ebenheitsmessungen im Querprofil (Planum) bereits im Schlussbericht 3/73 für je zwei Teilstrecken ausgewertet. Im vorliegenden Bericht wird diese Unterteilung in der Auswertung beibehalten. Die Teilstrecken sind mit 3A, 3B, 4A, 4B und 5A, 5B bezeichnet.

### IV. Ausgeführte Arbeiten

Die Ergebnisse der Beobachtungen und Messungen der Jahre 1981 und 1983 sind im vorliegenden Bericht aufgeführt. Dabei sind zum Teil in den Tabellen und häufig in den graphischen Darstellungen auch die Messergebnisse der früheren Jahre enthalten.

Jährlich durchgeführte Arbeiten:

- Augenschein
- Ebenheitsmessungen:

  Querprofil mittels Planum
  (in 17 Profilen des Normalfahrstreifens)

  Radspurrinnentiefe T, theoretische Wassertiefe t
  (alle 20 m im Normalfahrstreifen gemessen)
- Ebenheitsmessungen im Längsprofil mit dem Winkelmessgerät (Normalfahr- und Ueberholstreifen)
- Griffigkeitsmessungen mit dem SRT-Pendel
  (in 17 Profilen des Normalfahrstreifens)
- Griffigkeitsmessungen mit dem Skiddometer
  (Normalfahr- und Ueberholstreifen)

Gegenüber dem Zeitraum von 1972 bis 1976, mit zwei jährlich durchgeführten Messkampagnen, wurden ab 1978 nur noch eine Messkampagne pro Jahr durchgeführt und der Messaufwand reduziert:

- Auf die Abriebmessungen mit der Bolzenmethode musste verzichtet werden, da viele Bolzen durch bleibende Deformationen nicht mehr messbar waren.
- Auf dem Ueberholstreifen wurden lediglich diejenigen Messungen weitergeführt, die keine Absperrung erfordern - wie Ebenheit längs mit dem Winkelmessgerät und Griffigkeit mit dem Skiddometer. Bleibende Deformationen sind im Ueberholstreifen praktisch keine aufgetreten.

Die Durchführung des Augenscheins erfolgte durch die EMPA Dübendorf, die Messungen der Ebenheiten und Griffigkeiten durch das Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau der ETHZ (ISETH, Sektion Strassenbau).

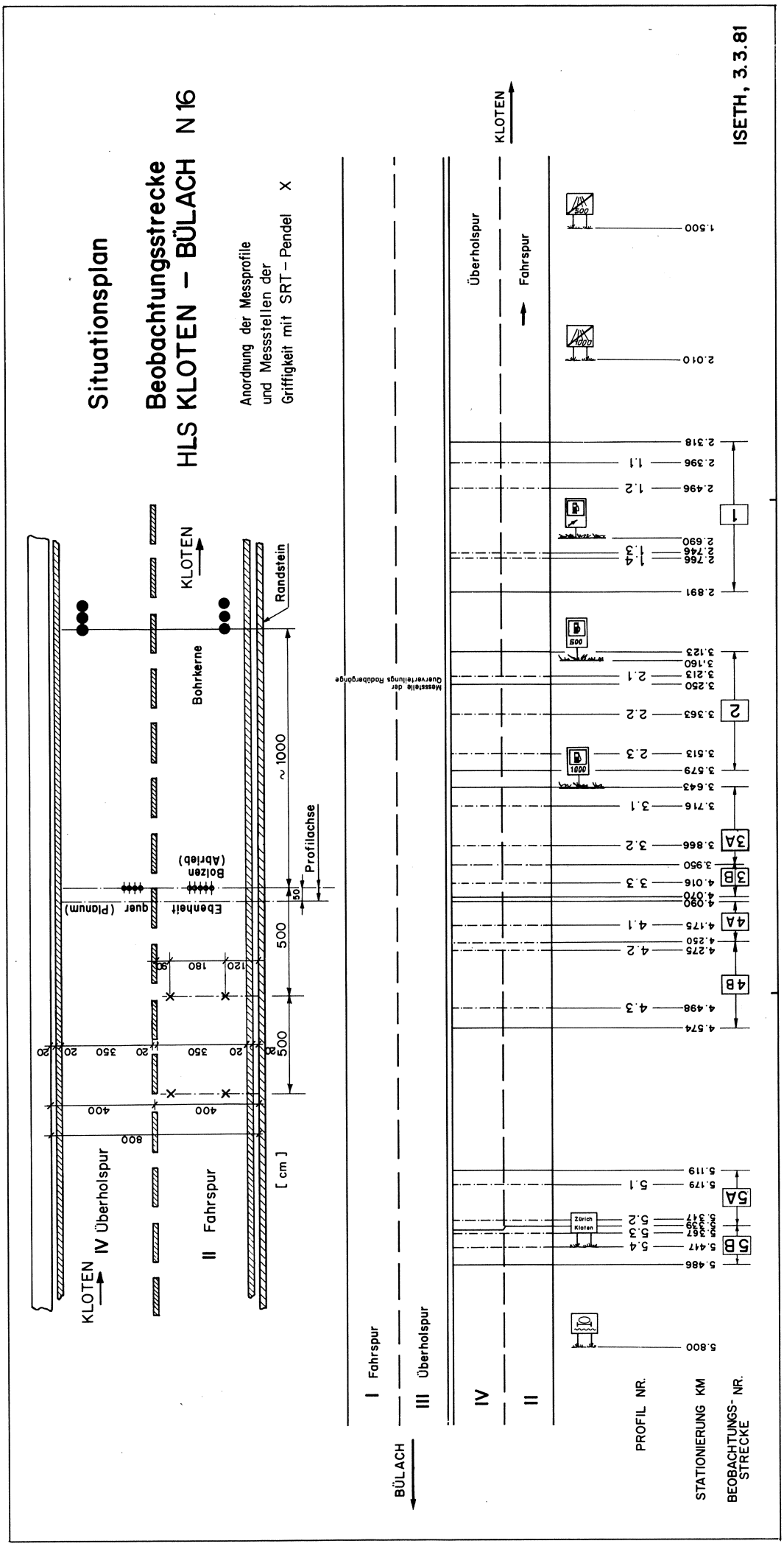
## V. Messmethoden und Messvorgang

### Ebenheit: Querprofil mittels Planum

Pro Messprofil wurde jeweils eine Planumaufnahme des Normalfahrstreifens gemacht. Da die für die Abriebmessungen eingesetzten Bolzen die Deformationen beeinflussen, wurden die ursprünglichen Messprofile, in Fahrtrichtung gesehen, um 0.5 m zurückverlegt. Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu den früheren Messergebnissen ist jedoch gewährleistet (Anordnung und Anzahl der Messprofile siehe Seite 26).

### Ebenheit: Radspurrinnentiefe T, theoretische Wassertiefe t

Wie erstmals im Herbst 1976 wurden 1978, 1981 und 1983 die maximalen Rinnentiefen der beiden Radspuren gegenüber einer in Querrichtung positionierten 4-m-Latte gemessen, T-Werte. Diese Messungen erfolgten in Abständen von 20 m über den gesamten Abschnitt, der die Beobachtungsstrecken enthält. Zusätzlich wurden gegenüber einer horizontalen Latte, ebenfalls alle 20 m, die theoretischen Wassertiefen t bestimmt.


Situationsplan
Beobachtungsstrecke
HLS KLOTEN – BÜLACH N 16
Anordnung der Messprofile
und Messstellen der
Griffigkeit mit SRT – Pendel X
ISETH, 3.3.81
KLOTEN
IV Überholspur
II Fahrspur
Bohrkerne
Randstein
Profilachse
Bolzen (Abrieb)
Ebenheit quer (Planum)
[cm]
Messstelle der Querverteilungs Rodlbergonge
I Fahrspur
III Überholspur
BÜLACH
Überholspur
Fahrspur
Zürich
Kloten
PROFIL NR.
STATIONIERUNG KM
BEOBACHTUNGS-STRECKE NR.

Ebenheitsmessungen im Längsprofil

Die im Rahmen dieser Forschungsarbeit durchgeführte Mess- und Auswertemethode ist seit März 1977 normiert (SN 640'520a). Die entsprechenden Anforderungen sind in der ebenfalls seit März 1977 gültigen Norm 640'521a festgehalten. Die Messungen erfolgten mit dem Winkelmessgerät des ISETH, in Fahrrichtung gesehen ib der rechten Radspur. Die durch die im Rahmen des FA 30/77 im Herbst 1978 entnommenen Ausschnitte aus dem Normalfahrstreifen entstandenen Unebenheiten wurden bei den Ergebnissen der folgenden Messungen eliminiert.

Griffigkeitsmessungen mit dem SRT-Gerät (Pendel)

Alle Griffigkeiten, auch diejenigen aus dem Jahr 1983, wurden gemäss Norm 640'511 gemessen und ausgewertet. Seit Mai 1980 ist diese Norm durch SN 640'511a ersetzt. Die vorliegenden SRT-Werte würden lediglich durch eine kleine Aenderung der Temperatur-Korrekturen geringfügig beeinflusst.

Griffigkeitsmessungen mit dem Skiddometer

Seit dem Jahr 1978 werden systematisch Griffigkeitsmessungen mit dem Skiddometer auf dem Normalfahr- und dem Ueberholstreifen mit AICPR-Reifen, bei blockiertem Rad und bei ca. 15% Schlupf, bei verschiedenen Geschwindigkeiten gemessen. Da gemäss Norm 640'511a (Genehmigung im Mai 1980) für Strassen mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit $V_Z$ > 100 km/h Anforderungen bei 80 km/h und blockiertem Rad gestellt sind, werden seither keine Messungen mehr bei 100 km/h ausgeführt.

Die Skiddometermessungen der Jahre 1972 - 1976 wurden noch mit ASTM-Reifen durchgeführt. Zum Vergleich sind diese bei blockiertem ASTM-Reifen gemessenen Werte auf solche entsprechend mit AICPR-Reifen gemessenen Werte umgerechnet (vgl. Seite 60). Dabei vermindern sich die $\mu$-Werte um etwa 2 bis 4%o (für Messungen mit Schlupf sind keine Umrechnungsfaktoren bekannt). In den graphischen Darstellungen sind die bei 80 km/h gemessenen $\mu$-Werte mit blockiertem Rad und AICPR-Reifen bzw. die entsprechend umgerechneten Werte aufgeführt.

Augenschein

Bei jedem Augenschein wurden die einzelnen Strecken abgeschritten und verschiedene Kriterien anhand von Beurteilungsskalen systematisch erfasst. Ein spezieller Augenmerk galt auch den besonderen Vorkommnissen. Insgesamt wurden zur Dokumentation auch zahlreiche fotografische Aufnahmen gemacht.

# F. RESULTATE DER EBENHEITS- UND GRIFFIGKEITSMESSUNGEN (ISETH)

## VI Ebenheitsmessungen im Querprofil (Planum)

Auswertungen der Planumaufnahmen:
Angaben der Vertiefungen, Erhöhungen und Wassertiefen t in mm

| Nullmessung 13.9.1972 | TEILMESSSTRECKE 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | MITTEL | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Profil Nr. 1.1 (FS) | | | | Querneigung 1.92 % | | 1.2. (FS) | | | | Querneigung 2.7 % | | 1.3. (FS) | | | | Querneigung 2.4 % | | 1.4. (FS) | | | | Querneigung 3,0 % | | 1. | | | | | | |
| | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | |
| | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | | Erhöhung | | | | |
| | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | Mittel | links | rechts | Mittel | links | rechts |
| 19. 3.1973 | 1.5 | 1 | | | | | 1 | 1 | | | | | 1.5 | 1.5 | | | | | 1 | 1 | | | | | 1.3 | 1.1 | 1.2 | | | | | |
| 13. 3.1974 | 2 | 3 | | | | | 4 | 3 | | | | | 4.5 | 3.5 | | | | | 2 | 3 | (1) | | | | 3.1 | 3.1 | 3.1 | | | | | |
| 26.11.1974 | 2.5 | 3.5 | | | | | 4 | 3 | | | | | 4.5 | 4 | | | | | 2 | 4.5 | | | | | 3.3 | 3.8 | 3.6 | | | | | |
| 12. 5.1975 | 3.5 | 4 | | | | | 4 | 3 | | | | | 4.5 | 4 | | | | | 2 | 4.5 | | | | | 3.5 | 3.9 | 3.7 | | | | | |
| 25.11.1975 | 3.5 | 4 | | | | | 5.5 | 5 | | | | | 4.5 | 5.5 | | | | | 2 | 5.5 | | | | | 3.9 | 5.0 | 4.5 | | | | | |
| 8. 4.1976 | 3.5 | 5 | | | | | 5.5 | 5 | | | | | 4.5 | 5.5 | | | | | 2 | 5.5 | | | | | 3.9 | 5.3 | 4.6 | | | | | |
| 17.11.1976 | 3.5 | 5 | | | | | 5.5 | 5 | | | | | 6.0 | 6.0 | | | | | 3.0 | 5.5 | | | | | 4.5 | 5.4 | 5.0 | | | | | |
| 20. 6.1978 | 4.5 | 5 | | | | | 6 | 5 | | | | | 6 | 6 | | | | | 4 | 5.5 | | | | | 5.1 | 5.4 | 5.3 | | | | | |
| 14. 5.1979 | 5 | 5.5 | | | | | 7.5 | 5 | | | | | 6 | 6 | | | | | 5 | 5.5 | | | | | 5.9 | 5.5 | 5.7 | | | | | |
| 20. 5.1980 | 5.5 | 5.5 | | | | | 7.5 | 5 | | | | | 6 | 6 | | | | | 5 | 5.5 | | 1 | | | 6 | 5.5 | 5.8 | | 0.3 | 0.1 | | |
| 10. 6.1981 | 5.5 | 5.5 | | | | | 7.5 | 6 | | 1 | | | 6 | 6 | | | | | 5 | 5.5 | | 1 | | | 6 | 5.8 | 5.9 | | 0.5 | 0.3 | | |
| 17. 5.1983 | 5.5 | 6 | | | | | 7.5 | 6 | | 0 | | | 6 | 6 | | | | | 5. | 5.5 | | 0 | | | 6 | 5.9 | 5.9 | | 0 | 0 | | |

# HLS KLOTEN-BÜLACH, AUSWERTUNG DER PLANUMAUFNAHMEN DER MESSPROFILE IN mm



| Nullmessung 24. 8.1972 | TEILMESSSTRECKE 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | MITTEL | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Profil Nr. 2.1. (FS) | | | | Querneigung 2.2 % | | 2.2. (FS) | | | | Querneigung 2,2 % | | 2.3. (FS) | | | | Querneigung 2,2 % | | 2. | | | | | | | |
| | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | | | Wassertiefe | |
| | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | | Erhöhung | | | | |
| | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | Mittel | links | rechts | Mittel | links | rechts |
| 20. 3.1973 | 2.5 | 2 | | | | | 2 | 2.5 | | | | | 1.5 | 1 | 1 | | | | 2 | 1.8 | 1.9 | 0.3 | 0 | 0.1 | | |
| 12. 3.1974 | 4.5 | 5.5 | 0.5 | 0.5 | | 1.5 | 3.5 | 5 | 1.5 | 1 | | 1 | 5.5 | 6 | 1 | 1.5 | | 0.5 | 4.5 | 5.5 | 5 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 26.11.1974 | 5.5 | 6 | 1.0 | 2 | | 3 | 4 | 5.5 | 2 | 2.5 | | 3.5 | 6.5 | 8.5 | 1 | 1.5 | | 3.5 | 5.3 | 6.7 | 6 | 1.3 | 2 | 1.7 | | 3.3 |
| 12. 5.1975 | 5.5 | 6 | 1.0 | 2 | | 3 | 4 | 6 | 2 | 2.5 | | 3.5 | 6.5 | 8.5 | 1 | 1.5 | | 3.5 | 5.3 | 6.8 | 6.1 | 1.3 | 2 | 1.7 | | 3.3 |
| 25.11.1975 | 7 | 7.5 | 1 | 3 | 2 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 2 | 3 | | 5.5 | 8.5 | 9 | 1 | 2 | | 4 | 7 | 7.7 | 7.4 | 1.3 | 2.7 | 2 | 0.7 | 4.7 |
| 8. 4.1976 | 7 | 7.5 | 1 | 3 | 2 | 4.5 | 5.5 | 7 | 3 | 3.5 | 0.5 | 6 | 8.5 | 9 | 1.5 | 2 | | 4 | 7 | 7.8 | 7.4 | 1.8 | 2.8 | 2.3 | 0.8 | 4.8 |
| 17.11.1976 | 7 | 8 | 1 | 5 | 2 | 4.5 | 6.5 | 7.5 | 3 | 3.5 | 1.5 | 6 | 9.0 | 10.0 | 1.5 | 3.0 | | 5.5 | 7.5 | 8.5 | 8.0 | 1.8 | 3.8 | 2.8 | 1.2 | 5.3 |
| 20. 6.1978 | 7.5 | 9 | 1.5 | 5 | 2 | 5 | 6.5 | 7.5 | 3 | 4.5 | 2.5 | 6 | 9 | 10 | 2 | 4 | 1 | 5 | 7.7 | 8.8 | 8.3 | 2.2 | 4.5 | 3.4 | 1.8 | 5.5 |
| 14. 5.1979 | 8.5 | 9.5 | 1.5 | 6 | 2.5 | 6 | 7.5 | 7.5 | 3 | 5 | 3 | 6 | 10 | 10 | 2 | 4 | 2 | 5.5 | 8.7 | 9 | 8.8 | 2.2 | 5 | 3.6 | 2.5 | 5.8 |
| 20. 5.1980 | 9 | 9.5 | 2 | 6.5 | 2.5 | 6.5 | 7.5 | 7.5 | 3 | 6 | 3 | 7 | 10 | 10 | 4 | 4 | 3 | 6 | 8.8 | 9 | 8.9 | 3 | 5.5 | 4.3 | 2.8 | 6.5 |
| 10. 6.1981 | 9 | 11 | 2 | 6.5 | 2.5 | 8 | 7.5 | 7.5 | 5 | 6 | 4 | 7 | 10 | 10 | 4 | 4 | 3 | 6 | 8.8 | 9.5 | 9.2 | 3.7 | 5.5 | 4.6 | 3.2 | 7 |
| 17. 5.1983 | 10 | 11 | 4.5 | 7.5 | 5.5 | 11 | 7.5 | 8.5 | 6.5 | 7.5 | 5 5 | 11 | 10 | 10 | 7 | 6.5 | 6.5 | 10.5 | 9.2 | 9.8 | 9.5 | 6 | 7.2 | 6.6 | 5.8 | 7.2 |

# HLS KLOTEN-BÜLACH, AUSWERTUNG DER PLANUMAUFNAHMEN DER MESSPROFILE IN mm

| Nullmessung 24. 8.1972 | TEILMESSSTRECKE 3 A | | | | | | | | | | | | TEILMESSSTRECKE 3 B | | | | | | TEILMESSSTRECKE 3 A M I T T E L | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Profil Nr. 3.1. (FS) | | | | Querneigung 2.4 % | | 3.2. (FS) | | | | Querneigung 2.0 % | | 3.3. (FS) | | | | Querneigung 2.8 % | | Profil 3.1. , 3.2. | | | | | | | |
| | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | | | Wassertiefe | |
| | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | | Erhöhung | | | | |
| | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | Mittel | links | rechts | Mittel | links | rechts |
| 20. 3.1973 | 2 | 2.5 | | | | | 1.5 | 3.5 | | | | | 4 | 5 | | | | | 1.8 | 3.0 | 2.4 | | | | | |
| 12. 3.1974 | 6 | 7.5 | | 1 | | 4.5 | 7 | 9 | | (1.5) | | 4.5 | 4 | 5.5 | | | | | 6.5 | 8.3 | 7.4 | | 1.0 | | | 4.5 |
| 26.11.1974 | 6 | 8.5 | 1 | 3 | 1 | 7.5 | 7 | 10 | | 1 | | 5.5 | 4 | 6 | | | | | 6.5 | 9.3 | 7.9 | 0.5 | 2.0 | 1.3 | 0.5 | 6.5 |
| 12. 5.1975 | 6 | 8.5 | 1 | 3 | 1 | 7.5 | 7 | 10 | | 1 | | 5.5 | 5 | 6 | | | | | 6.5 | 9.3 | 7.9 | 0.5 | 2.0 | 1.3 | 0.5 | 6.5 |
| 25.11.1975 | 8 | 10 | 1 | 4 | 2.5 | 10.5 | 8.5 | 10.5 | | 1 | 2.0 | 7 | 5 | 6 | | | | | 8.3 | 10.3 | 9.3 | 0.5 | 2.5 | 1.5 | 2.3 | 8.8 |
| 8. 4.1976 | 8 | 10 | 2.5 | 4.5 | 2.5 | 10.5 | 8.5 | 10.5 | 2.5 | 2.5 | 3.5 | 8 | 6 | 7 | | | | | 8.3 | 10.3 | 9.3 | 2.5 | 3.5 | 3.0 | 3.0 | 9.2 |
| 17.11.1976 | 8.5 | 10 | 2.5 | 4.5 | 2.5 | 10.5 | 11.0 | 12.0 | 2.5 | 2.5 | 4.5 | 9.5 | 8.5 | 9.5 | | | | | 9.8 | 11.0 | 10.4 | 2.5 | 3.5 | 3.0 | 3.5 | 10.0 |
| 20. 6.1978 | 9 | 10 | 3.5 | 6 | 3.5 | 11.5 | 12.5 | 12 | 2.5 | 3 | 5 | 10 | 9.5 | 9.5 | | 1 | | | 10.8 | 11 | 10.9 | 3 | 4.5 | 3.8 | 4.3 | 10.8 |
| 14. 5.1979 | 10.5 | 10 | 4 | 6 | 4.5 | 11.5 | 12.5 | 12 | 2.5 | 3 | 5 | 10 | 9.5 | 9.5 | | 1 | | | 11.5 | 11 | 11.3 | 3.3 | 4.5 | 3.9 | 4.8 | 10.8 |
| 20. 5.1980 | 10.5 | 10 | 4 | 7 | 5.5 | 12.5 | 12.5 | 12 | 2.5 | 3 | 5.5 | 10 | 10.5 | 9.5 | | 1.5 | | | 11.5 | 11 | 11.3 | 3.3 | 5 | 4.1 | 5.5 | 11.3 |
| 10. 6.1981 | 10.5 | 10 | 6 | 9 | 7 | 14 | 12.5 | 12 | 2.5 | 4.5 | 5.5 | 12.5 | 11.5 | 9.5 | | 1.5 | | | 11.5 | 11 | 11.3 | 4.3 | 6.8 | 5.5 | 6.3 | 13.3 |
| 17. 5.1983 | 10.5 | 10 | 6 | 9 | 7 | 14 | 13.5 | 14 | 3 | 5 | 7 | 17.5 | 11.5 | 9.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 12 | 12 | 12 | 4.5 | 7 | 5.8 | 7 | 15.8 |

# HLS KLOTEN-BÜLACH, AUSWERTUNG DER PLANUMAUFNAHMEN DER MESSPROFILE IN mm



| Nullmessung 24. 8.1972 | TEILMESSSTRECKE 4 A | | | | | | TEILMESSSTRECKE 4 B | | | | | | | | | | TEILMESSSTRECKE 4 B MITTEL | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Profil Nr. 4.1. (FS) | | | | Querneigung 2.4 % | | 4.2. (FS) | | | | Querneigung 2.1 % | | 4.3. (FS) | | | | Querneigung 2.2 % | | Profil 4.2. , 4.3. | | | | | | |
| | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | | | Wassertiefe |
| | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | | Erhöhung | | | | |
| | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | Mittel | links | rechts | Mittel | links | rechts |
| 20. 3.1973 | 2 | 2.5 | | | | | 2 | 2.5 | 0 | | | | 1 | 1 | | | | | 1.5 | 1.8 | 1.7 | | | | | |
| 12. 3.1974 | 6 | 6 | | | | 1 | 4.5 | 5.5 | 2 | 1 | | 3.5 | 5.5 | 6 | | | | 0.5 | 5.0 | 5.8 | 5.4 | 1.0 | 0.5 | 0.8 | | 2.0 |
| 26.11.1974 | 6.5 | 7 | | 1 | | 2 | 5 | 8 | 2 | 2.5 | | 6.5 | 6 | 6.5 | 1.5 | 2.5 | | 4 | 5.5 | 7.3 | 6.4 | 1.8 | 2.5 | 2.2 | | 5.3 |
| 12. 5.1975 | 6.5 | 7 | | 1 | | 2 | 6 | 8 | 2 | 2.5 | 1 | 7 | 6.5 | 6.5 | 1.5 | 2.5 | | 4 | 6.3 | 7.3 | 6.8 | 1.8 | 2.5 | 2.2 | 0.5 | 5.5 |
| 25.11.1975 | 7.5 | 8.0 | | 2 | | 3.5 | 6 | 8 | 4 | 4.5 | 1.5 | 8.5 | 8 | 7.5 | 1.5 | 3.5 | 1 | 6.5 | 7.0 | 7.8 | 7.4 | 2.8 | 4.0 | 3.4 | 1.3 | 7.5 |
| 8. 4.1976 | 7.5 | 8.0 | 2 | 2,5 | | 4 | 6 | 8 | 4.5 | 4.5 | 2 | 8.5 | 8 | 7.5 | 3 | 3.5 | 1.5 | 6.5 | 7.0 | 7.8 | 7.4 | 3.8 | 4.0 | 3.9 | 1.8 | 7.5 |
| 17.11.1976 | 9.5 | 10 | 2 | 2.5 | | 5.5 | 8 | 9 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 9.0 | 9 | 8 | 3.0 | 5.0 | 3.5 | 7.0 | 8.5 | 8.5 | 8.5 | 4.0 | 5.0 | 4.5 | 4.3 | 8.0 |
| 20. 6.1978 | 9.5 | 10 | 2 | 3.5 | | 5.5 | 9 | 9 | 5 | 6 | 5 | 9.5 | 10 | 8 | 3.5 | 7 | 4 | 10 | 9.5 | 8.5 | 9 | 4.3 | 6.5 | 5.4 | 4.5 | 9.8 |
| 14. 5.1979 | 10 | 10 | 2 | 3.5 | 1 | 6 | 9.5 | 9 | 5 | 6 | 5 | 9.5 | 10 | 8 | 3.5 | 7 | 4 | 10.5 | 9.8 | 8.5 | 9.1 | 4.3 | 6.5 | 5.4 | 4.5 | 10 |
| 20. 5.1980 | 11 | 10 | 2.5 | 4 | 3 | 6.5 | 9.5 | 9 | 6 | 7 | 5 | 11 | 10.5 | 8 | 5 | 8 | 4.5 | 10.5 | 10 | 8.5 | 9.3 | 5.5 | 7.5 | 6.5 | 4.8 | 10.8 |
| 10. 6.1981 | 11 | 10 | 2.5 | 6 | 3 | 8 | 9.5 | 9 | 6 | 7 | 5 | 11 | 10.5 | 8 | 5.5 | 8 | 4.5 | 10.5 | 10 | 8.5 | 9.3 | 5.8 | 7.5 | 6.7 | 4.8 | 10.8 |
| 17. 5.1983 | 11 | 10 | 4 | 6.5 | 5 | 10.5 | 9.5 | 9 | 8.5 | 10 | 6 | 13 | 12 | 8 | 7 | 9 | 8.5 | 12 | 10.8 | 8.5 | 9.7 | 7.8 | 9.5 | 8.7 | 7.3 | 12.5 |

HLS KLOTEN-BÜLACH, AUSWERTUNG DER PLANUMAUFNAHMEN DER MESSPROFILE IN mm

| Nullmessung 24. 8.1972 | TEILMESSSTRECKE 5 A | | | | | | | | | | | | MITTEL | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Profil Nr. 5.1. (FS) | | | | Querneigung 2.5 % | | 5.2. (FS) | | | | Querneigung 2.6 % | | 5. A. (FS) | | | | | | | |
| | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | | | Wassertiefe | |
| | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | | Erhöhung | | | | |
| | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | Mittel | links | rechts | Mittel | links | rechts |
| 20. 3.1973 | 1 | 1.5 | | | | | 1 | 22 | | | | | 1 | 1.8 | 1.4 | | | | | |
| 12. 3.1974 | 4 | 6 | | | | | 4.5 | 55 | | | | 0.5 | 4.3 | 5.5 | 4.9 | | | | | 0.3 |
| 26.11.1974 | 4 | 6 | | | | 1.5 | 6 | 6.5 | | | | 1.5 | 5 | 6.3 | 5.7 | | | | | 1.5 |
| 12. 5.1975 | 4 | 6 | | | | 1.5 | 6 | 6.5 | | | | 1.5 | 5 | 6.3 | 5.7 | | | | | 1.5 |
| 25.11.1975 | 6.5 | 7.5 | | 1 | | 2.0 | 7.5 | 7.5 | | 1.5 | | 2.5 | 7 | 7.5 | 7.3 | | 1.3 | 0.7 | | 2.3 |
| 8. 4.1976 | 6.5 | 7.5 | | 1 | | 2.0 | 7.5 | 7.5 | | 1.5 | | 2.5 | 7 | 7.5 | 7.3 | | 1.3 | 0.7 | | 2.3 |
| 17.11.1976 | 6.5 | 8.5 | | 1 | | 2.5 | 8.0 | 8.0 | | 1.5 | | 3.0 | 7.3 | 8.3 | 7.8 | | 1.3 | 0.7 | | 2.8 |
| 20. 6.1978 | 8 | 8.5 | | 2 | | 4 | 8 | 8 | | 3 | | 3 | 8 | 8.3 | 8.1 | | 2.5 | 1.3 | | 3.5 |
| 14. 5.1979 | 8 | 8.5 | | 2 | | 4 | 9 | 8 | | 3.5 | | 5 | 8.5 | 8.3 | 8.4 | | 2.8 | 1.4 | | 4.5 |
| 20. 5.1980 | 8 | 10 | | 2 | | 5 | 9 | 8 | 1 | 3.5 | 1 | 5 | 8.5 | 9 | 8.8 | 0.5 | 2.8 | 1.6 | 0.5 | 5 |
| 10. 6.1981 | 8 | 10 | | 2 | | 5 | 9 | 8 | 1 | 3.5 | 1 | 5 | 8.5 | 9 | 8.8 | 0.5 | 2.8 | 1.6 | 0.5 | 5 |
| 17. 5.1983 | 9 | 10 | | 2 | | 5 | 9 | 8 | 2 | 4.5 | 2 | 6 | 9 | 9 | 9 | 1 | 3.3 | 2.1 | 1 | 5.5 |

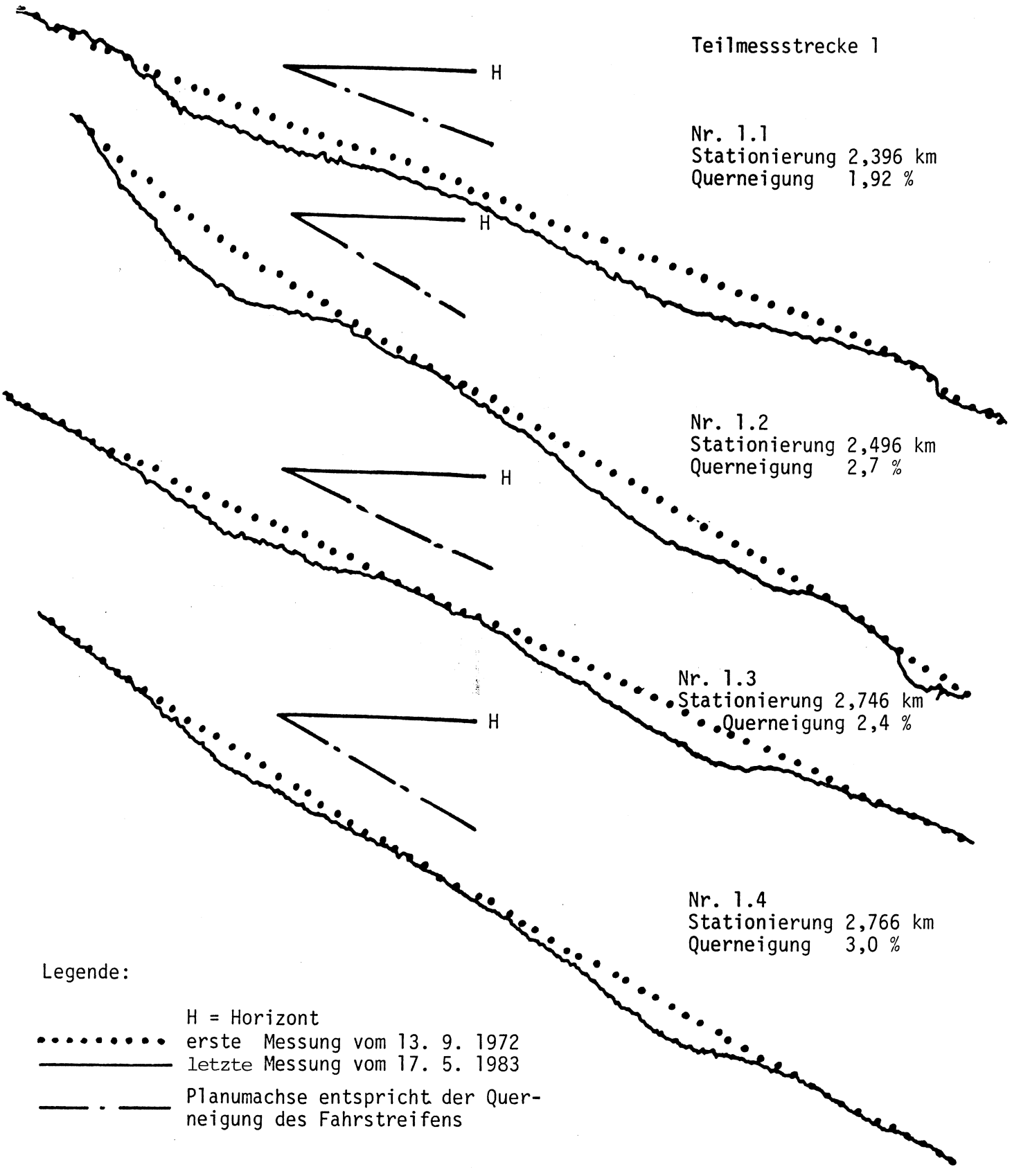
# HLS KLOTEN-BÜLACH, AUSWERTUNG DER PLANUMAUFNAHMEN DER MESSPROFILE IN mm

| Nullmessung 24. 8.1972 | TEILMESSSTRECKE 5 B | | | | | | | | | | | | MITTEL | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Profil Nr. 5.3. (FS) | | | | Querneigung 1.7 % | | 5.4. (FS) | | | | Querneigung 0.6 % | | 5.B. (FS) | | | | | | | |
| | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | Wassertiefe | | gegen Nullmessung maximale | | | | | | Wassertiefe | |
| | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | Erhöhung | | | | Vertiefung | | | Erhöhung | | | | |
| | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | links | rechts | Mittel | links | rechts | Mittel | links | rechts |
| 20. 3.1973 | 2 | 3 | | | | | 0.5 | 1 | | | | | 1.3 | 2 | 1.7 | | | | | |
| 12. 3.1974 | 8.5 | 8.5 | 1 | 1 | 0.5 | 5.5 | 6.5 | 8.5 | 1.5 | 1.5 | 6 | 7.0 | 7.5 | 8.5 | 8.0 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 3.3 | 6.3 |
| 26.11.1974 | 9 | 8.5 | 1.5 | 3 | 4 | 6.5 | 8.0 | 9.5 | 2.0 | 2.5 | 7 | 9.0 | 8.5 | 9.0 | 8.8 | 1.8 | 2.8 | 2.3 | 5.5 | 7.8 |
| 12. 5.1975 | 9 | 9.5 | 1.5 | 2 | 2 | 6.5 | 8.5 | 10.0 | 2.0 | 2.5 | 7 | 9.5 | 8.8 | 9.8 | 9.3 | 1.8 | 2.3 | 2.1 | 4.5 | 8.0 |
| 25.11.1975 | 10 | 10 | 1.5 | 2 | 2 | 7.0 | 9.5 | 11.5 | 2.0 | 2.5 | 7.5 | 11.0 | 9.8 | 10.8 | 10.3 | 1.8 | 2.3 | 2.1 | 4.8 | 9.0 |
| 8. 4.1976 | 10 | 10 | 1.5 | 2 | 2 | 7.0 | 9.5 | 11.5 | 2.0 | 2.5 | 7.5 | 11.0 | 9.8 | 10.8 | 10.3 | 1.8 | 2.3 | 2.1 | 4.8 | 9.0 |
| 17.11.1976 | 10.5 | 10.5 | 2.0 | 2.5 | 3.5 | 8.0 | 9.5 | 12.0 | 3.0 | 2.5 | 9.0 | 11.5 | 10 | 11.3 | 10.7 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 6.3 | 9.8 |
| 20. 6.1978 | 11 | 10.5 | 2 | 4 | 4.5 | 9.5 | 11 | 12 | 3 | 3 | 11 | 12 | 11 | 11.3 | 11.1 | 2.5 | 3.5 | 3 | 7 8 | 10.8 |
| 14. 5.1979 | 11 | 10.5 | 2 | 4 | 5.5 | 10 | 12 | 12 | 3 | 3 | 12.5 | 12 | 11.5 | 11.3 | 11.4 | 2.5 | 3.5 | 3 | 9 | 11 |
| 20. 5.1980 | 12 | 10.5 | 2 | 4 | 7 | 10 | 12 | 12 | 3 | 3 | 12.5 | 12 | 12 | 11.3 | 11.6 | 2.5 | 3.5 | 3 | 9.8 | 11 |
| 10. 6.1981 | 12 | 10.5 | 2 | 5 | 7 | 10 | 12 | 12 | 3 | 3 | 12.5 | 12 | 12 | 11.3 | 11.7 | 2.5 | 4.0 | 3.3 | 9.8 | 11 |
| 17. 5.1983 | 12.5 | 10.5 | 3.5 | 5 | 9.5 | 11 | 12 | 12 | 3 | 4 | 12.5 | 13 | 12.3 | 11.3 | 11.8 | 3.3 | 4.5 | 3.9 | 11 | 12 |

# BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS KLOTEN-BÜLACH

**Querprofile (Planum) des Fahrstreifens 2**
**rechter Fahrstreifen Richtung Kloten**

Massstab: rechtwinklig zur Planumachse 1:1
parallel zur Planumachse 1:20



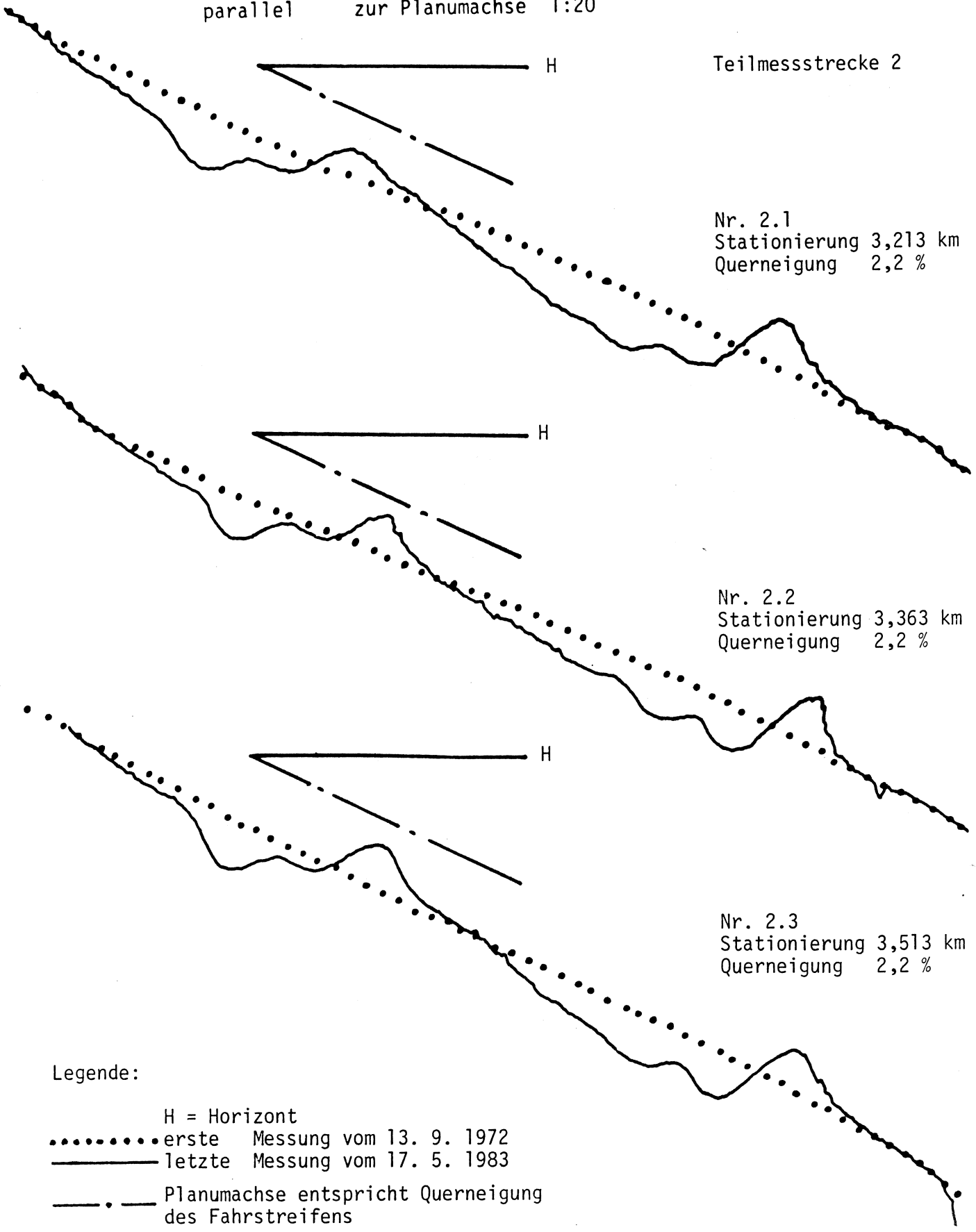

Legende:

H = Horizont
erste Messung vom 13. 9. 1972
letzte Messung vom 17. 5. 1983
Planumachse entspricht der Querneigung des Fahrstreifens

# BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS KLOTEN-BÜLACH

Querprofile (Planum) des Fahrstreifens 2
rechter Fahrstreifen Richtung Kloten

Massstab: rechtwinklig zur Planumachse 1:1
parallel zur Planumachse 1:20



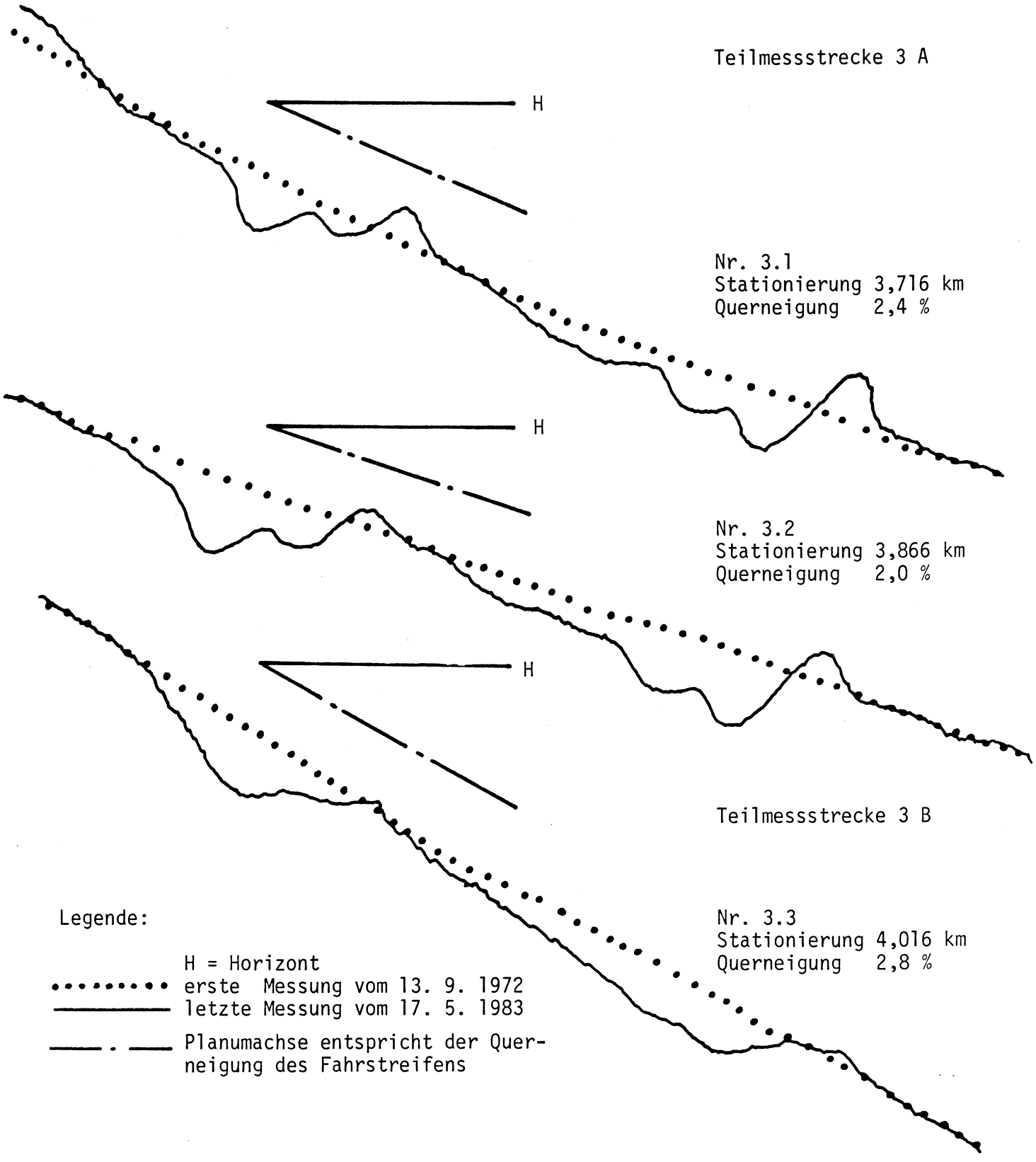

Legende:

H = Horizont
erste Messung vom 13. 9. 1972
letzte Messung vom 17. 5. 1983
Planumachse entspricht Querneigung des Fahrstreifens

# BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS KLOTEN-BÜLACH

Querprofile (Planum) des Fahrstreifens 2
rechter Fahrstreifen Richtung Kloten

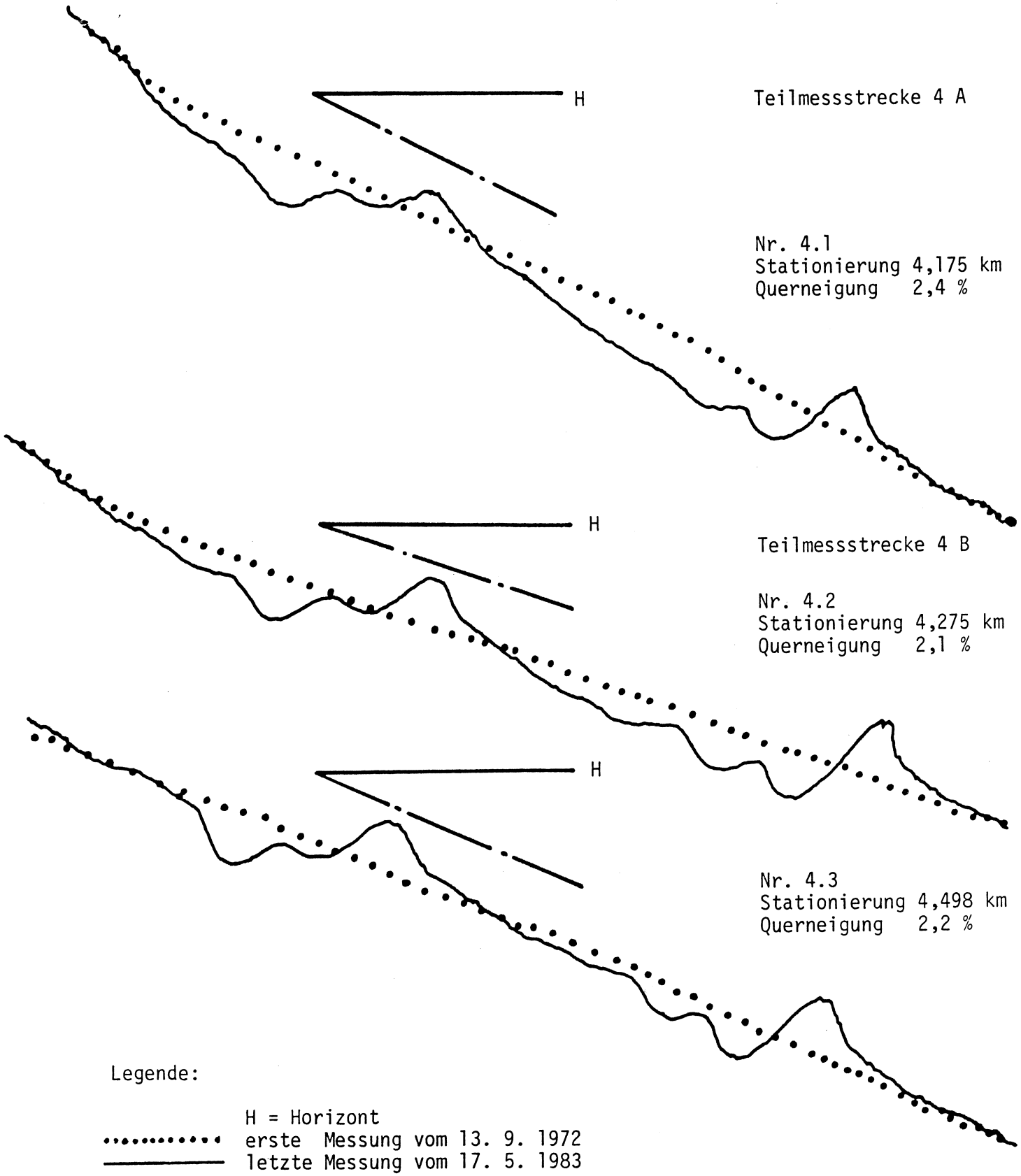
Massstab: rechtwinklig zur Planumachse 1:1
parallel zur Planumachse 1:20



# BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS KLOTEN-BÜLACH

Querprofile (Planum) des Fahrstreifens 2
rechter Fahrstreifen Richtung Kloten

Massstab: rechtwinklig zur Planumachse 1:1
parallel zur Planumachse 1:20



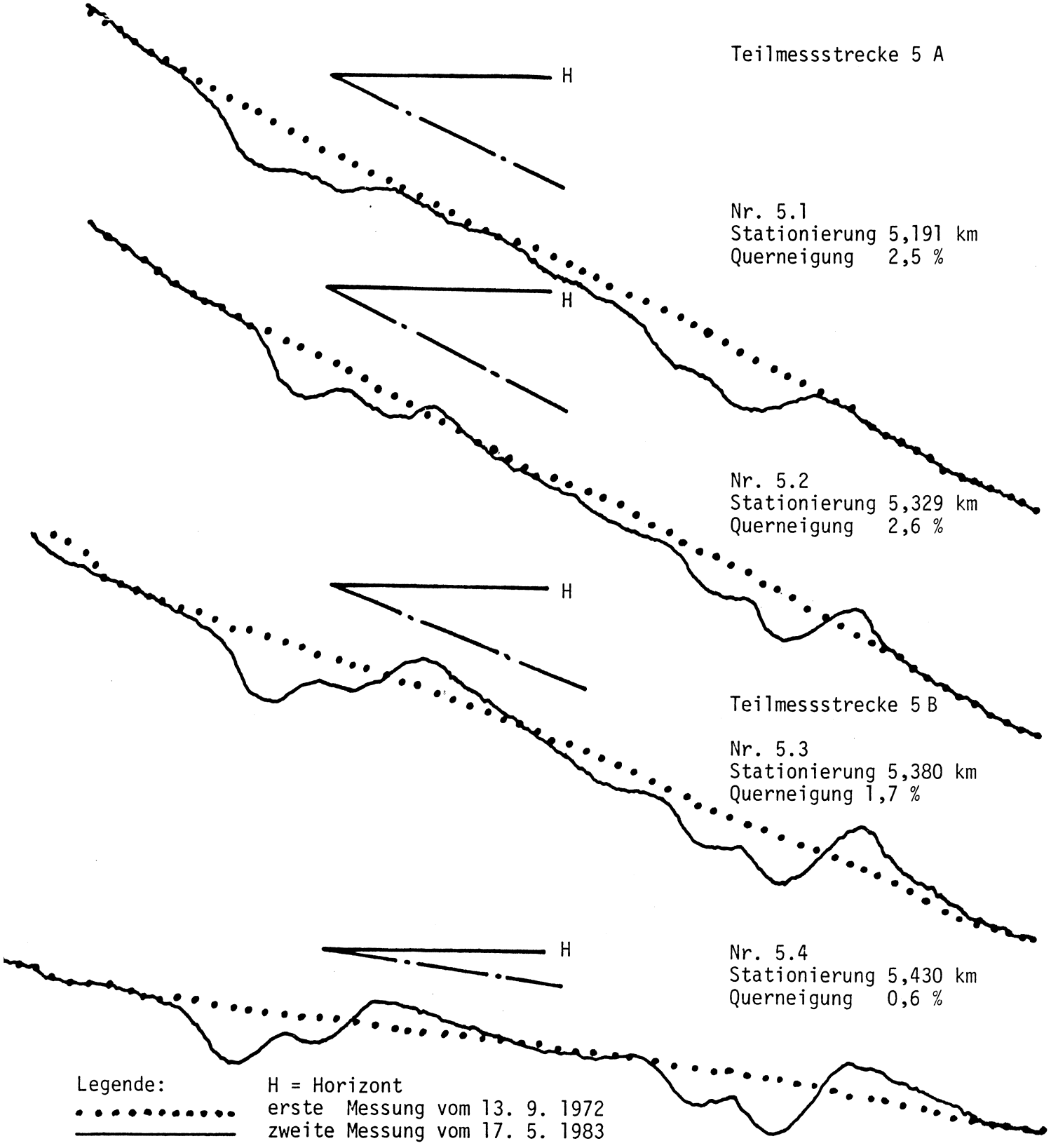

Legende:

H = Horizont
..... erste Messung vom 13. 9. 1972
——— letzte Messung vom 17. 5. 1983
—— · —— Planumachse entspricht der Querneigung des Fahrstreifens

# BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS KLOTEN-BÜLACH

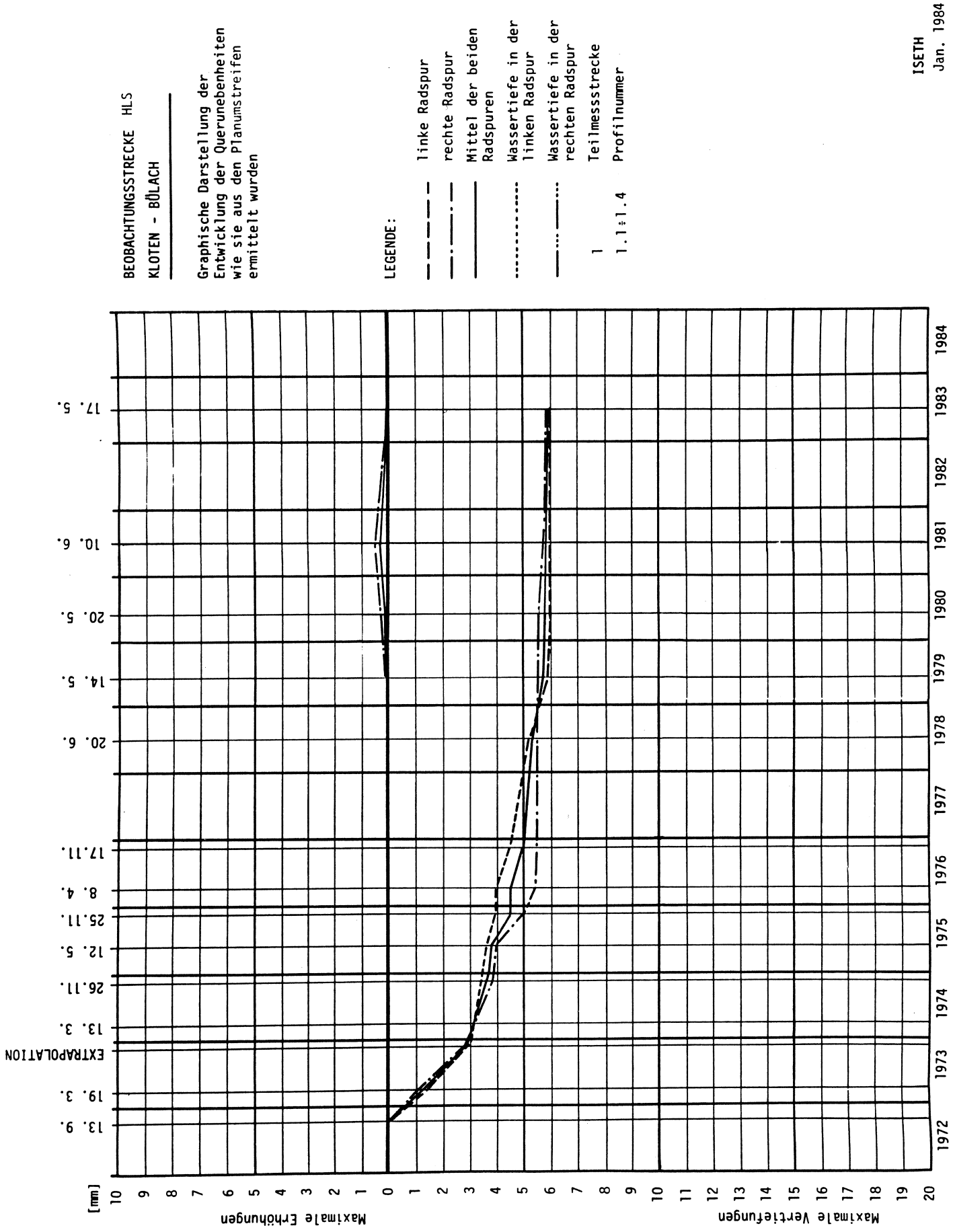
Querprofile (Planum) des Fahrstreifens 2
rechter Fahrstreifen Richtung Kloten

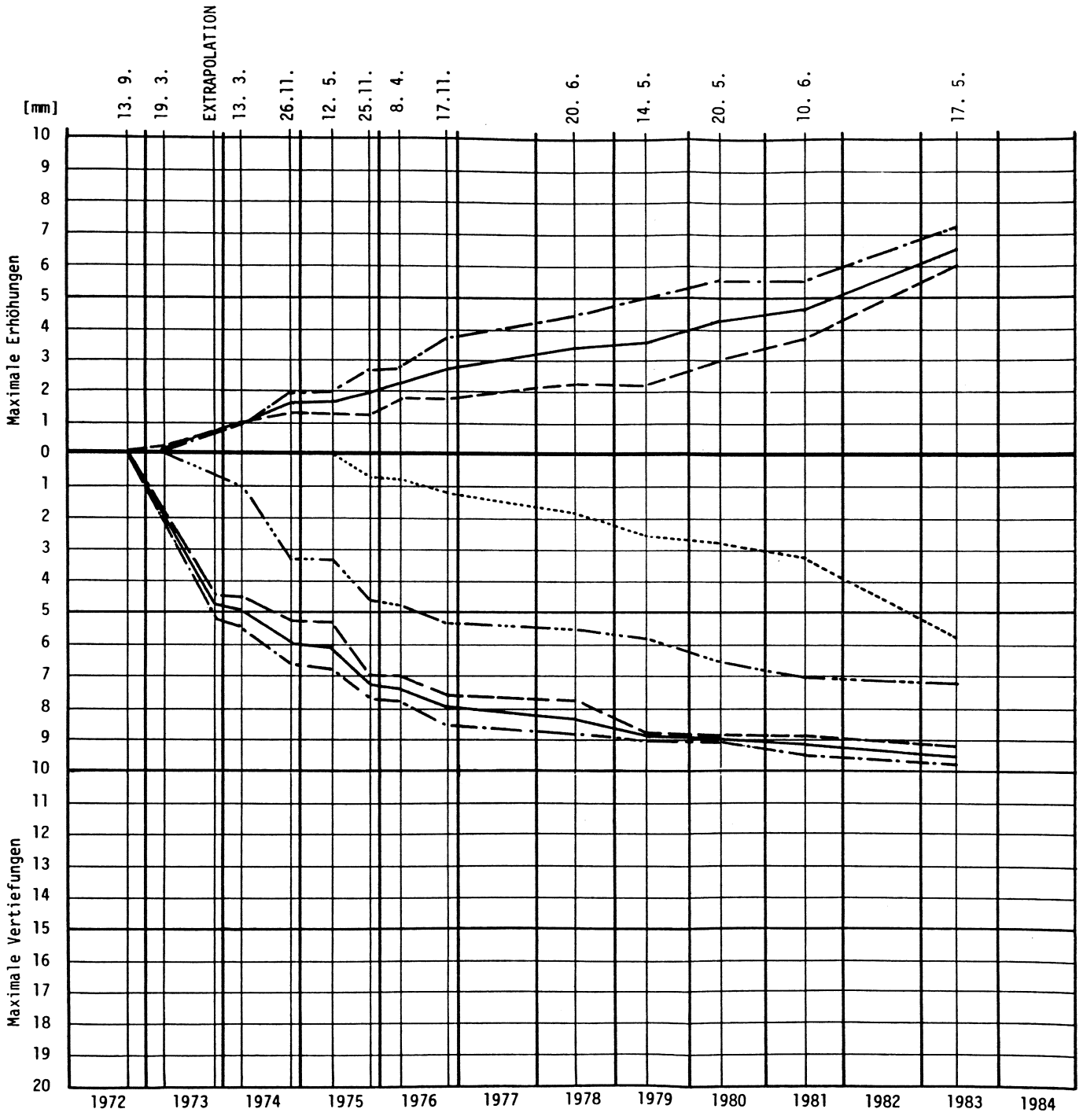
Massstab: rechtwinklig zur Planumachse 1:1
parallel zur Planumachse 1:20




Legende:

H = Horizont
erste Messung vom 13. 9. 1972
zweite Messung vom 17. 5. 1983
Planumachse entspricht der Querneigung des Fahrstreifens


BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS
KLOTEN - BÜLACH
Graphische Darstellung der Entwicklung der Querunebenheiten wie sie aus den Planumstreifen ermittelt wurden
LEGENDE:
linke Radspur
rechte Radspur
Mittel der beiden Radspuren
Wassertiefe in der linken Radspur
Wassertiefe in der rechten Radspur
1 Teilmessstrecke
1.1÷1.4 Profilnummer
ISETH
Jan. 1984
Maximale Vertiefungen
Maximale Erhöhungen
[mm]
EXTRAPOLATION
13. 9.
19. 3.
13. 3.
26.11.
12. 5.
25.11.
8. 4.
17.11.
20. 6.
14. 5.
20. 5.
10. 6.
17. 5.
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984




BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS

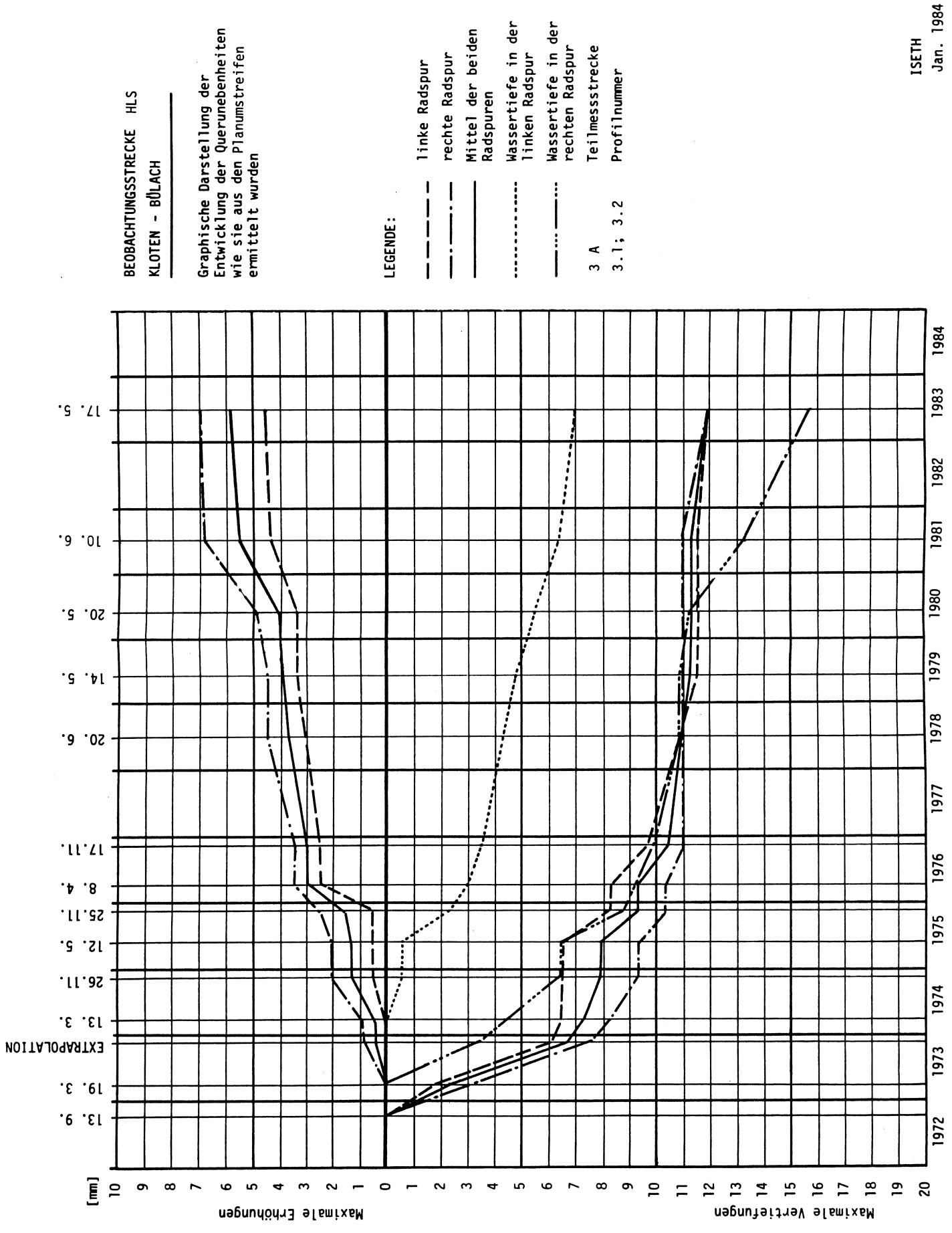
KLOTEN - BÜLACH

Graphische Darstellung der Entwicklung der Querunebenheiten wie sie aus den Planumstreifen ermittelt wurden

LEGENDE:

| | |
|---|---|
| – – – – – | linke Radspur |
| —·—·— | rechte Radspur |
| ——— | Mittel der beiden Radspuren |
| ····· | Wassertiefe in der linken Radspur |
| —··—·· | Wassertiefe in der rechten Radspur |
| 2 | Teilmessstrecke |
| 2.1 ÷ 2.3 | Profilnummer |

ISETH
Jan. 1984


BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS
KLOTEN - BÜLACH
Graphische Darstellung der Entwicklung der Querunebenheiten wie sie aus den Planumstreifen ermittelt wurden
LEGENDE:
linke Radspur
rechte Radspur
Mittel der beiden Radspuren
Wassertiefe in der linken Radspur
Wassertiefe in der rechten Radspur
3 A Teilmessstrecke
3.1; 3.2 Profilnummer
ISETH Jan. 1984
Maximale Erhöhungen
Maximale Vertiefungen
[mm]
EXTRAPOLATION
13. 9.
19. 3.
13. 3.
26.11.
12. 5.
25.11.
8. 4.
17.11.
20. 6.
14. 5.
20. 5.
10. 6.
17. 5.
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984

BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS

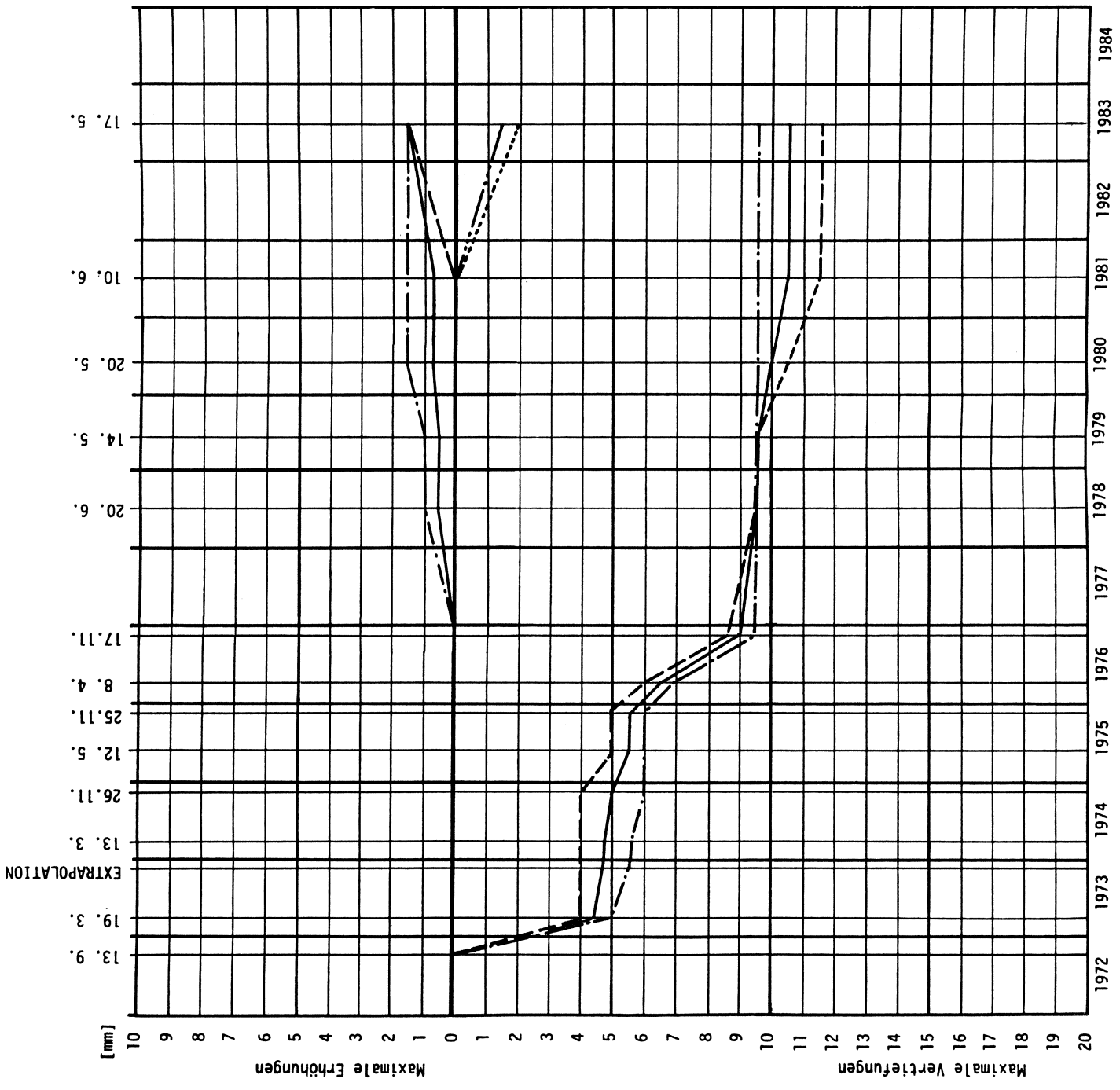
KLOTEN - BÜLACH

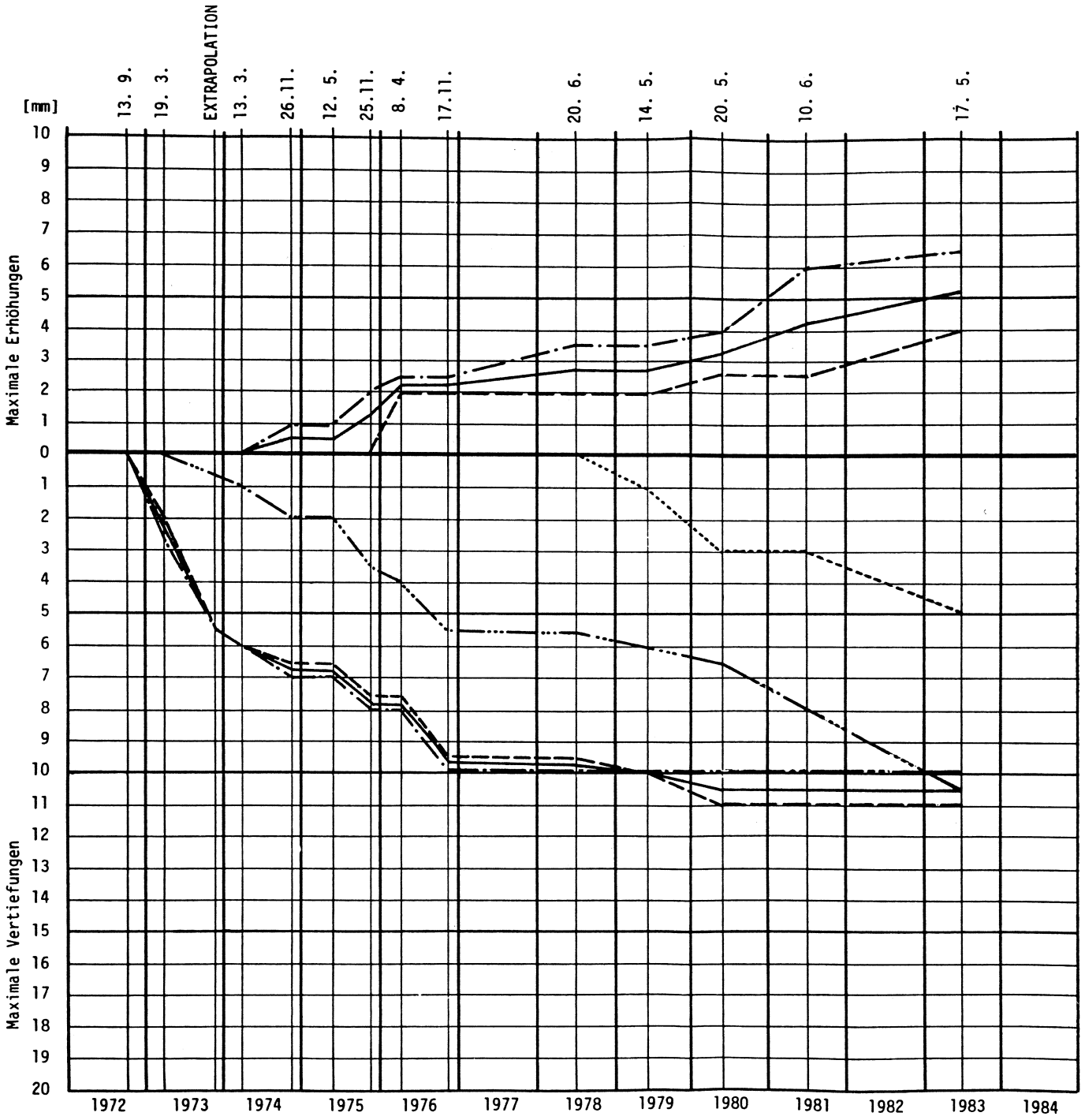
Graphische Darstellung der Entwicklung der Querunebenheiten wie sie aus den Planumstreifen ermittelt wurden

LEGENDE:

- linke Radspur
- rechte Radspur
- Mittel der beiden Radspuren
- Wassertiefe in der linken Radspur
- Wassertiefe in der rechten Radspur
- 3 B Teilmessstrecke
- 3.3 Profilnummer

ISETH
Jan. 1984






BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS

KLOTEN - BÜLACH

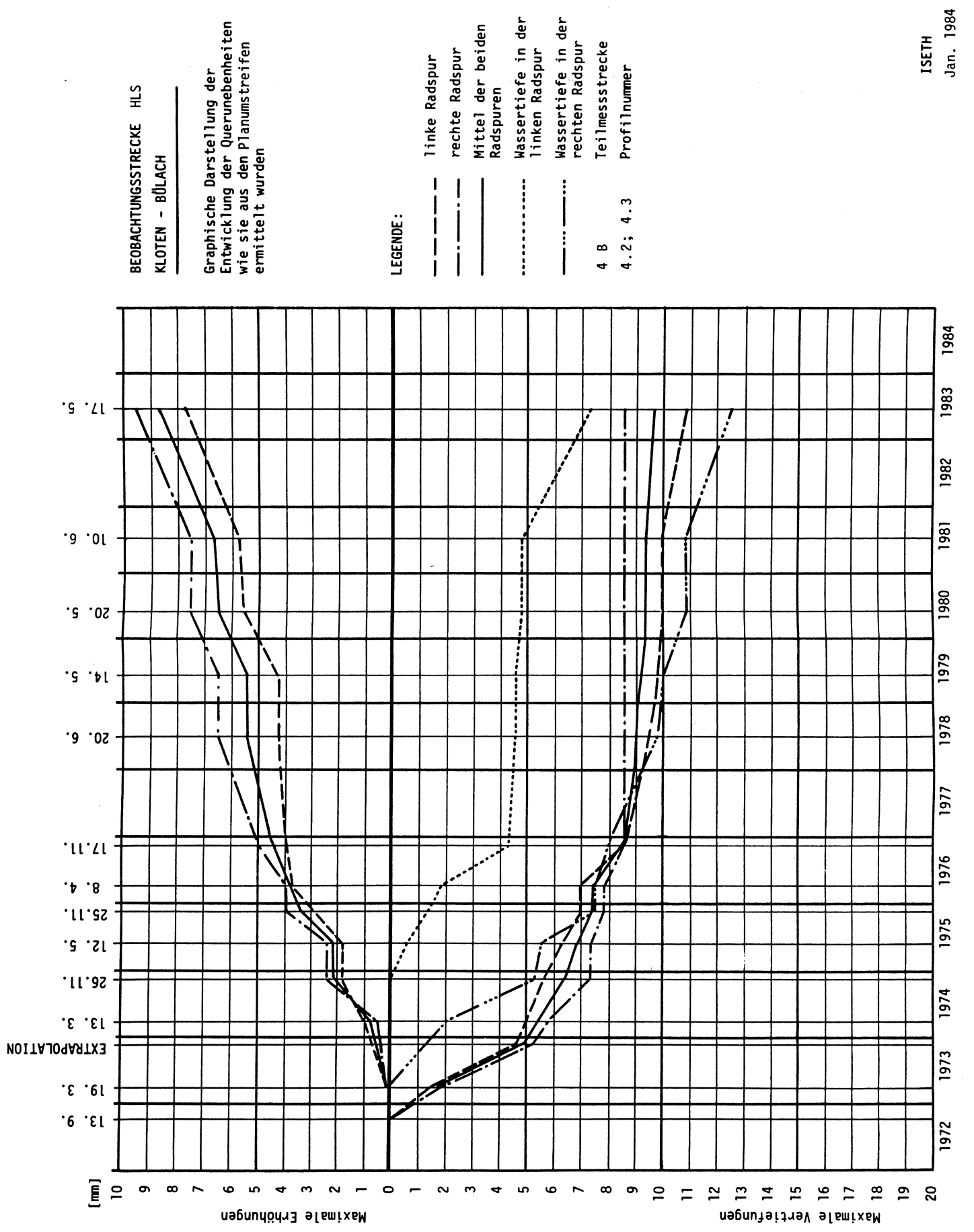
Graphische Darstellung der Entwicklung der Querunebenheiten wie sie aus den Planumstreifen ermittelt wurden

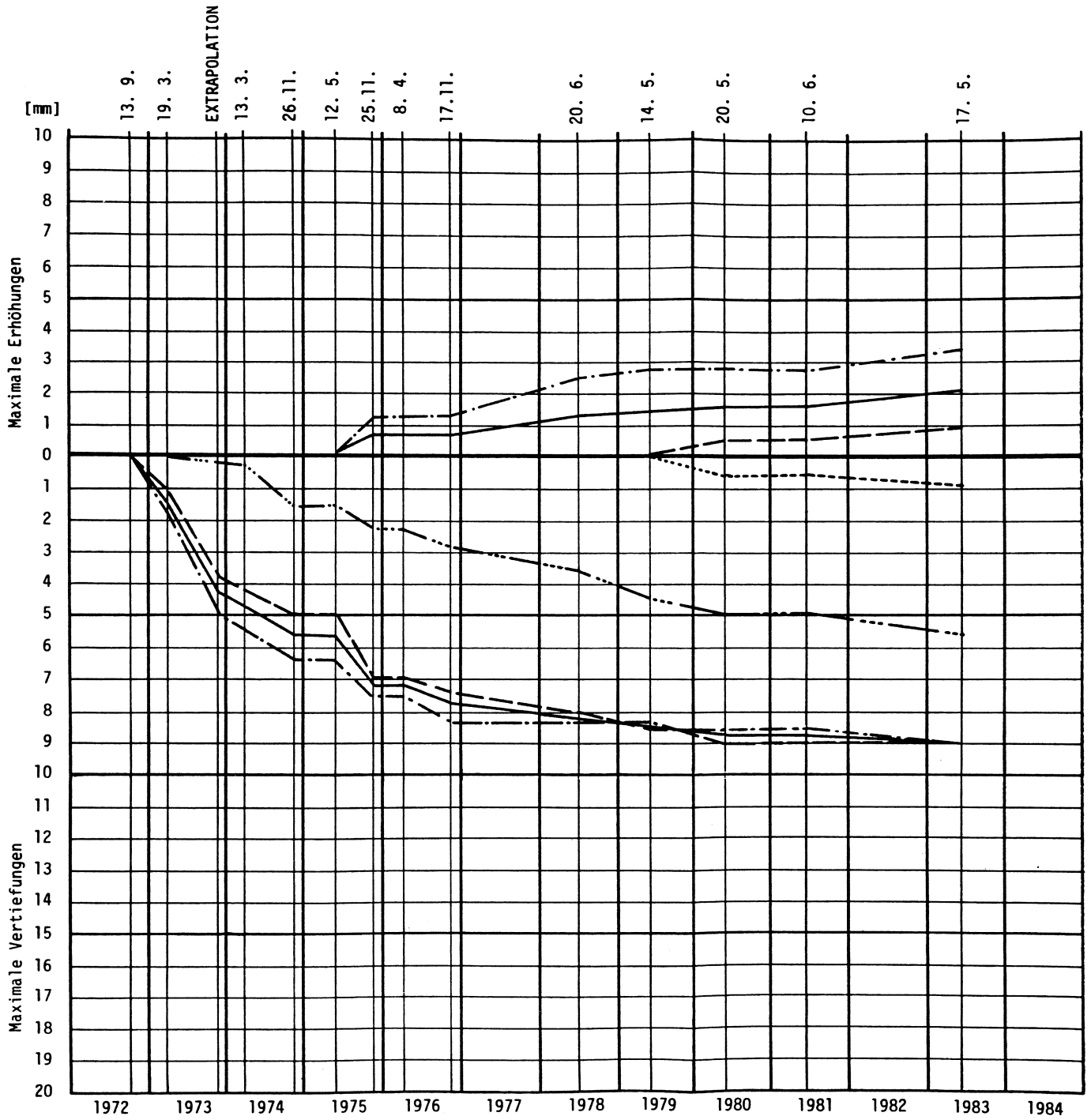
LEGENDE:

| | |
|---|---|
| — — — — — | linke Radspur |
| —·—·— | rechte Radspur |
| ——— | Mittel der beiden Radspuren |
| ..... | Wassertiefe in der linken Radspur |
| —··—··— | Wassertiefe in der rechten Radspur |
| 4 A | Teilmessstrecke |
| 4.1 | Profilnummer |

ISETH

Jan. 1984


BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS
KLOTEN - BÜLACH
Graphische Darstellung der Entwicklung der Querunebenheiten wie sie aus den Planumstreifen ermittelt wurden
LEGENDE:
linke Radspur
rechte Radspur
Mittel der beiden Radspuren
Wassertiefe in der linken Radspur
Wassertiefe in der rechten Radspur
4 B Teilmessstrecke
4.2; 4.3 Profilnummer
ISETH
Jan. 1984
Maximale Erhöhungen
Maximale Vertiefungen
[mm]
EXTRAPOLATION
13. 9.
19. 3.
13. 3.
26.11.
12. 5.
25.11.
8. 4.
17.11.
20. 6.
14. 5.
20. 5.
10. 6.
17. 5.
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984




BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS

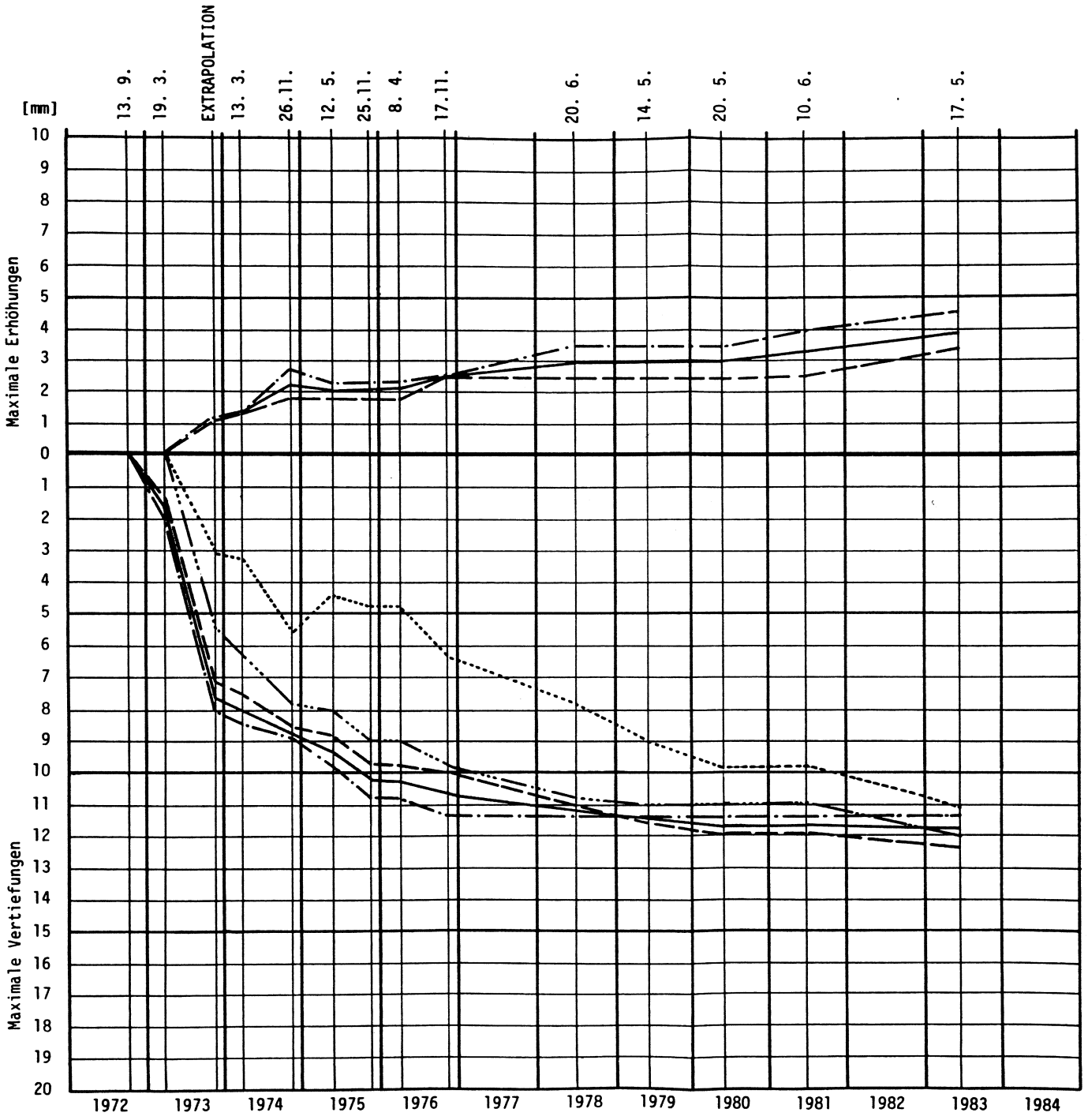
KLOTEN - BÜLACH

Graphische Darstellung der Entwicklung der Querunebenheiten wie sie aus den Planumstreifen ermittelt wurden

LEGENDE:

| | |
|---|---|
| _ _ _ _ _ | linke Radspur |
| _ . _ . _ | rechte Radspur |
| ——— | Mittel der beiden Radspuren |
| ..... | Wassertiefe in der linken Radspur |
| _ ... _ ... | Wassertiefe in der rechten Radspur |
| 5 A | Teilmessstrecke |
| 5.1; 5.2 | Profilnummer |

ISETH / Jan. 84




**BEOBACHTUNGSSTRECKE** HLS

**KLOTEN - BÜLACH**

Graphische Darstellung der Entwicklung der Querunebenheiten wie sie aus den Planumstreifen ermittelt wurden

LEGENDE:

| | |
|---|---|
| — — — — — | linke Radspur |
| —·——·— | rechte Radspur |
| ——————— | Mittel der beiden Radspuren |
| ---------- | Wassertiefe in der linken Radspur |
| —··—··— | Wassertiefe in der rechten Radspur |
| 5 B | Teilmessstrecke |
| 5.3; 5.4 | Profilnummer |

ISETH / Jan.

ISETH

BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS KLOTEN-BÜLACH
TABELLE DER MITTLEREN T-WERTE UND t-WERTE

TEILMESSSTRECKE: 2

| DATUM DER MESSUNG | | 17.11.76 | 20.6.78 | 10.6.81 | 17.5.83 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MITTLERE RADSPURRINNENTIEFE $\overline{T}$ [mm] | MITTELWERT | 13.1 | 12.3 | 14.2 | 16.1 | |
| | R. RADSPUR | 11.8 | 11.8 | 13.3 | 15.5 | |
| | L. RADSPUR | 14.4 | 12.8 | 15.1 | 16.7 | |
| | WERTEANZAHL | 23 | 23 | 23 | 23 | |
| MITTLERE WASSERTIEFE $\overline{t}$ [mm] | MITTELWERT | | 3.5 | 6.4 | 7.3 | |
| | R. RADSPUR | | 5.1 | 8.7 | 9.5 | |
| | L. RADSPUR | | 1.8 | 4.0 | 5.1 | |
| | WERTEANZAHL | | 23 | 23 | 23 | |
| TEILMESSSTRECKE: 1 | | | | | | |
| MITTLERE RADSPURRINNENTIEFE $\overline{T}$ [mm] | MITTELWERT | 6.1 | 6.9 | 6.2 | 6.7 | |
| | R. RADSPUR | 5.1 | 6.4 | 5.5 | 6.4 | |
| | L. RADSPUR | 7.0 | 7.5 | 6.8 | 7.0 | |
| | WERTEANZAHL | 29 | 29 | 29 | 29 | |
| MITTLERE WASSERTIEFE $\overline{t}$ [mm] | MITTELWERT | | 0 | 0 | 0 | |
| | R. RADSPUR | | 0 | 0 | 0 | |
| | L. RADSPUR | | 0 | 0 | 0 | |
| | WERTEANZAHL | | 29 | 29 | 29 | |
| TEILMESSSTRECKE: Alle Teilmessstrecken | | | | | | |
| MITTLERE RADSPURRINNENTIEFE $\overline{T}$ [mm] | MITTELWERT | 10.5 | 10.8 | 11.7 | 13.9 | |
| | R. RADSPUR | 9.7 | 10.3 | 11.1 | 13.4 | |
| | L. RADSPUR | 11.1 | 11.3 | 12.3 | 14.3 | |
| | WERTEANZAHL | 116 | 115 | 117 | 117 | |
| MITTLERE WASSERTIEFE $\overline{t}$ [mm] | MITTELWERT | | 2.9 | 4.8 | 6.1 | |
| | R. RADSPUR | | 3.9 | 6.3 | 7.5 | |
| | L. RADSPUR | | 1.8 | 3.3 | 4.6 | |
| | WERTEANZAHL | | 115 | 117 | 117 | |

ISETH

BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS KLOTEN-BÜLACH
TABELLE DER MITTLEREN T-WERTE UND t-WERTE

TEILMESSSTRECKE: 3 B

| DATUM DER MESSUNG | | 17.11.76 | 20.6.78 | 10.6.81 | 17.5.83 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MITTLERE RADSPURRINNENTIEFE $\overline{T}$ [mm] | MITTELWERT | 10.0 | 9.9 | 11.3 | 13.9 | |
| | R. RADSPUR | 8.7 | 8.8 | 9.8 | 12.0 | |
| | L. RADSPUR | 11.3 | 11.0 | 12.8 | 15.8 | |
| | WERTEANZAHL | 6 | 6 | 6 | 6 | |
| MITTLERE WASSERTIEFE $\overline{t}$ [mm] | MITTELWERT | | 0.5 | 2.3 | 4.7 | |
| | R. RADSPUR | | 0.9 | 3.5 | 5.5 | |
| | L. RADSPUR | | 0 | 1.0 | 3.8 | |
| | WERTEANZAHL | | 6 | 6 | 6 | |
| TEILMESSSTRECKE: 3 A | | | | | | |
| MITTLERE RADSPURRINNENTIEFE $\overline{T}$ [mm] | MITTELWERT | 14.2 | 14.4 | 16.1 | 19.0 | |
| | R. RADSPUR | 13.8 | 13.8 | 16.3 | 19.1 | |
| | L. RADSPUR | 14.6 | 14.9 | 15.9 | 18.9 | |
| | WERTEANZAHL | 15 | 15 | 15 | 15 | |
| MITTLERE WASSERTIEFE $\overline{t}$ [mm] | MITTELWERT | | 5.4 | 8.5 | 10.6 | |
| | R. RADSPUR | | 7.3 | 11.4 | 13.7 | |
| | L. RADSPUR | | 3.6 | 5.6 | 7.4 | |
| | WERTEANZAHL | | 15 | 15 | 15 | |
| TEILMESSSTRECKE: 3 = 3A + 3 B | | | | | | |
| MITTLERE RADSPURRINNENTIEFE $\overline{T}$ [mm] | MITTELWERT | 13.0 | 13.1 | 14.7 | 17.5 | |
| | R. RADSPUR | 12.3 | 12.4 | 14.4 | 17.1 | |
| | L. RADSPUR | 13.6 | 13.8 | 15.0 | 18.0 | |
| | WERTEANZAHL | 21 | 21 | 21 | 21 | |
| MITTLERE WASSERTIEFE $\overline{t}$ [mm] | MITTELWERT | | 4.1 | 6.7 | 8.9 | |
| | R. RADSPUR | | 5.4 | 9.1 | 11.4 | |
| | L. RADSPUR | | 2.6 | 4.3 | 6.4 | |
| | WERTEANZAHL | | 21 | 21 | 21 | |

ISETH

BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS KLOTEN-BÜLACH

TABELLE DER MITTLEREN T-WERTE UND t-WERTE

TEILMESSSTRECKE: 4 B

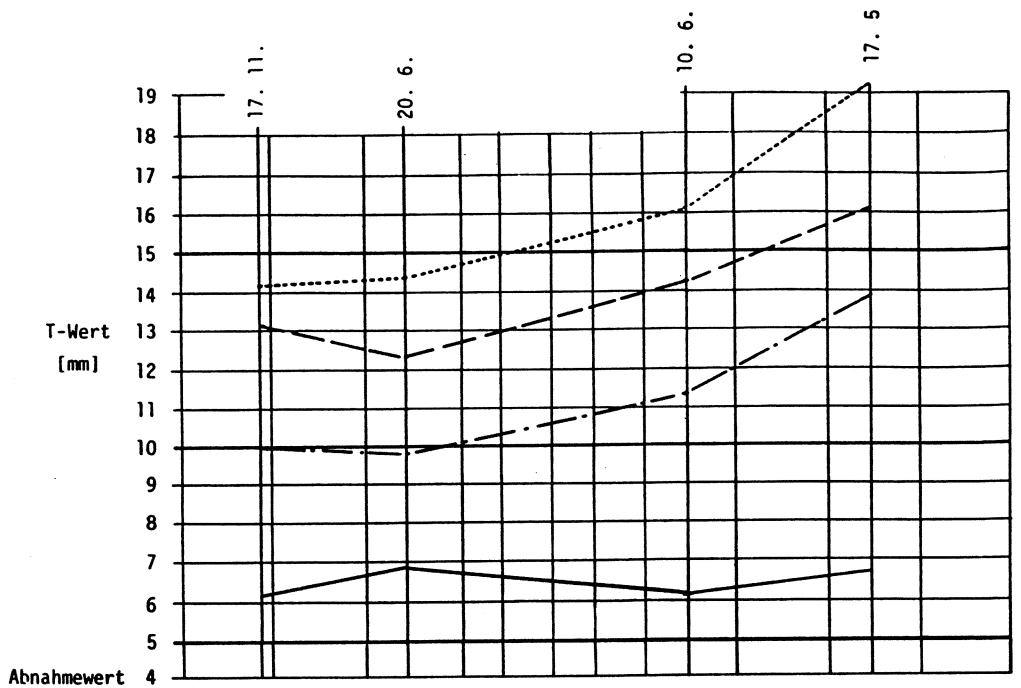
| DATUM DER MESSUNG | | 17.11.76 | 20.6.78 | 10.6.81 | 17.5.83 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MITTLERE RADSPURRINNENTIEFE $\overline{T}$ [mm] | MITTELWERT | 13.2 | 14.3 | 15.4 | 19.5 | |
| | R. RADSPUR | 12.7 | 14.2 | 15.0 | 19 | |
| | L. RADSPUR | 13.7 | 14.7 | 15.7 | 19.9 | |
| | WERTEANZAHL | 17 | 17 | 17 | 17 | |
| MITTLERE WASSERTIEFE $\overline{t}$ [mm] | MITTELWERT | | 6.1 | 8.8 | 11.3 | |
| | R. RADSPUR | | 8.3 | 11.1 | 13.2 | |
| | L. RADSPUR | | 4.0 | 6.5 | 9.3 | |
| | WERTEANZAHL | | 17 | 17 | 17 | |
| TEILMESSSTRECKE: 4 A | | | | | | |
| MITTLERE RADSPURRINNENTIEFE $\overline{T}$ [mm] | MITTELWERT | 9.7 | 10.1 | 11.6 | 14.8 | |
| | R. RADSPUR | 9.1 | 9.4 | 10.8 | 13.6 | |
| | L. RADSPUR | 10.2 | 10.8 | 12.3 | 16.0 | |
| | WERTEANZAHL | 8 | 8 | 8 | 8 | |
| MITTLERE WASSERTIEFE $\overline{t}$ [mm] | MITTELWERT | | 2.1 | 4.7 | 6.3 | |
| | R. RADSPUR | | 2.8 | 6.5 | 8.0 | |
| | L. RADSPUR | | 1.4 | 2.9 | 4.5 | |
| | WERTEANZAHL | | 8 | 8 | 8 | |
| TEILMESSSTRECKE: 4 = 4A + 4B | | | | | | |
| MITTLERE RADSPURRINNENTIEFE $\overline{T}$ [mm] | MITTELWERT | 12.1 | 13.0 | 14.2 | 18.0 | |
| | R. RADSPUR | 11.6 | 12.7 | 13.6 | 17.3 | |
| | L. RADSPUR | 12.6 | 13.3 | 14.6 | 18.7 | |
| | WERTEANZAHL | 25 | 25 | 25 | 25 | |
| MITTLERE WASSERTIEFE $\overline{t}$ [mm] | MITTELWERT | | 4.9 | 7.5 | 9.7 | |
| | R. RADSPUR | | 6.5 | 9.6 | 11.6 | |
| | L. RADSPUR | | 3.2 | 5.3 | 7.8 | |
| | WERTEANZAHL | | 25 | 25 | 25 | |

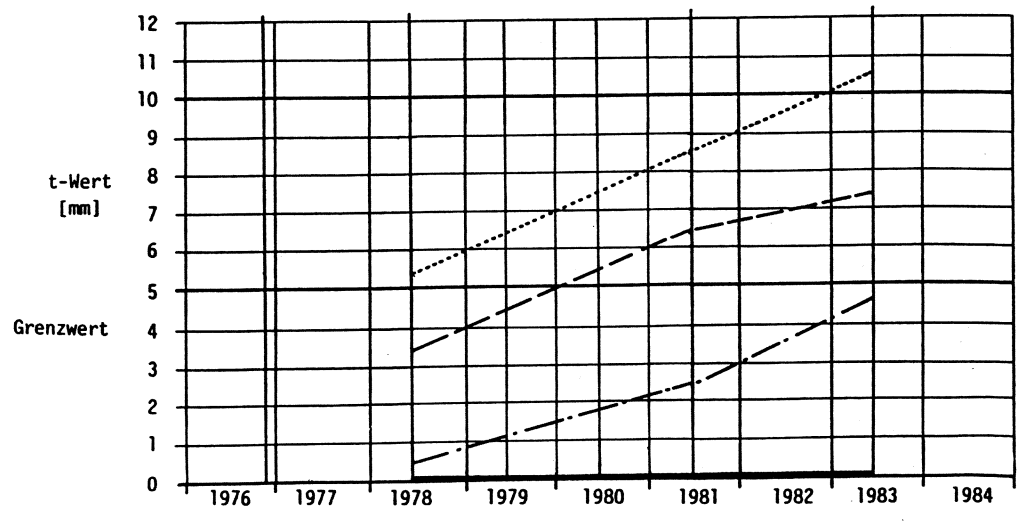
ISETH

BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS KLOTEN-BÜLACH
TABELLE DER MITTLEREN T-WERTE UND t-WERTE

TEILMESSSTRECKE: 5B

| DATUM DER MESSUNG | | 17.11.76 | 20.6.78 | 10.6.81 | 17.5.83 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MITTLERE RADSPURRINNENTIEFE $\overline{T}$ [mm] | MITTELWERT | 12.3 | 12.7 | 14.0 | 16.5 | |
| | R. RADSPUR | 11.6 | 12.3 | 13.6 | 16.4 | |
| | L. RADSPUR | 12.7 | 13.1 | 14.3 | 16.5 | |
| | WERTEANZAHL | 7 | 6 | 8 | 8 | |
| MITTLERE WASSERTIEFE $\overline{t}$ [mm] | MITTELWERT | | 6.5 | 9.9 | 11.4 | |
| | R. RADSPUR | | 7.5 | 10.5 | 12.3 | |
| | L. RADSPUR | | 5.5 | 8.4 | 10.5 | |
| | WERTEANZAHL | | 6 | 8 | 8 | |
| TEILMESSSTRECKE: 5 A | | | | | | |
| MITTLERE RADSPURRINNENTIEFE $\overline{T}$ [mm] | MITTELWERT | 7.6 | 7.9 | 7.9 | 9.8 | |
| | R. RADSPUR | 6.9 | 7.5 | 7.0 | 9.5 | |
| | L. RADSPUR | 8.3 | 8.3 | 8.7 | 10.1 | |
| | WERTEANZAHL | 11 | 11 | 11 | 11 | |
| MITTLERE WASSERTIEFE $\overline{t}$ [mm] | MITTELWERT | | 0.6 | 1.1 | 2.0 | |
| | R. RADSPUR | | 1.1 | 1.7 | 2.4 | |
| | L. RADSPUR | | 0 | 0.4 | 1.1 | |
| | WERTEANZAHL | | 11 | 11 | 11 | |



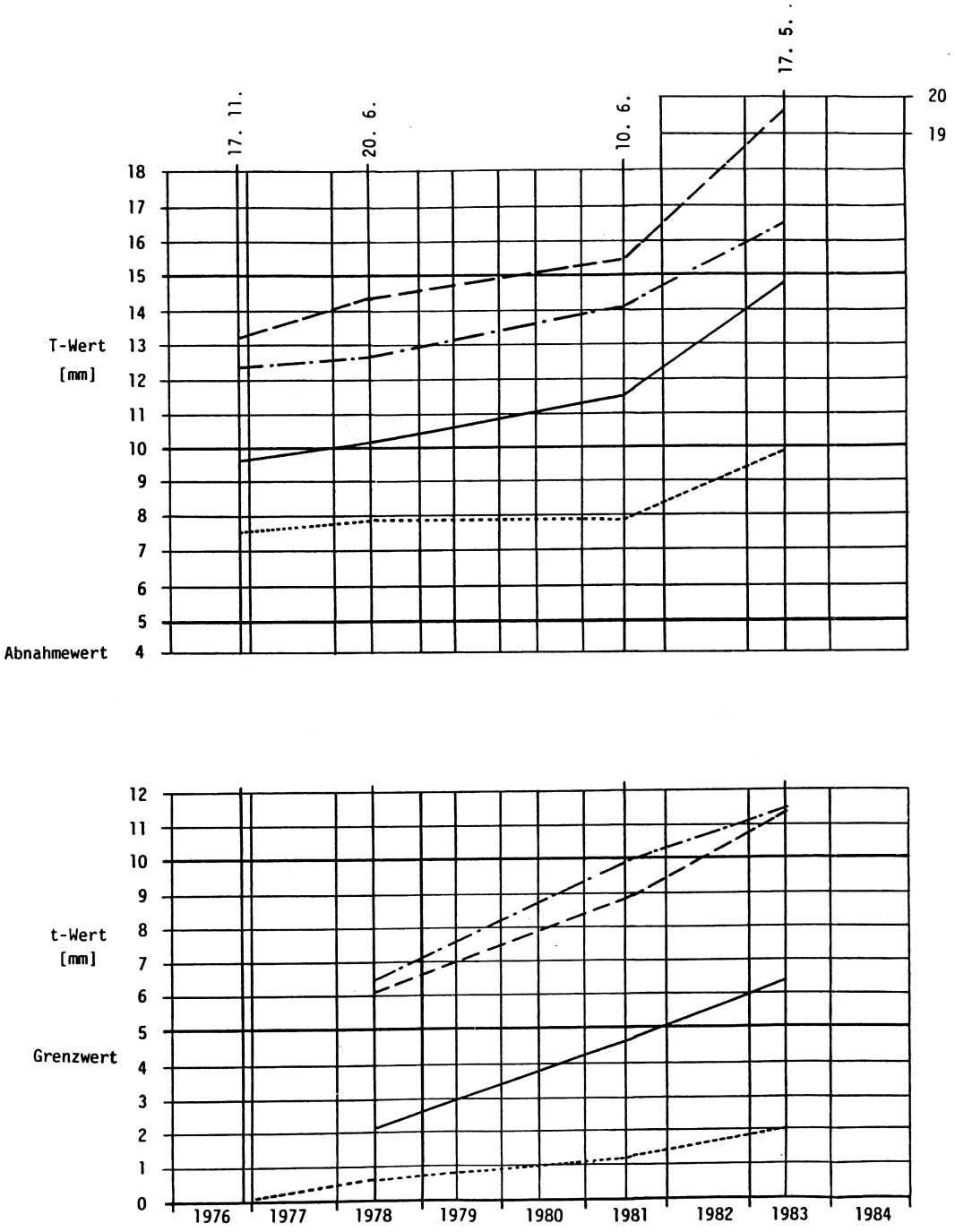

**BEOBACHTUNGSSTRECKE**
**HLS Kloten - Bülach**

Graphische Darstellung der Entwicklung der Radspurrinnentiefe der Fahrstreifen Richtung Kloten, ermittelt durch T-Werte und t-Werte

LEGENDE: Teilmessstrecken

1 ——————
2 — — — —
3 A .....
3 B —·—·—

ISETH
Jan. 1984



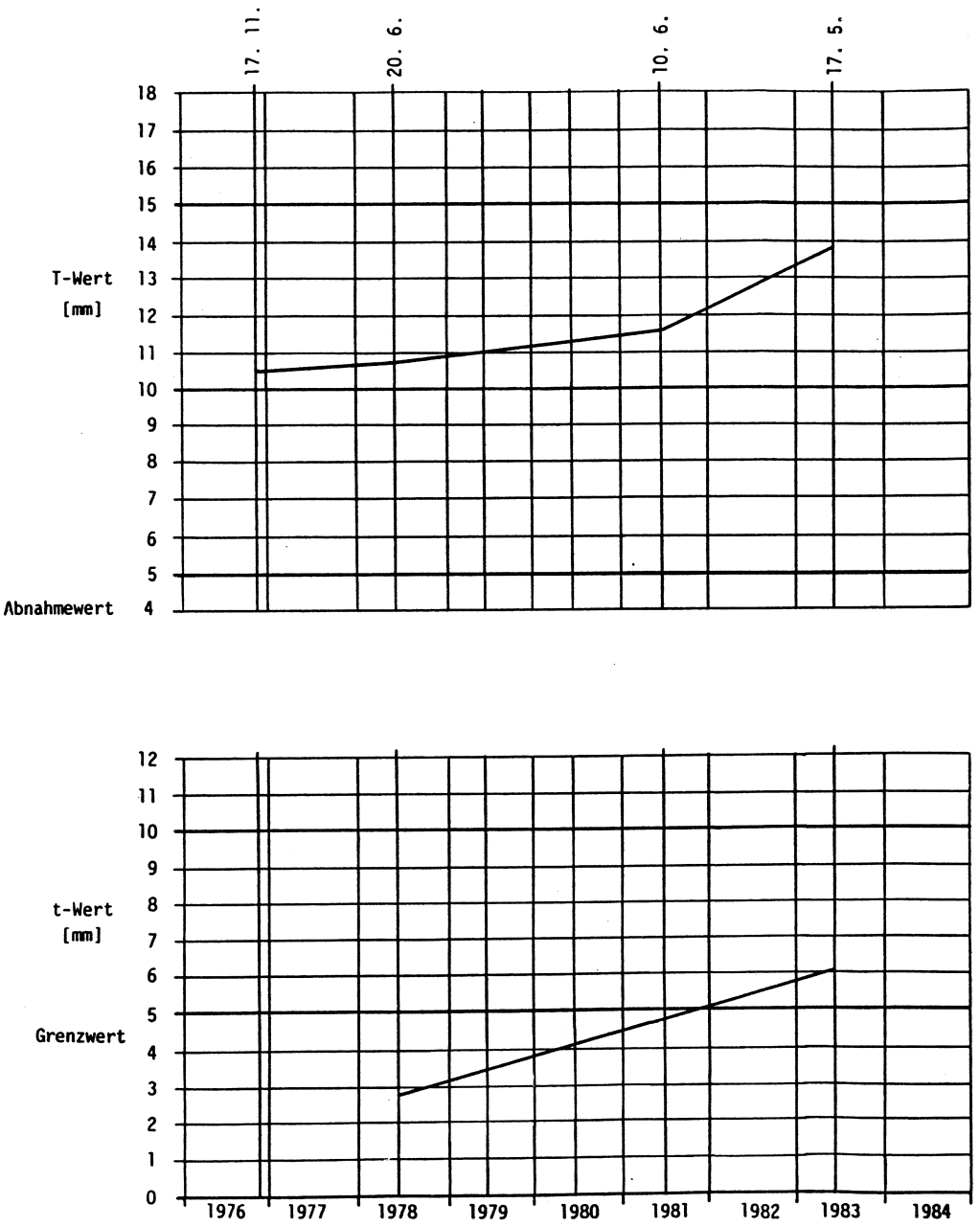

BEOBACHTUNGSSTRECKE
HLS Kloten - Bülach

Graphische Darstellung der Entwicklung der Radspurrinnentiefe der Fahrstreifen Richtung Kloten, ermittelt durch T-Werte und t-Werte

LEGENDE: Teilmessstrecken

4 A
4 B
5 A
5 B

ISETH
Jan. 1984




BEOBACHTUNGSSTRECKE
HLS Kloten - Bülach

Graphische Darstellung der Entwicklung der Radspurrinnentiefe der Fahrstreifen Richtung Kloten, ermittelt durch T-Werte und t-Werte

Mittel aller Teilmessstrecken ————————

ISETH / Jan. 1984

## VII. Ebenheitsmessungen im Längsprofil

(mit Winkelmessgerät)

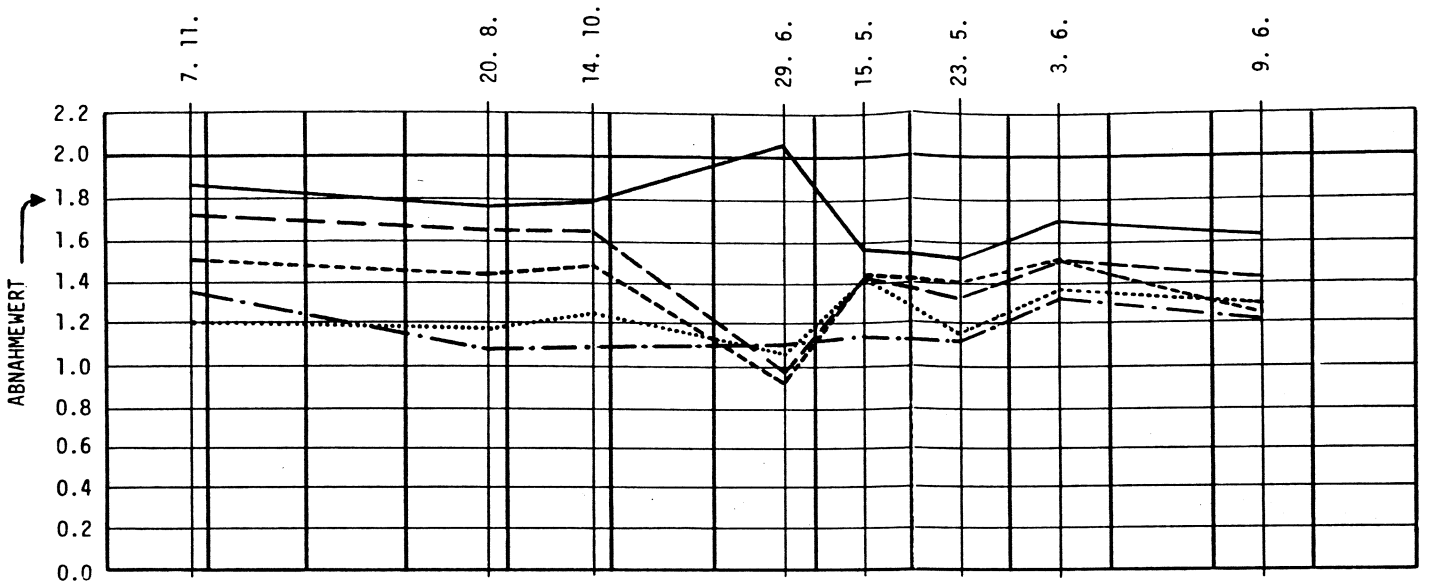
$s_W$-Werte [%]

| Teilmess-strecke | 29. 6. 78 | | 15. 5. 79 | | 23. 5. 80 | | 3. 6. 81 | | 9. 6. 83 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fahr-streifen | Ueberhol-streifen | Fahr-streifen | Ueberhol-streifen | Fahr-streifen | Ueberhol-streifen | Fahr-streifen | Ueberhol-streifen | Fahr-streifen | Ueberhol-streifen |
| 5 | 1.20 | 0.93 | 1.59 | 1.44 | 1.81 | 1.40 | 1.43 | 1.51 | 1.45 | 1.26 |
| 4 | 1.09 | 1.10 | 1.58 | 1.13 | 1.32 | 1.11 | 1.24 | 1.33 | 1.44 | 1.21 |
| 3 | 1.23 | 1.09 | 1.56 | 1.41 | 1.33 | 1.15 | 1.08 | 1.38 | 1.50 | 1.29 |
| 2 | 1.33 | 0.98 | 1.49 | 1.41 | 1.27 | 1.32 | 1.18 | 1.51 | 1.45 | 1.42 |
| 1 | 1.52 | 2.05 | 1.68 | 1.56 | 1.58 | 1.53 | 1.57 | 1.69 | 2.01 | 1.62 |

BEOBACHTUNGSSTRECKEN HLS

KLOTEN - BÜLACH

Graphische Darstellung der Entwicklung der Unebenheit in der Längsrichtung, mit Winkelmessgerät ermittelt




IV
Ueberholstreifen
Ri. Kloten

LEGENDE: Teilmessstrecken

1 ——————

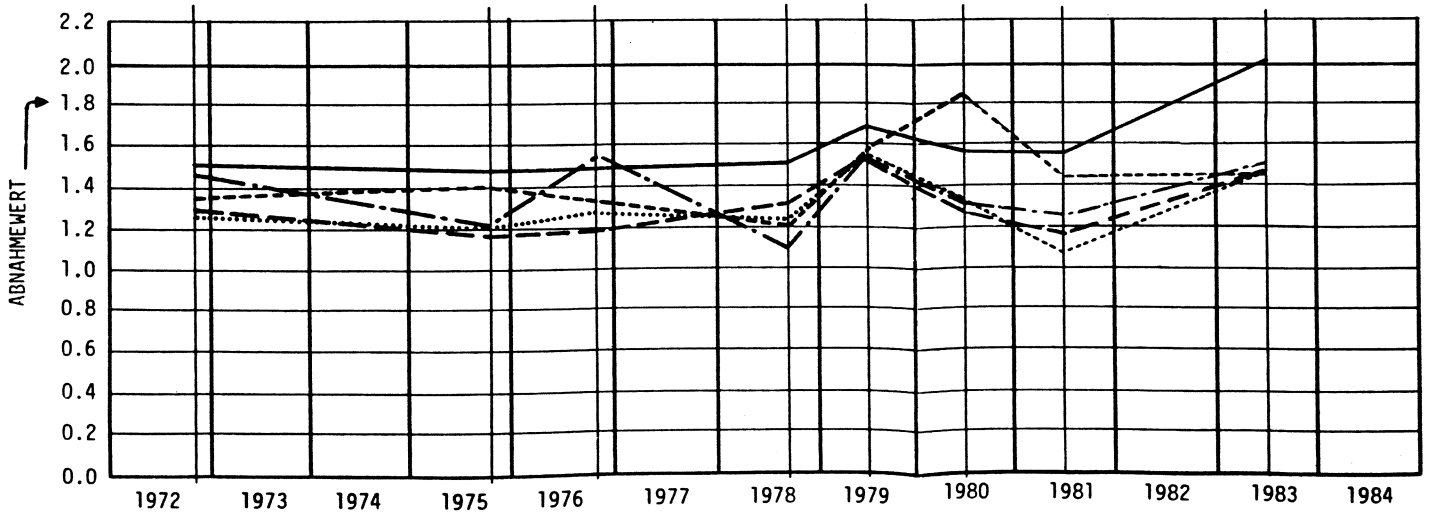
2 — — — — —

3 .....

4 —·—·—·

5 — — — — —

$s_W$
[%]




II
Fahrstreifen
Ri. Kloten

ISETH
Jan. 1984

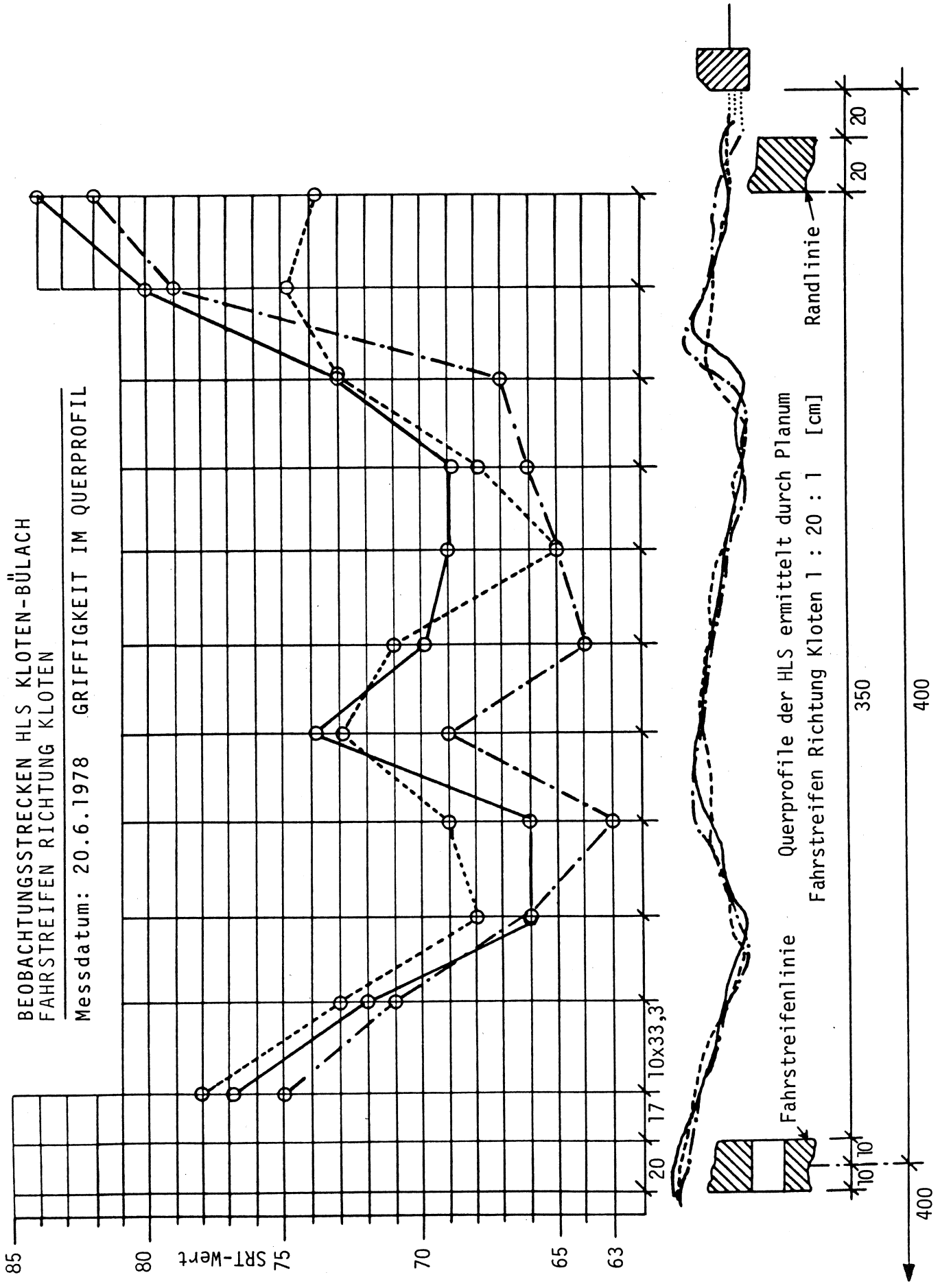
## VIII. Griffigkeitsmessungen

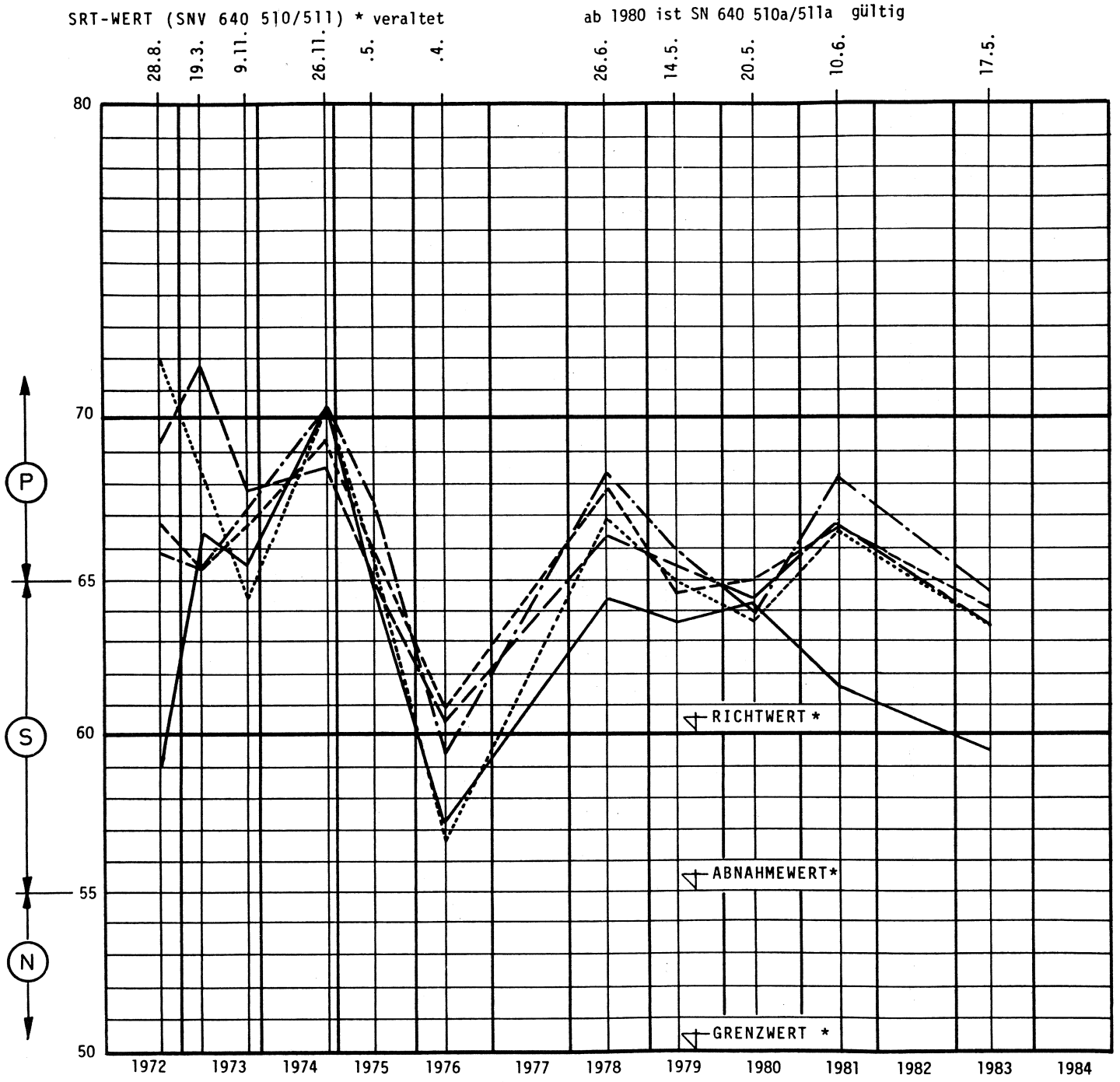
### 1. Mit dem SRT-Gerät (Pendel)

SRT-Werte auf dem Fahrstreifen Richtung Kloten
der Beobachtungsstrecke HLS Kloten - Bülach

| Strecke | Profil Nr. | 20.6.78 | 14.5.79 | 20.5.80 | 10.6.81 | 17.5.83 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.1 | 67.0 | 62.5 | 64.3 | 62.3 | 58.9 |
| | 1.2 | 65.0 | 63.5 | 66.5 | 61.2 | 61.7 |
| | 1.3 | 62.3 | 64.5 | 64.0 | 62.2 | 58.0 |
| | 1.4 | 62.8 | 63.8 | 62.0 | 60.5 | 59.5 |
| | Mittel | 64.3 | 63.6 | 64.2 | 61.6 | 59.5 |
| 2 | 2.1 | 65.8 | 65.4 | 63.8 | 66.9 | 63.4 |
| | 2.2 | 66.3 | 65.5 | 63.8 | 67.4 | 64.1 |
| | 2.3 | 66.3 | 64.6 | 65.3 | 65.8 | 63.1 |
| | Mittel | 66.3 | 65.2 | 64.3 | 66.8 | 63.5 |
| 3 | 3.1 | 65.9 | 66.0 | 69.5 | 65.5 | 65.9 |
| | 3.2 | 67.7 | 64.2 | 64.3 | 67.5 | 62.8 |
| | 3.3 | 67.3 | 64.6 | 63.3 | 66.4 | 62.1 |
| | Mittel | 67.0 | 64.9 | 63.7 | 66.5 | 63.6 |
| 4 | 4.1 | 66.8 | 65.2 | 64.3 | 68.3 | 63.9 |
| | 4.2 | 67.8 | 65.8 | 63.5 | 67.1 | 63.9 |
| | 4.3 | 70.3 | 66.7 | 63.9 | 69.1 | 66.3 |
| | Mittel | 68.3 | 65.9 | 63.9 | 68.2 | 64.7 |
| 5 | 5.1 | 68.3 | 66.1 | 65.0 | 67.1 | 63.6 |
| | 5.2 | 68.3 | 64.5 | 64.3 | 67.0 | 62.8 |
| | 5.3 | 67.6 | 64.2 | 66.9 | 67.0 | 65.5 |
| | 5.4 | 67.5 | 63.5 | 63.8 | 65.7 | 64.5 |
| | Mittel | 67.9 | 64.6 | 65.0 | 66.7 | 64.1 |

| Stationierung [km] | Profil Nr. | Temperaturen Schleifgummi °C | Temperaturen Strasse °C |
|---|---|---|---|
| 3,513 | 2.3 | 21 | 29 |
| 4,175 | 4.1 | 21 | 34 |
| 5,175 | 5.1 | 23 | 37 |






BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS
KLOTEN - BÜLACH

Graphische Darstellung der Entwicklung der Griffigkeit der Fahrstreifen mit dem SRT-Pendel ermittelt

LEGENDE: Teilmessstrecken

1 ——————
2 — — — —
3 .....
4 —·—·—·—
5 — — — — —

ISETH, Jan. 84

## 2. Griffigkeitsmessungen mit dem Skiddometer

Reibungskoeffizient μ

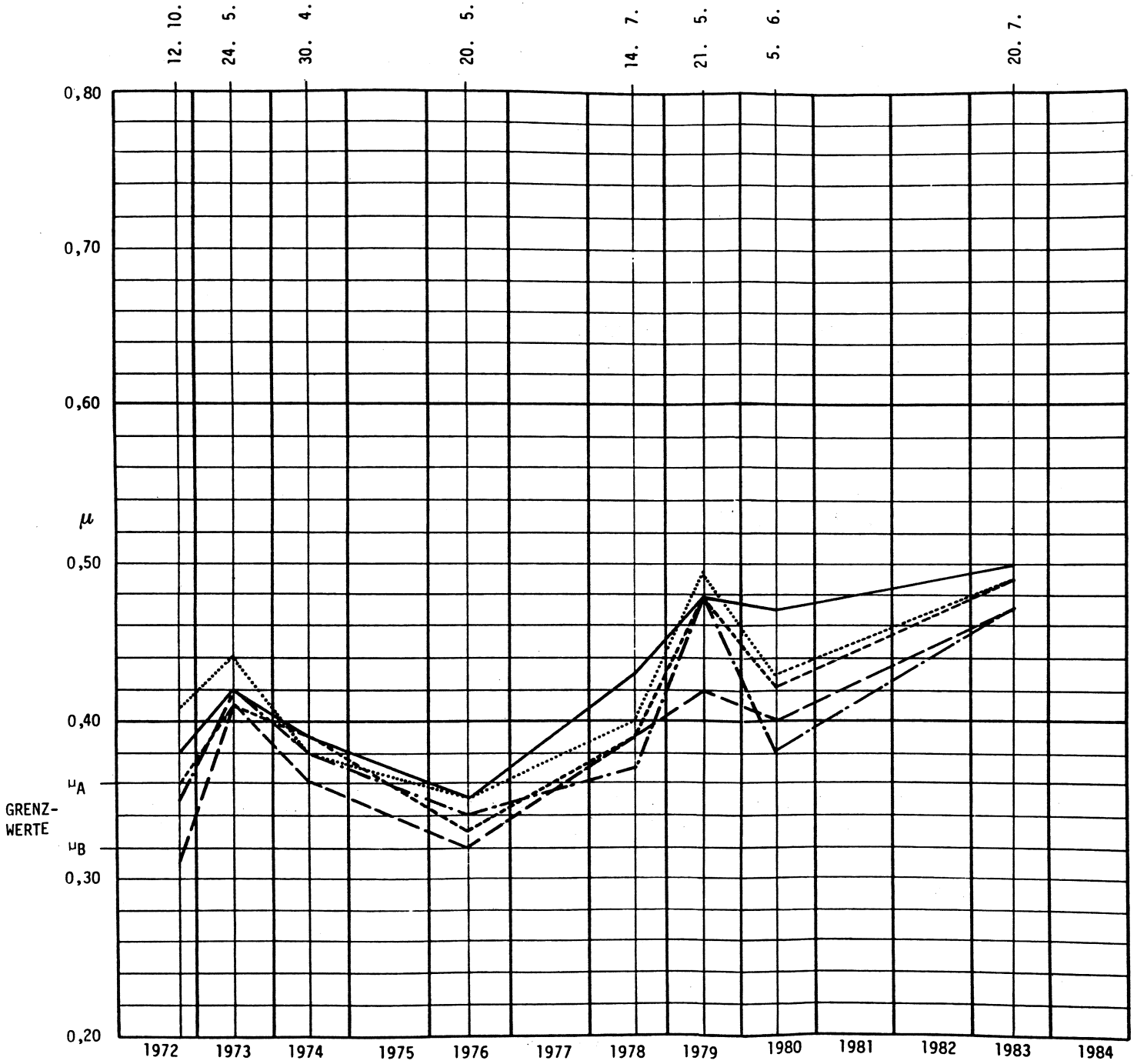
gemessen mit ASTM-Reifen und umgerechnet auf AIPCR-Werte

| MESSART | STRECKE | 12.10.1972 | | 24.5.1973 | | 30.4.1974 | | 20.5.1976 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Fahrstreifen | Ueberholstr. | Fahrstreifen | Ueberholstr. | Fahrstreifen | Ueberholstr. | Fahrstreifen | Ueberholstr. |
| Block 60 km/h | 1 | 0,45 | 0,50 | 0,49 | 0,59 | 0,47 | 0,59 | 0,43 | 0,57 |
| | 2 | 0,37 | 0,46 | 0,48 | 0,51 | 0,41 | 0,55 | 0,36 | 0,57 |
| | 3 | 0,46 | 0,47 | 0,49 | 0,58 | 0,46 | 0,62 | 0,41 | 0,58 |
| | 4 | 0,42 | 0,47 | 0,48 | 0,58 | 0,44 | 0,58 | 0,36 | 0,56 |
| | 5 | 0,40 | 0,48 | 0,47 | 0,56 | 0,42 | 0,57 | 0,42 | 0,57 |
| Block 80 km/h | 1 | 0,38 | 0,37 | 0,42 | 0,52 | 0,39 | 0,49 | 0,35 | 0,49 |
| | 2 | 0,31 | 0,34 | 0,41 | 0,43 | 0,36 | 0,47 | 0,32 | 0,50 |
| | 3 | 0,41 | 0,42 | 0,44 | 0,52 | 0,38 | 0,52 | 0,35 | 0,53 |
| | 4 | 0,35 | 0,37 | 0,42 | 0,49 | 0,38 | 0,48 | 0,34 | 0,49 |
| | 5 | 0,36 | 0,37 | 0,41 | 0,48 | 0,39 | 0,49 | 0,33 | 0,48 |
| Block 100 km/h | 1 | 0,32 | 0,32 | 0,35 | 0,42 | 0,35 | 0,41 | 0,32 | 0,45 |
| | 2 | 0,31 | 0,32 | 0,32 | 0,35 | 0,30 | 0,40 | 0,26 | 0,40 |
| | 3 | 0,35 | 0,39 | 0,38 | 0,42 | 0,34 | 0,50 | 0,31 | 0,48 |
| | 4 | 0,34 | 0,34 | 0,37 | 0,42 | 0,29 | 0,42 | 0,28 | 0,41 |
| | 5 | 0,32 | 0,36 | 0,35 | 0,42 | 0,31 | 0,44 | 0,30 | - |

GRIFFIGKEITSMESSUNGEN MIT DEM SKIDDOMETER
AUF DER BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS KLOTEN-BÜLACH

TABELLE DER μ-WERTE, gemessen mit AIPCR-Reifen

| Messart | Strecke Nr. | 14. 7. 1978 Fahrstreifen | 14. 7. 1978 Ueberholstreifen | 21. 5. 1979 Fahrstreifen | 21. 5. 1979 Ueberholstreifen | 5. 6. 1980 Fahrstreifen | 5. 6. 1980 Ueberholstreifen | 20. 7. 83 Fahrstreifen | 20. 7. 83 Ueberholstreifen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Block 60 km/h | 1 | 0,49 | 0,63 | 0,56 | 0,68 | | | 0.58 | 0.67 |
| | 2 | 0,48 | 0,61 | 0,52 | 0,62 | | | 0.54 | 0.68 |
| | 3 | 0,50 | 0,64 | 0,55 | 0,63 | | | 0.57 | - |
| | 4 | 0,46 | 0,63 | 0,55 | 0,63 | | | 0.58 | - |
| | 5 | 0,45 | 0,63 | 0,57 | 0,62 | | | 0.57 | 0.67 |
| Block 80 km/h | 1 | 0,43 | 0,57 | 0,48 | 0,62 | 0,47 | 0,63 | 0.50 | 0.60 |
| | 2 | 0,39 | 0,53 | 0,42 | 0,57 | 0,40 | 0,59 | 0.47 | 0.58 |
| | 3 | 0,40 | 0,57 | 0,49 | 0,61 | 0,43 | 0,63 | 0.49 | 0.59 |
| | 4 | 0,37 | 0,55 | 0,48 | 0,59 | 0,38 | 0,61 | 0.47 | 0.59 |
| | 5 | 0,39 | 0,53 | 0,48 | 0,60 | 0,42 | 0,61 | 0.49 | 0.58 |
| Block 100 km/h | 1 | 0,38 | 0,50 | 0,46 | 0,54 | | | | |
| | 2 | 0,30 | 0,46 | 0,36 | 0,52 | | | | |
| | 3 | 0,35 | 0,49 | 0,38 | 0,54 | | | | |
| | 4 | 0,35 | 0,48 | 0,38 | 0,53 | | | | |
| | 5 | 0,32 | 0,47 | 0,41 | 0,54 | | | | |
| Schlupf 60 km/h | 1 | 0,68 | 0,84 | 0,80 | 0,90 | | | 0.82 | 0.87 |
| | 2 | 0,61 | 0,81 | 0,74 | 0,86 | | | 0.83 | 0.88 |
| | 3 | 0,62 | 0,83 | 0,72 | 0,89 | | | 0.83 | 0.89 |
| | 4 | 0,64 | 0,83 | 0,74 | 0,88 | | | 0.94 | 0.90 |
| | 5 | 0,63 | 0,82 | 0,79 | 0,89 | | | 0.76 | 0.89 |
| Schlupf 80 km/h | 1 | 0,64 | 0,77 | 0,74 | 0,90 | | | 0.82 | 0.84 |
| | 2 | 0,47 | 0,78 | 0,70 | 0,86 | | | 0.77 | 0.85 |
| | 3 | 0,59 | 0,80 | 0,70 | 0,88 | | | 0.83 | 0.84 |
| | 4 | 0,60 | 0,79 | 0,68 | 0,84 | | | 0.79 | 0.85 |
| | 5 | 0,59 | 0,80 | 0,66 | 0,86 | | | 0.79 | 0.83 |
| Schlupf 100 km/h | 1 | 0,60 | 0,72 | 0,65 | 0,83 | | | | |
| | 2 | 0,54 | 0,71 | 0,57 | 0,78 | | | | |
| | 3 | 0,57 | 0,73 | 0,63 | 0,81 | | | | |
| | 4 | 0,55 | 0,73 | 0,67 | 0,79 | | | | |
| | 5 | 0,57 | 0,72 | 0,67 | 0,78 | | | | |




**BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS**
**KLOTEN - BÜLACH**

Fahrstreifen Richtung Kloten

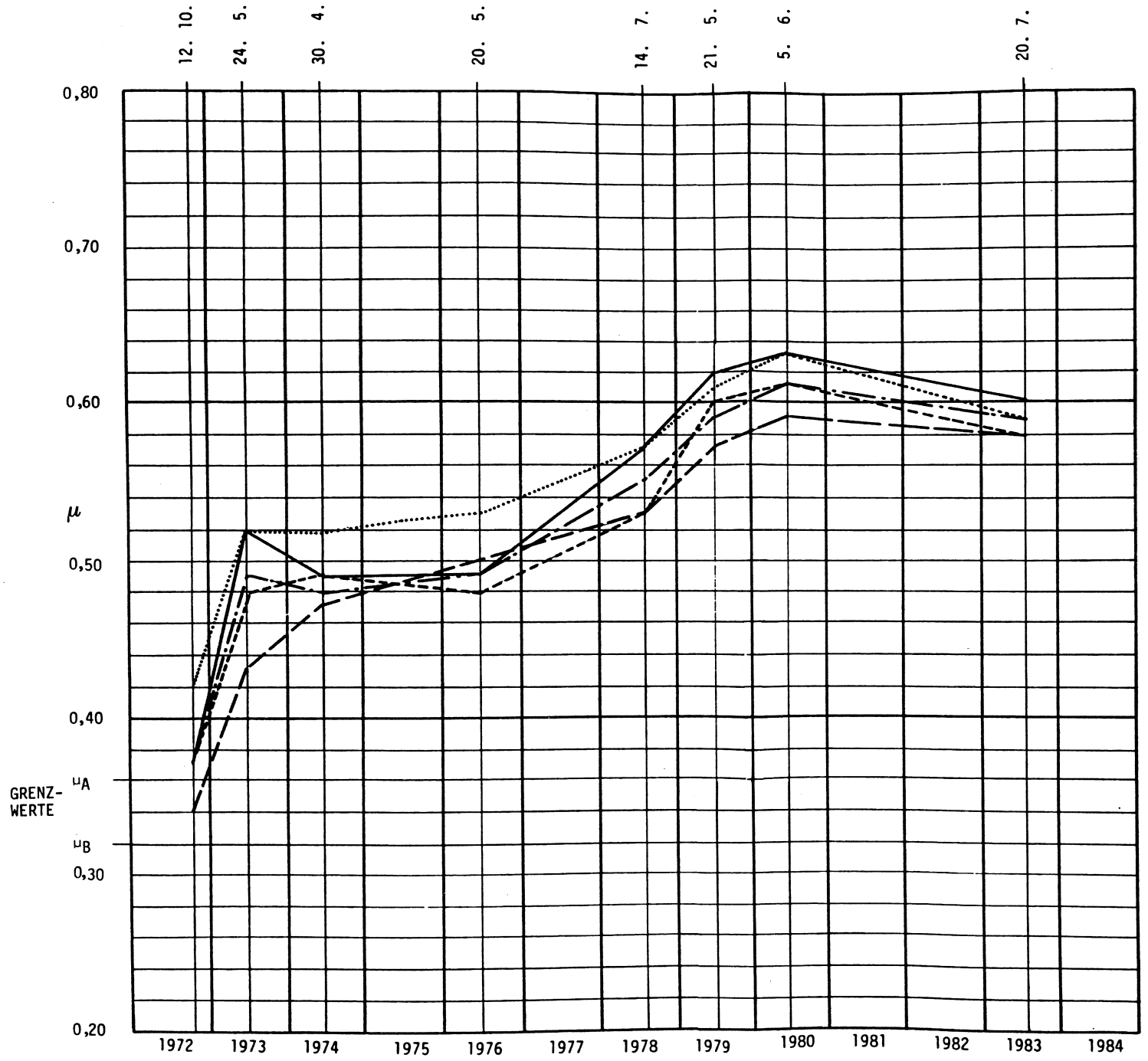
Graphische Darstellung der
Entwicklung der Griffigkeit
mit dem Skiddometer ermittelt

LEGENDE: Teilmessstrecken

1 ——————
2 — — —
3 .....
4 — . — . —
5 - - - - - -

Messgeschwindigkeit 80 km/h
mit blockiertem Rad

I S E T H
Jan. 84




**BEOBACHTUNGSSTRECKE HLS**
**KLOTEN - BÜLACH**

Ueberholstreifen Richtung Kloten

**Graphische Darstellung der Entwicklung der Griffigkeit mit dem Skiddometer ermittelt**

LEGENDE: Teilmessstrecken

1 ——————
2 —— — ——
3 .....
4 —— · —— · ——
5 – – – – – –

**Messgeschwindigkeit 80 km/h mit blockiertem Rad**



I S E T H
Jan. 84

# G. BEOBACHTUNGEN (EMPA)

## IX. Augenscheine

### 1. Beurteilung verschiedener Kriterien

Beurteilungsskalen

Diese Skalen ermöglichen die Beurteilung des Strassenzustandes, in dem sich die Beobachtungsstrecken durch die Verkehrsbeanspruchung befinden.

- Spurenbildung

  Die Spuren werden durch Verformung und Verschleiss gebildet. Wieviel von der Spurenbildung jedoch auf den Verschleiss und wieviel auf die Verformung zurückzuführen ist, ist nicht möglich zu beurteilen.

| | | |
|---|---|---|
| * | Normal, keine eindeutig sichtbare Spurbildung | 0 |
| | Leichte Spurbildung | 1 |
| | Beträchtliche Spurbildung | 2 |
| | Schwerwiegende Spurbildung | 3 |

- Kornausbruch

  Zu beurteilen ist hier die Menge der durch Verkehrs- und Witterungseinflüsse aus der Fahrbahnoberfläche verlorengegangenen Splittkörner.

| | | |
|---|---|---|
| * | Kein Kornausbruch | 0 |
| | Vereinzelter Kornausbruch | 1 |
| | Leichter Kornausbruch | 2 |
| | Mittlerer Kornausbruch | 3 |
| | Starker Kornausbruch | 4 |
| | Sehr starker Kornausbruch | 5 |

---

* = optimale(r) Eigenschaft/Zustand

- Kornzertrümmerung

Infolge Verkehrseinwirkung können einzelne Splittkörner zunächst im Mörtelbett zerschlagen werden und zu einem späteren Zeitpunkt herausbrechen. Zu beurteilen ist der Umfang dieser Kornzertrümmerung.

| | | |
|---|---|---|
| * | Vereinzelte Kornzertrümmerung | 0 |
| | Leichte Kornzertrümmerung | 1 |
| | Mittelstarke Kornzertrümmerung | 2 |
| | Starke Kornzertrümmerung | 3 |
| | Sehr starke Kornzertrümmerung | 4 |

- Oberflächenbeschaffenheit

Bei der Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit sollen Verschleiss-, Verformungs- und Spurbildungserscheinungen nicht erfasst werden.

| | | |
|---|---|---|
| | Sehr rauhe Oberfläche | 1 |
| | Rauhe Oberfläche | 2 |
| | Angerauhte Oberfläche | 3 |
| * | Normal geschlossene Oberfläche, aus der einzelne Gesteinsspitzen hervorschauen, ohne glatte Stellen | 4 |
| | Leicht glatte Oberfläche | 5 |
| | Glatte Oberfläche | 6 |
| | Sehr glatte Oberfläche | 7 |

---

* = optimale(r) Eigenschaft/Zustand

- Allgemeinzustand

Werden alle Faktoren des augenblicklichen Zustandes der Fahrbahnoberfläche berücksichtigt und zu einem umfassenden Urteil zusammengefügt, unter Berücksichtigung aller Vor- und Nachteile, so ergibt sich eine Note für den Allgemeinzustand des Belages. Sie ergibt sich nicht aus der mathematischen Addition der Beurteilungswerte aus den übrigen Punkten, da die Beurteilung des Allgemeinzustandes auch Dinge in Betracht zieht, die nicht gesondert aufgeführt wurden.

| | |
|---|---|
| * Sehr gut, keine wahrnehmbaren Fehler | 1 |
| Gut, kein wesentlicher Fehler | 2 |
| Noch annehmbar | 3 |
| Beträchtliche Fehler, aber noch verkehrsbereit | 4 |
| Unzureichend, erfordert baldige Ausbesserung | 5 |
| Schlecht, erfordert sofortige Ausbesserung | 6 |

Weitere Beurteilungspunkte

Da die Bohrkern- und Ausschnittuntersuchungen für die Bindemittel-, Mörtel-, Splittmenge und Splittverteilung gleichmässige Ergebnisse geliefert haben und die Augenscheine keine wesentlichen Unterschiede und Veränderungen zeigten, wurde auf eine spezielle Beurteilung (Beurteilungsskala) verzichtet. Die Beurteilung dieser Punkte ist als normal und gut zu bezeichnen.

---

* = optimale(r) Eigenschaft/Zustand

Beurteilung: Spurenbildung im Normalfahrstreifen

Angaben in % der Radspurlängen (z.B. 100% Spurenbildung, Bewertung 1: linke und rechte Radspur, leichte Spurbildung im Normalfahrstreifen)

| Radspur links/rechts | | Juni 1978 li | re | Mai 1979 li | re | Mai 1980 li | re | Juni 1981 li | re | Mai 1983 li | re |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 1 | | | | | | | | | | | |
| Spurenbildung | 0 | 35 | | 15 | | - | | - | | - | |
| | 1 | 65 | | 85 | | 100 | | 100 | | 100 | |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 2 | | | | | | | | | | | |
| Spurenbildung | 0 | - | | - | | - | | - | | - | |
| | 1 | 45 | | 35 | | 25 | | 10 | | - | |
| | 2 | 55 | | 65 | | 75 | | 80 | | 60 | |
| | 3 | - | | - | | - | | 10 | | 40 | |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 3A/4B | | | | | | | | | | | |
| Spurenbildung | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 1 | 25 | 15 | 20 | 15 | 15 | 10 | 10 | 10 | 10 | - |
| | 2 | 25 | 15 | 30 | 5 | 35 | 5 | 35 | 5 | 15 | 15 |
| | 3 | - | 20 | - | 30 | - | 35 | 5 | 35 | 25 | 35 |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 4A/4B | | | | | | | | | | | |
| Spurenbildung | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 1 | 30 | - | 25 | - | 15 | - | 10 | - | - | - |
| | 2 | 20 | 35 | 25 | 25 | 25 | 20 | 30 | 15 | 30 | 15 |
| | 3 | - | 15 | - | 25 | - | 30 | 10 | 35 | 20 | 35 |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 5A/5B | | | | | | | | | | | |
| Spurenbildung | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 1 | 35 | 15 | 30 | 10 | 20 | 10 | 20 | 5 | 15 | - |
| | 2 | 15 | 35 | 20 | 30 | 30 | 20 | 30 | 20 | 25 | 25 |
| | 3 | - | - | - | 10 | - | 20 | - | 25 | 10 | 25 |

Beurteilung: Kornausbruch im Normalfahrstreifen

Angaben in % der Fläche

| | | Juni 1978 | Mai 1979 | Mai 1980 | Juni 1981 | Mai 1983 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 1 | | | | | | |
| Kornausbruch | 1 | 100 | 80 | 40 | 25 | 10 |
| | 2 | - | 20 | 60 | 75 | 90 |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 2 | | | | | | |
| Kornausbruch | 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 2 | - | - | - | - | - |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 3 | | | | | | |
| Kornausbruch | 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 2 | - | - | - | - | - |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 4 | | | | | | |
| Kornausbruch | 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 2 | - | - | - | - | - |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 5 | | | | | | |
| Kornausbruch | 1 | 100 | 100 | 90 | 90 | 90 |
| | 2 | - | - | 10 | 10 | 10 |

Beurteilung: Kornzertrümmerung im Normalfahrstreifen

Angaben in % der Fläche

| | | Juni 1978 | Mai 1979 | Mai 1980 | Juni 1981 | Mai 1983 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 1 | | | | | | |
| Kornzertrümmerung | 0 | - | - | - | - | - |
| | 1 | 100 | 100 | 100 | 80 | 60 |
| | 2 | - | - | - | 20 | 40 |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 2 | | | | | | |
| Kornzertrümmerung | 0 | - | - | - | - | - |
| | 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 2 | - | - | - | - | - |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 3 | | | | | | |
| Kornzertrümmerung | 0 | - | - | - | - | - |
| | 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 2 | - | - | - | - | - |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 4 | | | | | | |
| Kornzertrümmerung | 0 | - | - | - | - | - |
| | 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 2 | - | - | - | - | - |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 5 | | | | | | |
| Kornzertrümmerung | 0 | - | - | - | - | - |
| | 1 | 15 | 15 | 15 | 15 | 10 |
| | 2 | 85 | 85 | 85 | 85 | 90 |

Beurteilung: Oberflächenbeschaffenheit im Normalfahrstreifen

Angaben in % der Fläche

| | | Juni 1978 | Mai 1979 | Mai 1980 | Juni 1981 | Mai 1983 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 1 | | | | | | |
| Oberflächenbeschaffenheit | 3 | - | - | - | - | - |
| | 4 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 5 | - | - | - | - | - |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 2 | | | | | | |
| Oberflächenbeschaffenheit | 3 | - | - | - | - | - |
| | 4 | 100 | 80 | 55 | 45 | 30 |
| | 5 | - | 20 | 45 | 55 | 70 |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 3 | | | | | | |
| Oberflächenbeschaffenheit | 3 | - | - | - | - | - |
| | 4 | 100 | 80 | 60 | 60 | 50 |
| | 5 | - | 20 | 40 | 40 | 50 |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 4 | | | | | | |
| Oberflächenbeschaffenheit | 3 | - | - | - | - | - |
| | 4 | 100 | 70 | 45 | 45 | 40 |
| | 5 | - | 30 | 55 | 55 | 60 |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 5 | | | | | | |
| Oberflächenbeschaffenheit | 3 | - | - | - | - | - |
| | 4 | 100 | 100 | 100 | 90 | 80 |
| | 5 | - | - | - | 10 | 20 |

Beurteilung: Allgemeinzustand im Normalfahrstreifen

Angaben in % der Fläche

| | | Juni 1978 | Mai 1979 | Mai 1980 | Juni 1981 | Mai 1983 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 1 | | | | | | |
| Allgemeinzustand | 1 | - | - | - | - | - |
| | 2 | 50 | 35 | 25 | 10 | - |
| | 3 | 50 | 30 | 10 | 10 | 10 |
| | 4 | - | 35 | 65 | 80 | 70 |
| | 5 | - | - | - | - | 20 |
| | 6 | - | - | - | - | - |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 2 | | | | | | |
| Allgemeinzustand | 1 | - | - | - | - | - |
| | 2 | 55 | 30 | 25 | 10 | - |
| | 3 | 45 | 55 | 50 | 45 | 20 |
| | 4 | - | 15 | 25 | 35 | 35 |
| | 5 | - | - | - | 10 | 25 |
| | 6 | - | - | - | - | 20 |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 3 | | | | | | |
| Allgemeinzustand | 1 | - | - | - | - | - |
| | 2 | 40 | 35 | 30 | 25 | - |
| | 3 | 50 | 40 | 30 | 20 | 15 |
| | 4 | 10 | 20 | 30 | 35 | 25 |
| | 5 | - | 5 | 10 | 20 | 40 |
| | 6 | - | - | - | - | 20 |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 4 | | | | | | |
| Allgemeinzustand | 1 | - | - | - | - | - |
| | 2 | 40 | 20 | 5 | - | - |
| | 3 | 40 | 30 | 20 | 25 | 5 |
| | 4 | 20 | 30 | 40 | 35 | 35 |
| | 5 | - | 20 | 35 | 40 | 30 |
| | 6 | - | - | - | - | 30 |
| BEOBACHTUNGS-STRECKE 5 | | | | | | |
| Allgemeinzustand | 1 | 10 | 5 | - | - | - |
| | 2 | 30 | 25 | 30 | 25 | 20 |
| | 3 | 40 | 30 | 20 | 15 | 10 |
| | 4 | 20 | 30 | 30 | 30 | 20 |
| | 5 | - | 10 | 20 | 30 | 20 |
| | 6 | - | - | - | - | 30 |

## 2. Besonderes Vorkommnis, Risse in der Beobachtungsstrecke 1

Als besonderes Vorkommnis, das mit den Beurteilungsskalen nicht erfasst werden konnte, wurde auf der mit geblasenem Bitumen B 80/100 S ausgeführten Beobachtungsstrecke 1 eine starke Rissbildung beobachtet.

Sowohl beim im Sommer 1981 als auch beim letzten vor der Sanierung durchgeführten Augenschein im Frühling 1983 war eine weitere Zunahme der Rissbildung festzustellen. So wurde verschiedentlich ein Auftreten von Rissen in bisher nicht gerissenen Bereichen, oft eine grössere Anzahl von Rissen in wenig gerissenen Bereichen und häufig auch Verbreiterungen von bestehenden Rissen beobachtet. Im weiteren war auch eine deutliche Zunahme von Kornausbrüchen entlang von Rissen aufgetreten. Im Frühling 1983 waren erstmals auch zahlreiche lose Belagsstücke in Rissverzweigungen und Knotenpunkten von Netzrissen festzustellen. Diese losen Belagsstücke, die im Maximum etwa ein Quadratzentimeter grosse Oberflächen aufweisen, waren jedoch nur sehr vereinzelt bereits ausgebrochen.

In der mit geblasenem Bitumen B 80/100 S ausgeführten Beobachtungsstrecke 1 wurden die ersten Risse im 3. Winterhalbjahr, Ende November 1974, festgestellt. Seither war die Rissbildung stetig und stark zunehmend. Erste Belagsausbrüche waren im Frühling 1983 zu beobachten. "Heilungen" von Rissen durch Einwirkung des Verkehrs im Sommer konnten keine festgestellt werden.



Abb. 11 (Foto EMPA-Nr. 85'034/3)

Typischer Längsriss, Aussehen 17. Mai 1983.

Vgl. Aussehen 1979/1980, Abb. 16 im Schlussbericht des Forschungsauftrages (FA) 29/77.

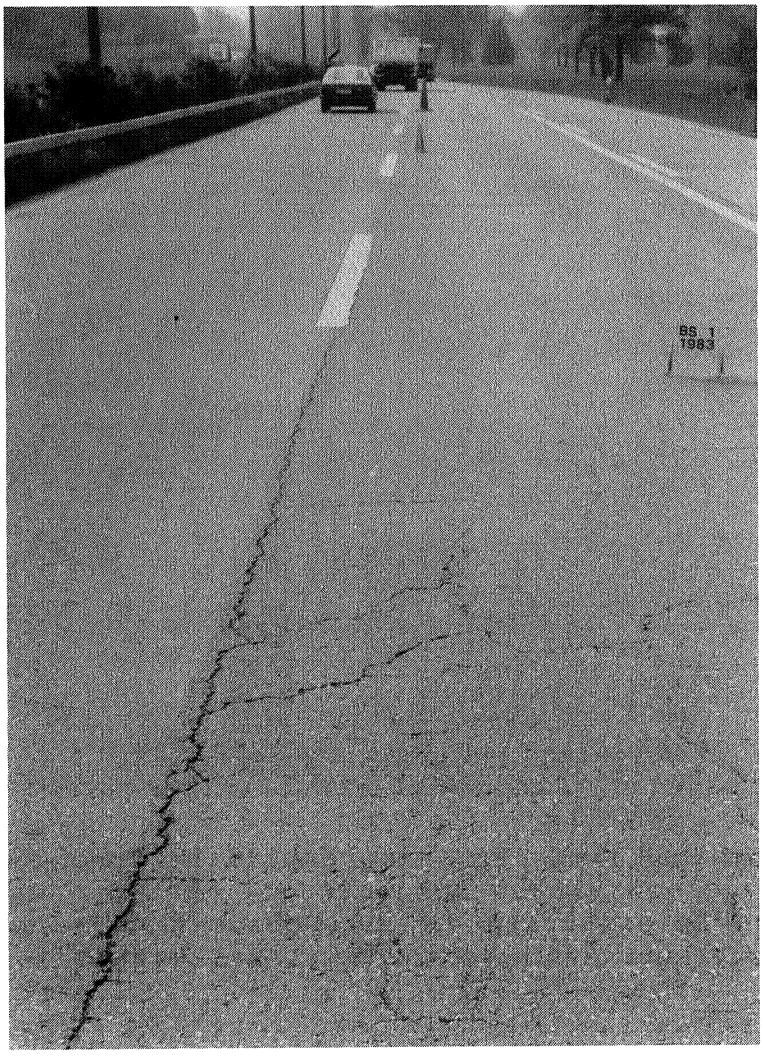



Abb. 12 (Foto EMPA-Nr. 85'034/11)

Gerissene Arbeitsnaht zwischen Normalfahr- und Ueberholstreifen, Aussehen 17. Mai 1983.

Vgl. Aussehen 1979/1980, Abb. 17 im Schlussbericht des Forschungsauftrages (FA) 29/77.

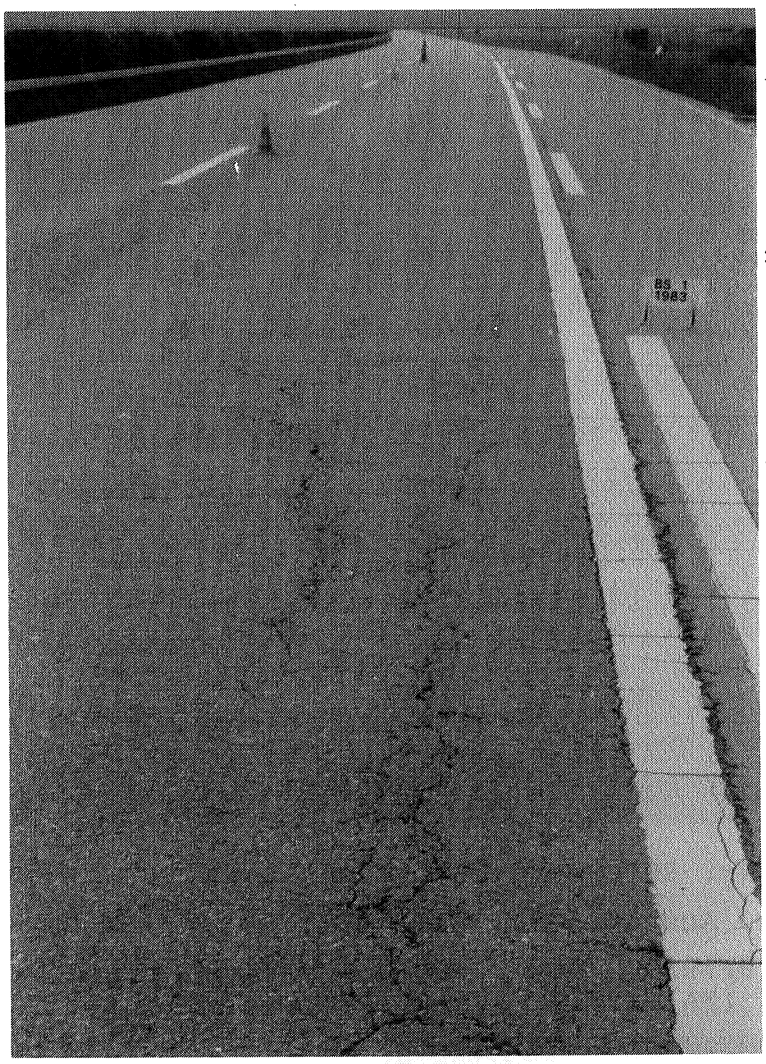


Abb. 13 (Foto EMPA-Nr. 85'034/6)

Gerissener Randbereich des Normalfahrstreifens, Aussehen 17. Mai 1983.

Vgl. Aussehen 1979/1980, Abb. 18 im Schlussbericht des Forschungsauftrages (FA) 29/77.

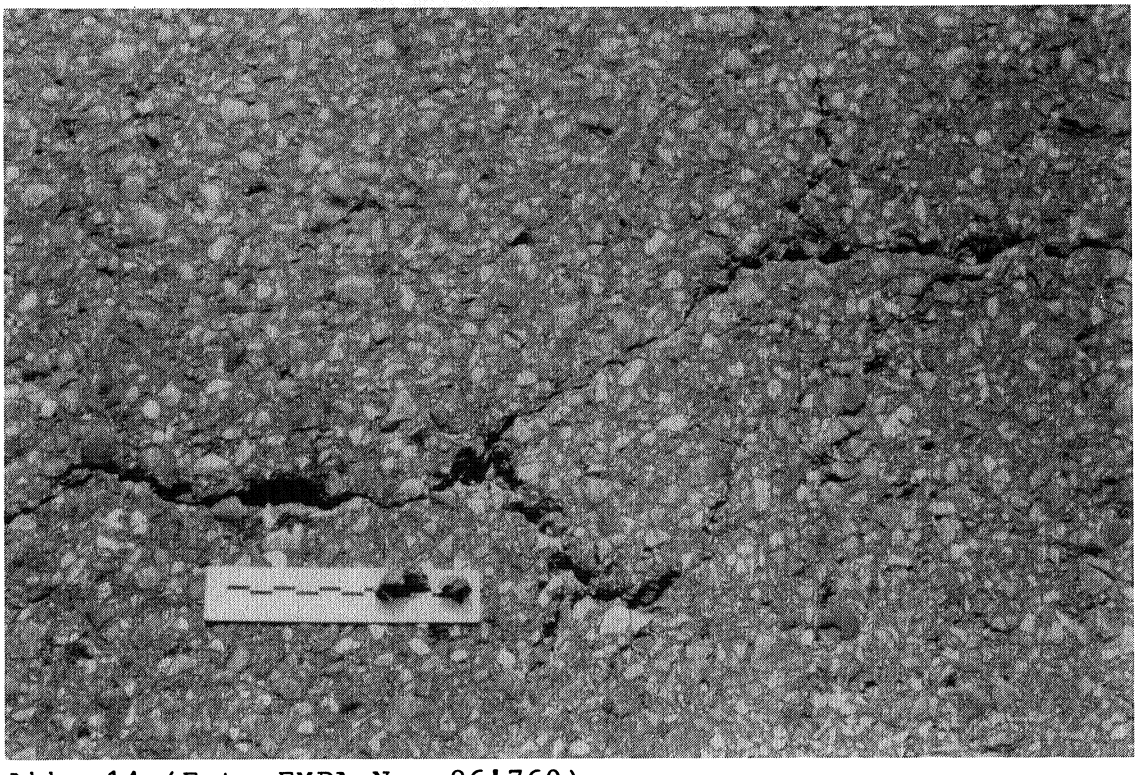


Abb. 14 (Foto EMPA-Nr. 86'760)

Gegenüber 1981 war im Frühling 1983 eine deutliche Zunahme an Kornausbrüchen entlang von Rissen aufgetreten. Erstmals waren auch zahlreiche lose Belagsstücke in Rissverzweigungen festzustellen. Siehe von Hand herausgebrochene Belagsstücke auf dem Massstab.

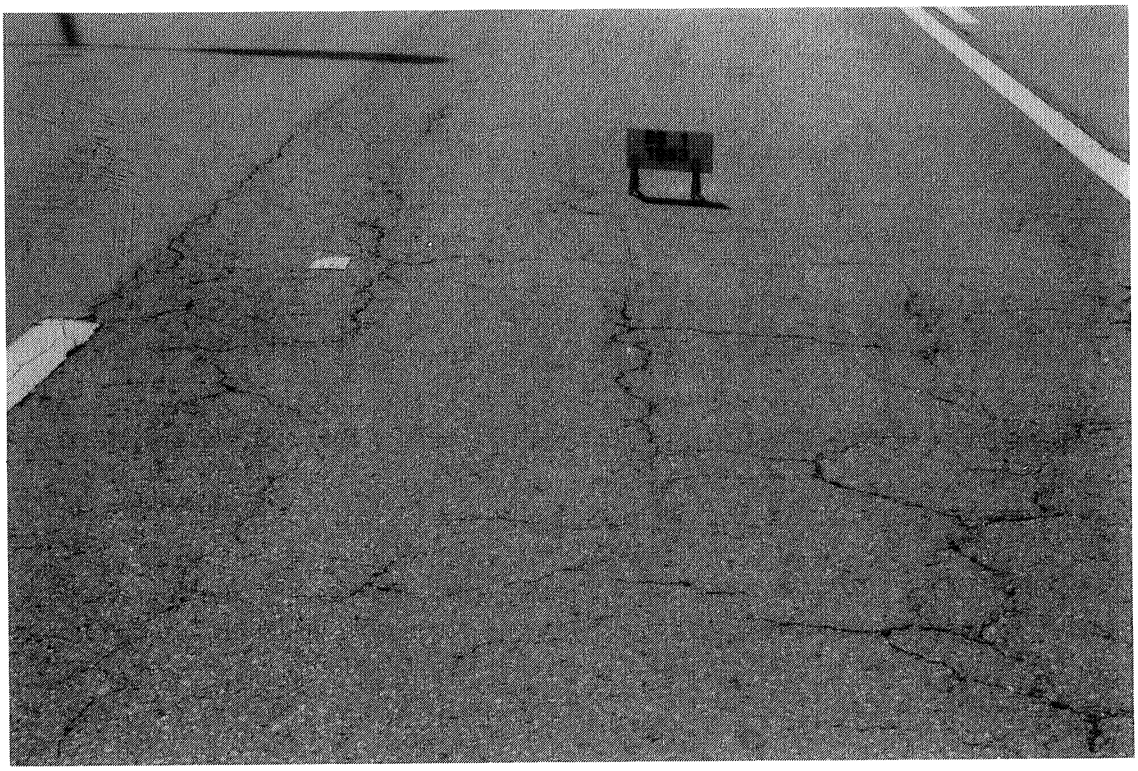


Abb. 15 (Foto EMPA-Nr. 84'034/26)

Bereich des Normalfahrstreifens der Beobachtungsstrecke 1, km 2.350, wo im Herbst 1974 erstmals Risse aufgetreten sind. Aussehen 18. Mai 1983. Vgl. Aussehen 1974, Abb. 8 und 1975, Abb. 9 im Schlussbericht des FA 3/73.

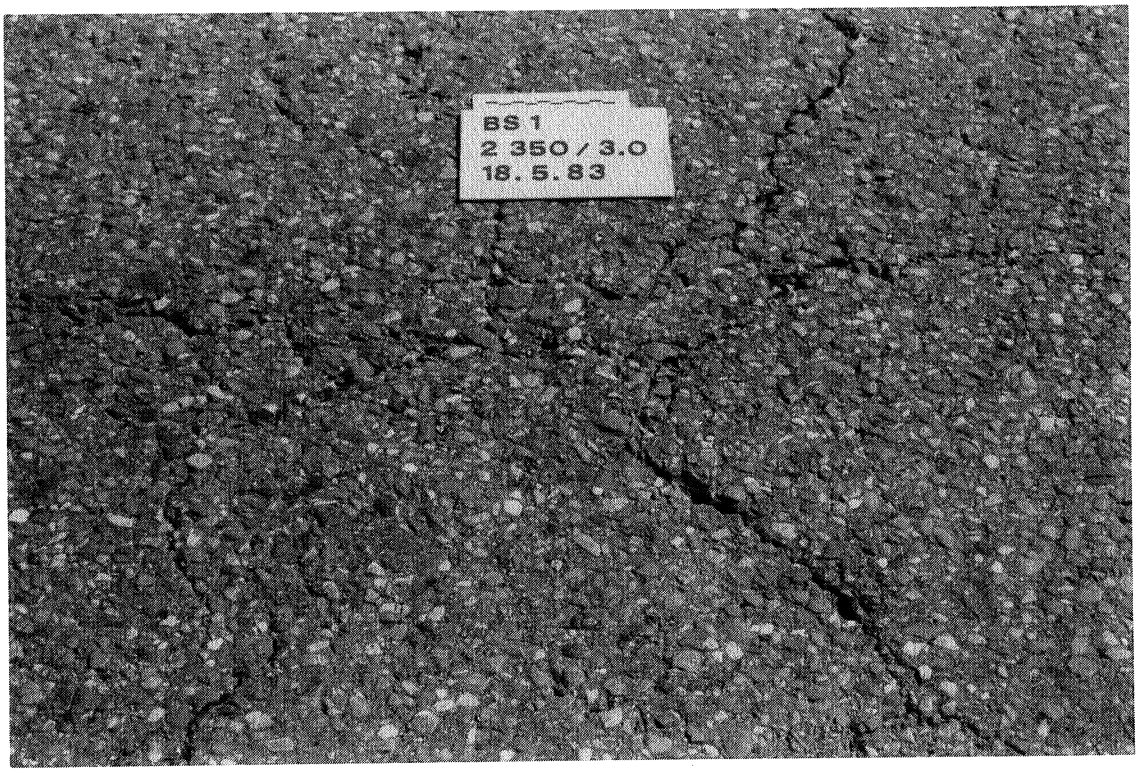



Abb. 16 (Foto EMPA-Nr. 85'034/30)

Detail der Oberfläche aus Abb. 15 bei km 2.350, etwa 3 m ab rechtem Normalfahrstreifenrand, Aussehen 18. Mai 1983. Vgl. Aussehen 1974, Abb. 10 im Schlussbericht des FA 3/73.

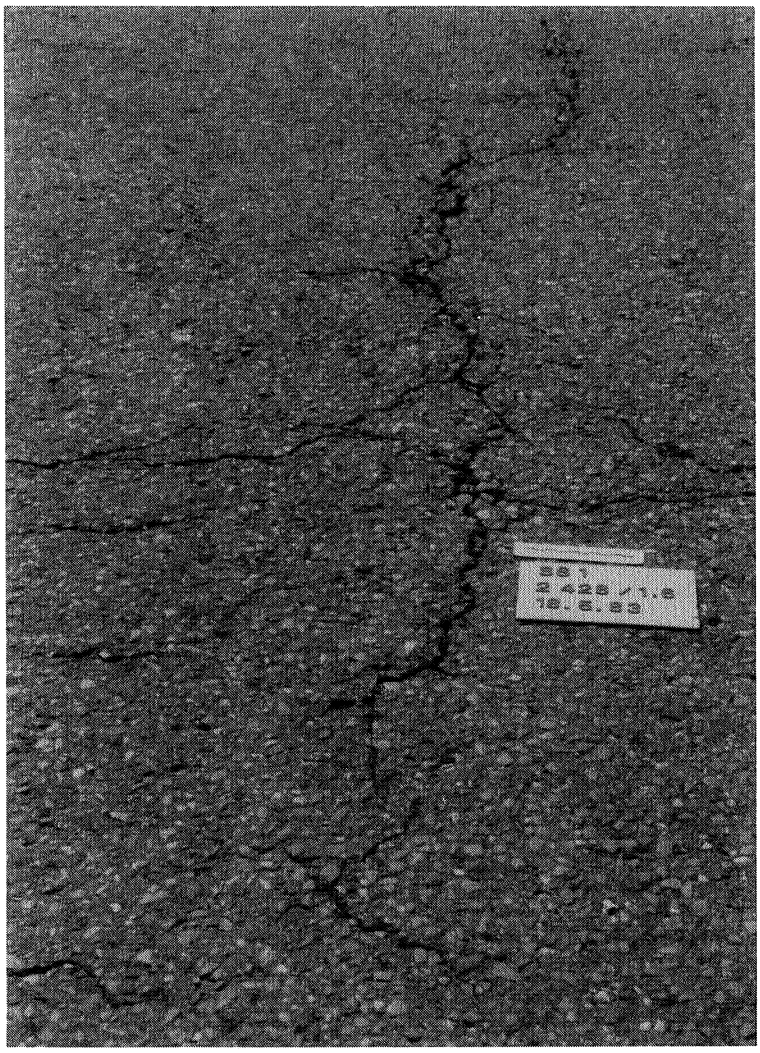


Abb. 17 (Foto EMPA-Nr. 85'034/23)

Längsriss mit Verästelungen, km 2.428, 1.6 m ab rechtem Normalfahrstreifenrand, Aussehen 18. Mai 1983. Vgl. Aussehen 1979/80, Abb. 20 im Schlussbericht des FA 29/77.

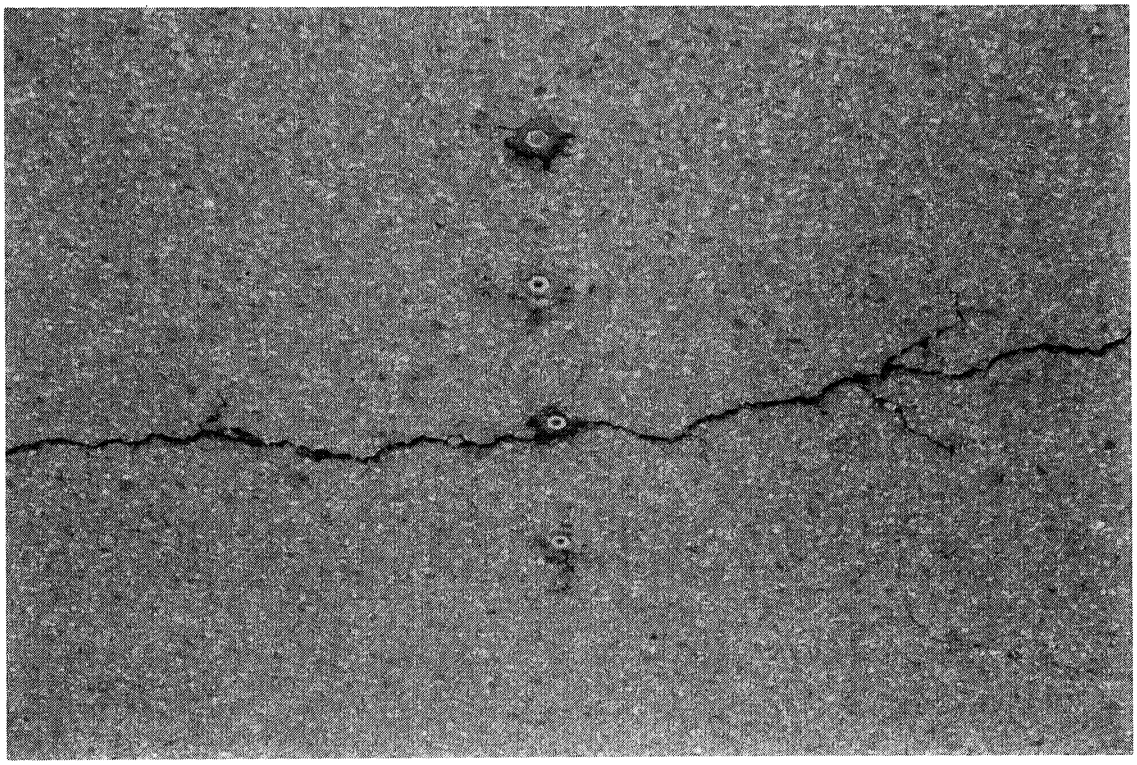


Abb. 18 (Foto EMPA-Nr. 85'032/33a)

Riss bei km 2.766, Profil 1.4, mit Bolzen für Abriebmessungen, Aussehen 18. Mai 1983. Vgl. Aussehen 17. November 1976, Abb. 11 im Schlussbericht des FA 3/73. Seit 1976 konnte nicht mehr mit der Bolzenmethode gemessen werden.




Abb. 19 (Foto EMPA-Nr. 85'032/29a)

Gerissene Quernaht des Uebergangs (in Fahrtrichtung) zur Beobachtungsstrecke 1. Aussehen 18. Mai 1983. Vgl. Aussehen am 17. November 1976, Abb. 12 im Schlussbericht des FA 3/73.

3. Aussehen: Oberflächen des Radspurbereichs im Normalfahrstreifen am 17. Mai 1983.

vgl. mit Fotos
vom Herbst 1973 im 2. Zwischenbericht FA 3/73,
von 1976 im Schlussbericht FA 3/73,
vom 20./21. Mai 1980 im Schlussbericht FA 29/77.




Abb. 20 (Foto EMPA-Nr. 85'032/13a)

Beobachtungsstrecke 1 (BS 1)
Bereich des Bohrkerns 108 (am linken Bildrand), rechte Radspur, km 2.486, 1.45 m ab rechtem Fahrbahnrand. 1981 wurde in diesem Bereich ein zusätzlicher Bohrkern vom Durchmesser 150 mm (in Bildmitte) entnommen.

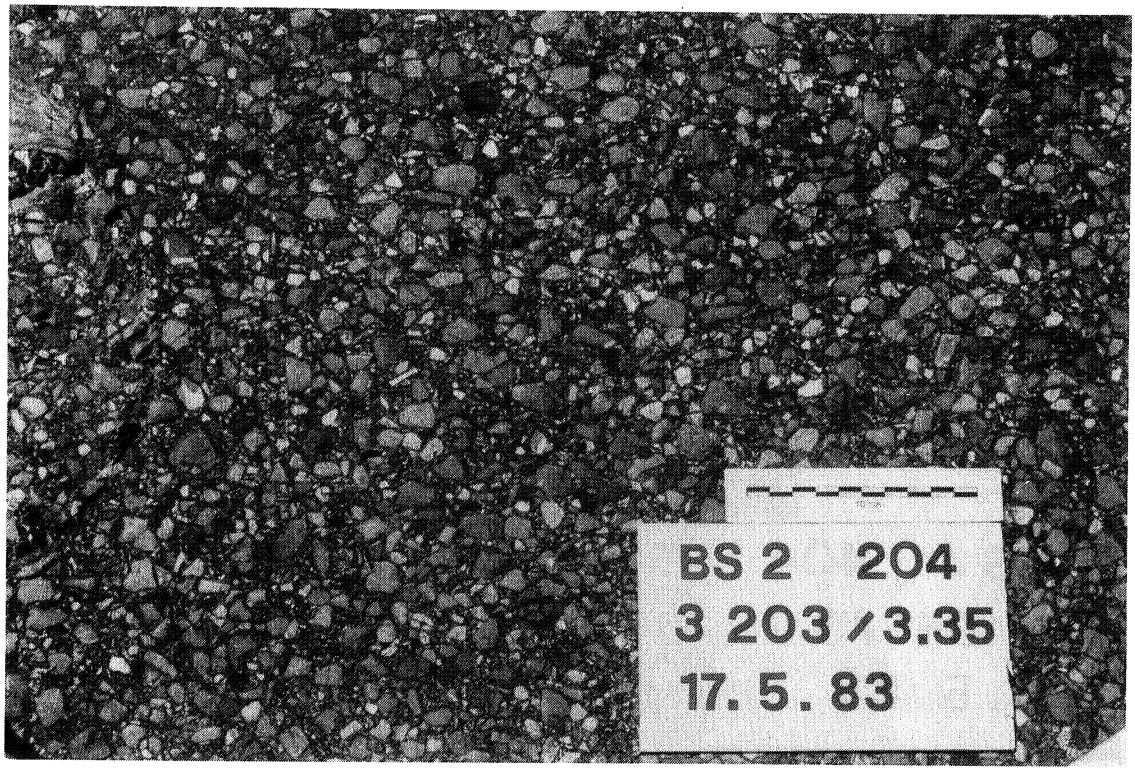



Abb. 21 (Foto EMPA-Nr. 85'030/29a)

Beobachtungsstrecke 2 (BS 2)
Bereich des Bohrkerns 204 (am linken Bildrand), linke Radspur, km 3.203, 3.35 m ab rechtem Fahrbahnrand.

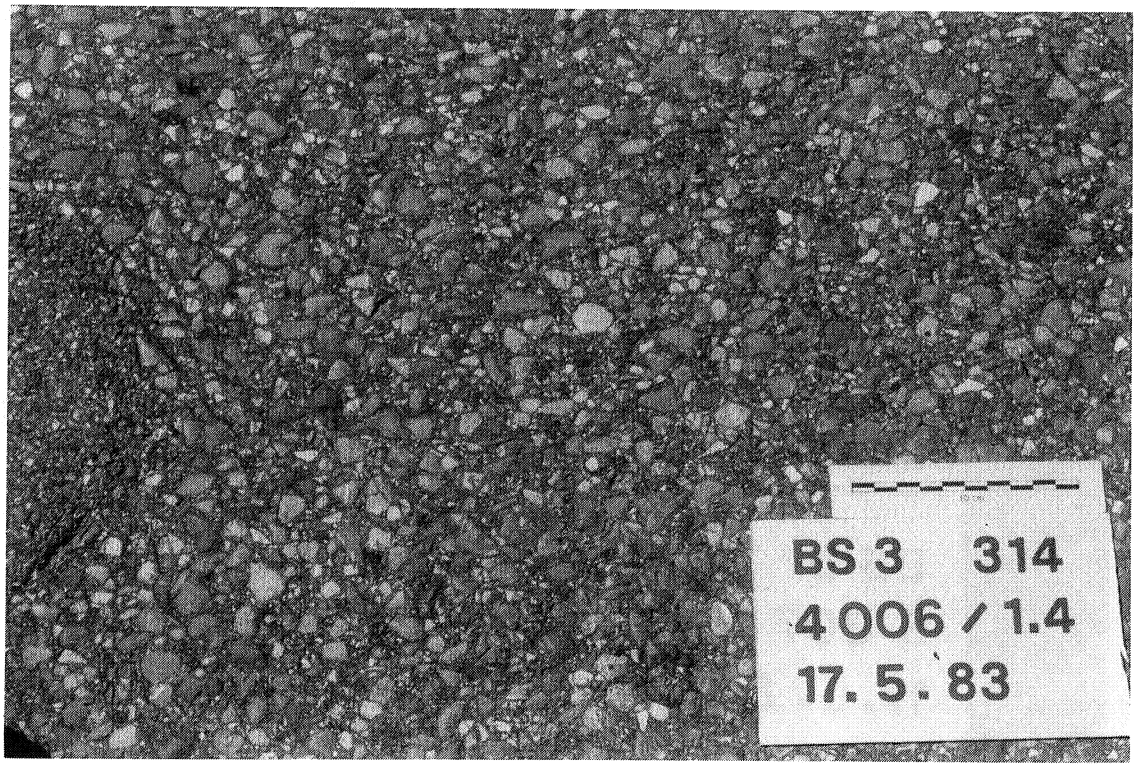



Abb. 22 (Foto EMPA-Nr. 85'030/7a)

Beobachtungsstrecke 3 (BS 3)
Bereich des Bohrkerns 314 (am linken Bildrand), rechte Radspur, km. 4.006, 1.4 m ab rechtem Fahrbahnrand.

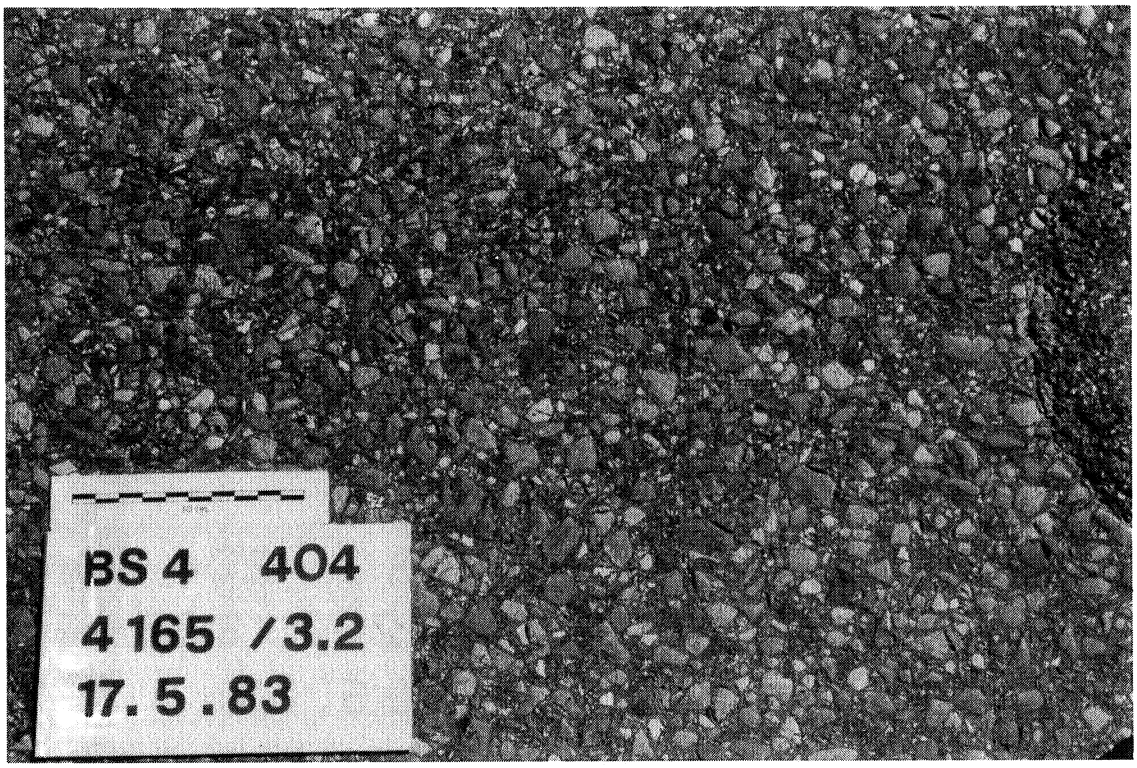



Abb. 23 (Foto EMPA-Nr. 85'031/4a)

Beobachtungsstrecke 4 (BS 4)
Bereich des Bohrkerns 404 (am rechten Bildrand), linke Radspur, km 4.165, 3.2 m ab rechtem Fahrbahnrand.




Abb. 24 (Foto EMPA-Nr. 85'033/13a)

Beobachtungsstrecke 5 (BS 5)
Bereich des Bohrkerns 509 (am rechten Bildrand), rechte Radspur, km 5.307, 1.4 m ab rechtem Fahrbahnrand.

Aussehen: Spurrinnen im Normalfahrstreifen (Mai 1983). 4-m-Latte im Querprofil.




Abb. 25 (Foto EMPA-Nr. 85'034/32)
Beobachtungsstrecke 1 (BS 1)
Spurrinnen im Bereich des Profils der Bohrkerne 102 - 104, Entnahmestellen z.T. hinter der 4-m-Latte sichtbar (zur Einbaukontrolle 1972 nebeneinander entnommen), und des Ausschnitts 1.1 (entnommen im September 1978).

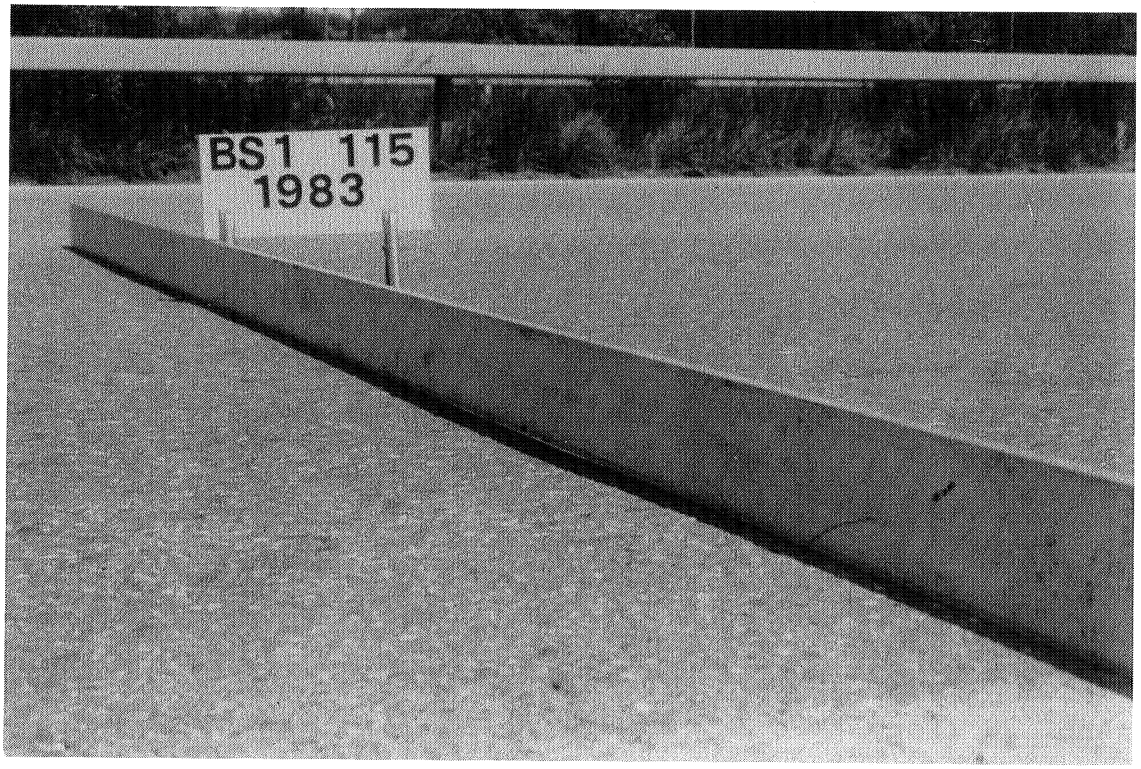



Abb. 26 (Foto EMPA-Nr. 85'032/5a)
Beobachtungsstrecke 1 (BS 1)
Spurrinnen im Bereich des Profils der Bohrkerne 113 - 115 und des Ausschnitts 1.3.

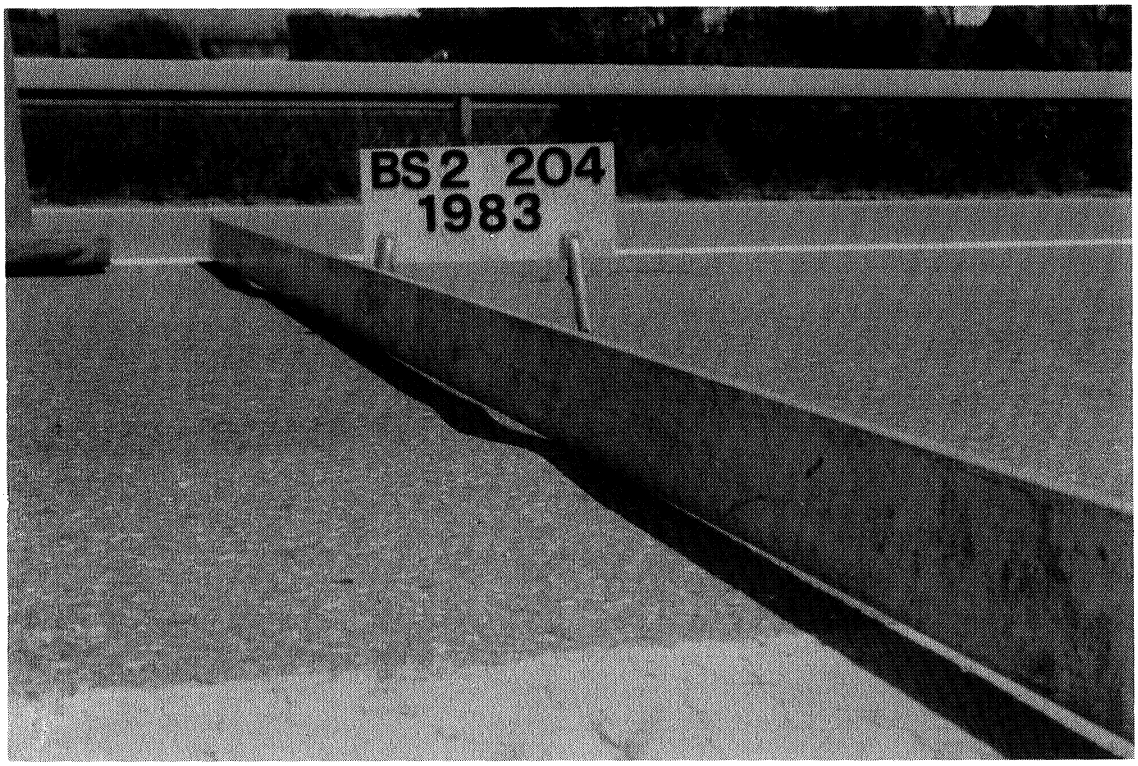



Abb. 27 (Foto EMPA-Nr. 85'030/26a)

Beobachtungsstrecke 2 (BS 2)

Spurrinnen im Bereich des Profils der Bohrkerne 202 - 204, Entnahmestellen z.T. hinter der 4-m-Latte sichtbar (zur Einbaukontrolle 1972 nebeneinander entnommen), und des Ausschnitts 2.1 (entnommen im September 1978).

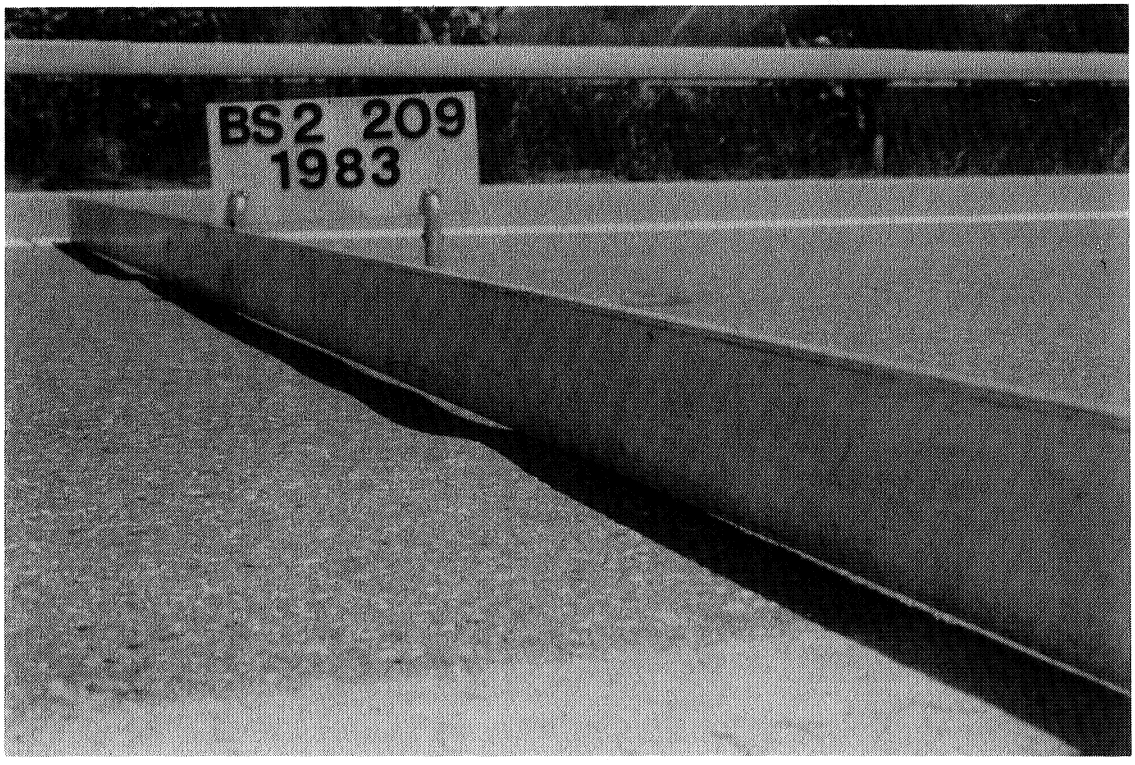



Abb. 28 (Foto EMPA-Nr. 85'030/22a)

Beobachtungsstrecke 2 (BS 2)

Spurrinnen im Bereich des Profils der Bohrkerne 207 - 209 und des Ausschnitts 2.2.

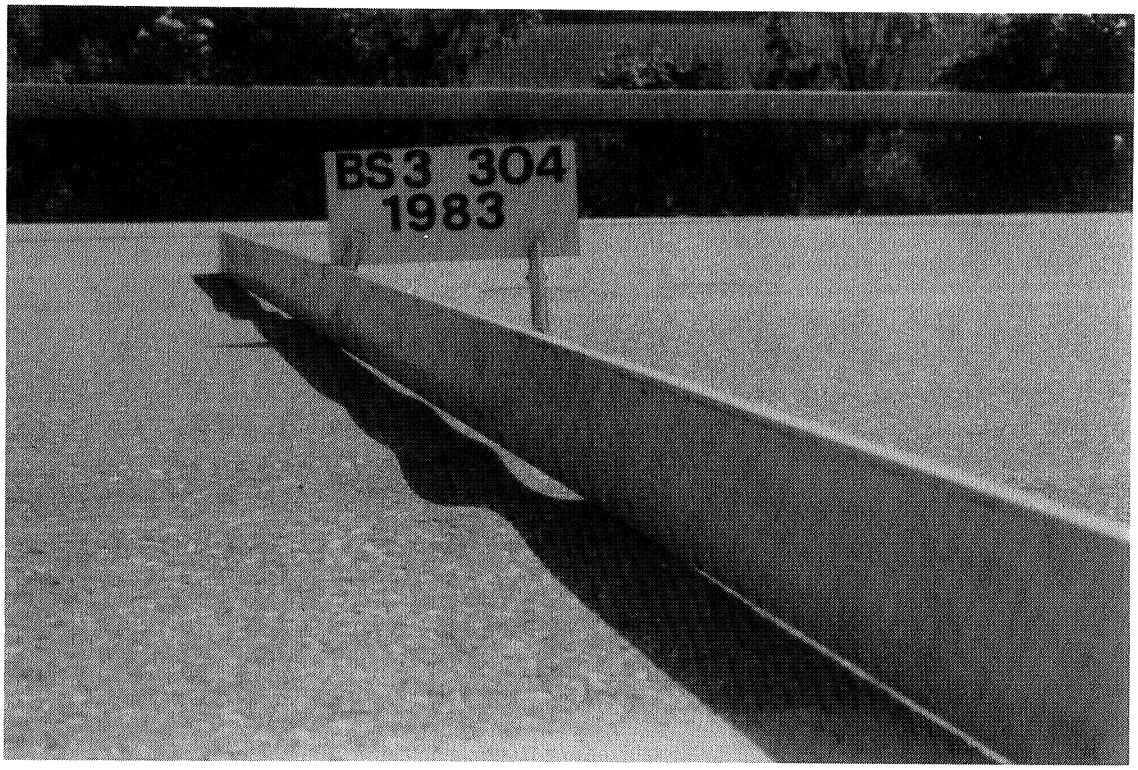



Abb. 29 (Foto EMPA-Nr. 85'031/26a)

Beobachtungsstrecke 3A (BS 3)

Spurrinnen im Bereich des Profils der Bohrkerne 302 - 304, Entnahmestellen z.T. hinter der 4-m-Latte sichtbar (zur Einbaukontrolle 1972 nebeneinander entnommen).




Abb. 30 (Foto EMPA-Nr. 86'762)

Beobachtungsstrecke 3B (BS 3)

Spurrinnen im Bereich des Profils der Bohrkerne 312 - 314 und des Ausschnitts 3.3 (entnommen im September 1978).




Abb. 31 (Foto EMPA-Nr. 85'033/35a)

Beobachtungsstrecke 4A (BS 4)

Spurrinnen im Bereich des Profils der Bohrkerne 402 - 404, Entnahmestellen z.T. hinter der 4-m-Latte sichtbar (zur Einbaukontrolle 1972 nebeneinander entnommen), und des Ausschnitts 4.1 (entnommen im September 1978).




Abb. 32 (Foto EMPA-Nr. 85'033/25a)

Beobachtungsstrecke 4B (BS 4)

Spurrinnen im Bereich des Profils der Bohrkerne 412 - 414 und des Ausschnitts 4.3.




Abb. 33 (Foto EMPA-Nr. 85'033/17a)

Beobachtungsstrecke 5A (BS 5)

Spurrinnen im Bereich des Profils der Bohrkerne 507 - 509, (zur Einbaukontrolle 1972 nebeneinander entnommen), und des Ausschnitts 5.2 (entnommen im September 1978). Aus den in Abb. 33 und 34 deutlich sichtbaren Entnahmestellen wurden 1981 Bohrkerne vom Durchmesser 150 mm entommen.




Abb. 34 (Foto EMPA-Nr. 85'033/2a)

Beobachtungsstrecke 5B (BS 5)

Spurrinnen im Bereich des Profils der Bohrkerne 515 - 517 und des Ausschnitts 5.4, Entnahmestelle z.T. am linken Bildrand sichtbar.

## H. BEURTEILUNGEN

Die fünf Beobachtungsstrecken stehen seit Herbst 1972 unter Verkehr. Durch die Sanierung im Sommer 1983 ist das ursprüngliche Konzept der Beobachtungsstrecken im Normalfahrstreifen und zusätzlich in der Beobachtungsstrecke 1 im Ueberholstreifen verändert.

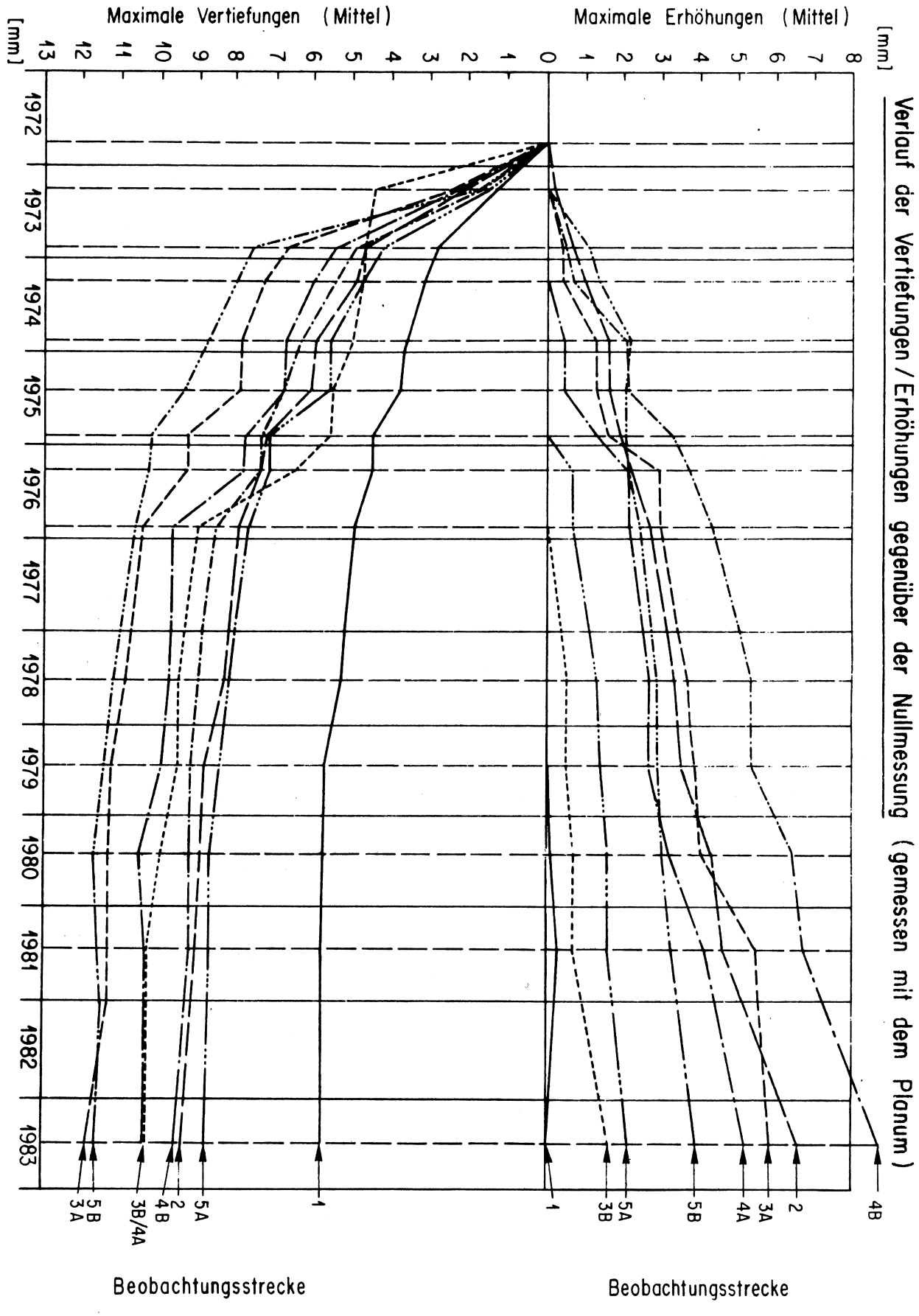
Die Beurteilung des Verhaltens dieser Strecken umfasst hier im speziellen den Zeitraum von 1980 bis 1983.

### 1. Ebenheit im Querprofil

Die aus den Planumaufnahmen ausgewerteten Vertiefungen der Radspurbereiche und seitlichen Erhöhungen sowie die ab der 4-m-Latte gemessenen T-Werte geben die Gesamtdeformation der Oberfläche im Querprofil an. Diese bestehen aus den plastischen Verformungen - Nachverdichtungen, Verdrückungen und seitlichen Aufwölbungen - sowie aus dem Abrieb. Die einzelnen Anteile konnten jedoch nicht ermittelt werden, da die Abriebmessungen mit der Bolzenmethode durch die starken bleibenden Deformationen im Normalfahrstreifen nicht durchgeführt werden konnten.

#### Vertiefungen V und Erhöhungen E in den Radspurbereichen

In den systematisch angeordneten Messprofilen wurden anhand von Planumaufnahmen die Vertiefungen V und Erhöhungen E in den Radspurbereichen gegenüber den Nullmessungen im Jahr 1972 ermittelt. Pro Beobachtungsstrecke sind die Mittelwerte der maximalen Vertiefungen und der maximalen seitlichen Erhöhungen, bestimmt jeweils im linken oder im rechten Radspurbereich des Normalfahrstreifens, ab 1978 zusammengestellt. Diese Werte sind über die ganze Benützungsdauer im folgenden auch graphisch dargestellt.




Verlauf der Vertiefungen / Erhöhungen gegenüber der Nullmessung (gemessen mit dem Planum)

Zeichnungs-Nr. 4-42'311/a

Die Spurrinnenbildung im Normalfahrstreifen hat auch in der Beobachtungszeit von 1980 bis 1983 in allen Beobachtungsstrecken weiter zugenommen. Wie die Zusammenstellung der Mittelwerte der maximalen Vertiefungen und Erhöhungen zeigt, beträgt die Zunahme der mittleren maximalen Vertiefungen für die einzelnen Strecken 0 bis 0.7 mm und die Zunahme der mittleren maximalen Erhöhungen 0.5 (bzw. 0 in der Beobachtungsstrecke 1) bis 2.3 mm in drei Jahren.

Zusammenstellung

Mittelwerte der maximalen Vertiefungen/Erhöhungen gegenüber den Nullmessungen 1972.

Aus Planumaufnahmen in systematisch angeordneten Messprofilen bestimmt.

| Beobachtungs- | Vertiefungen V in mm | | | | | Zunahme |
|---|---|---|---|---|---|---|
| strecke | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1983 | 1980 - 1983 |
| 1 | 5.3 | 5.7 | 5.8 | 5.9 | 5.9 | 0.1 |
| 2 | 8.3 | 8.8 | 8.9 | 9.2 | 9.5 | 0.6 |
| 3A | 10.9 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | 12.0 | 0.7 |
| 3B | 9.5 | 9.5 | 10.0 | 10.5 | 10.5 | 0.5 |
| 4A | 9.7 | 10.0 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 0 |
| 4B | 9.0 | 9.1 | 9.3 | 9.3 | 9.7 | 0.4 |
| 5A | 8.1 | 8.4 | 8.8 | 8.8 | 9.0 | 0.2 |
| 5B | 11.1 | 11.4 | 11.6 | 11.7 | 11.8 | 0.2 |

| Beobachtungs- | Erhöhungen E in mm | | | | | Zunahme |
|---|---|---|---|---|---|---|
| strecke | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1983 | 1980 - 1983 |
| 1 | - | - | 0.1 | 0.3 | 0 | 0 |
| 2 | 3.4 | 3.6 | 4.3 | 4.6 | 6.6 | 2.3 |
| 3A | 3.8 | 3.9 | 4.1 | 5.5 | 5.8 | 1.7 |
| 3B | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 1.5 | 0.8 |
| 4A | 2.7 | 2.8 | 3.2 | 4.2 | 5.2 | 2.0 |
| 4B | 5.4 | 5.4 | 6.5 | 6.7 | 8.7 | 2.2 |
| 5A | 1.3 | 1.4 | 1.6 | 1.6 | 2.1 | 0.5 |
| 5B | 3.0 | 3.0. | 3.0 | 3.3 | 3.9 | 0.9 |

Spurrinnentiefe; T-Wert, V+E-Wert,
Gegenüberstellung unterschiedlich bestimmter Kennwerte

Erstmals wurden 1976, entsprechend der damals sich in Bearbeitung befindlichen Norm 640'520a "Ebenheit", die Radspurrinnentiefen auch als Muldentiefen ab der 4-m-Latte, T-Werte, gemessen. Um pro Beobachtungsstrecke bzw. pro Teilstrecke mit einer grossen Anzahl Messwerten umfassende Informationen über das Ausmass der bleibenden Deformationen mit repräsentativen Mittelwerten zu erhalten, erfolgten diese T-Wert-Messungen alle 20 m. Weitere solche T-Wert-Messungen, ergänzt um die Messungen der Muldentiefen gegenüber dem Horizont als theoretische Wassertiefen, t-Werte, wurden in den Jahren 1978, 1981 und 1983 durchgeführt.

Im folgenden sind pro Beobachtungsstrecke bzw. pro Teilstrekke die mittleren T-Werte für die gemessenen Jahre zusammengestellt und grafisch dargestellt, vgl. Seiten 91/92. Berücksichtigt wurde der jeweils grössere Mittelwert der linken oder der rechten Radspur.

Diese mittleren T-Werte, berechnet aus im Abstand von 20 m gemessenen Einzelwerten, sind den mittleren Summenwerten, V+E-Werten, gegenübergestellt. V+E-Werte werden summiert aus den in systematisch angeordneten Messprofilen gegenüber den Nullmessungen im Jahr 1972 ermittelten maximalen Vertiefungen V und maximalen Erhöhungen E. Der jeweils grössere V+E-Mittelwert der linken oder der rechten Radspur ist in der Tabelle Seite 91 ab 1976 aufgeführt. Grafisch dargestellt sind die Verläufe der mittleren V+E-Werte über die gesamte Benützungsdauer der Beobachtungsstrecken auf Seite 93.

Die mittleren T- und V+E-Werte sind für die entsprechenden vier Jahre auch grafisch gegenübergestellt. In diesen Darstellungen sind die mittleren T-Werte, berechnet aus alle 20 m gemessenen Einzelwerten, in der Reihenfolge der Beobachtungsstrecken mit zunehmenden Werten von links nach rechts aufgeführt, vgl. Seiten 94/95. Aenderungen in der Reihenfolge der mittleren T-Werte zum folgenden Messjahr sind durch Pfeile markiert.

Je grösser die Anzahl der Einzelwerte ist - Umfang der Stichprobe -, desto genauer repräsentiert ein entsprechender Mittelwert die wahren Verhältnisse. Aufgrund der grossen Anzahl T-Werte resultieren für die einzelnen Beobachtungsstrecken gut repräsentierende mittlere T-Werte. Dagegen sind die mittleren V+E-Werte aus wenigen Einzelwerten bestimmt.

Gegenüber den mittleren T-Werten weisen die entsprechenden mittleren V+E-Werte sowohl positive als auch negative Differenzen unterschiedlicher Beträge auf. Diese Differenzen lassen eine Normalverteilung vermuten. Zusätzlich zeigen die Differenzen pro Beobachtungsstrecke für die vier Messjahre 1976 bis 1983, mit wenigen Ausnahmen, recht gleichmässige Werte auf. Aus diesen Feststellungen lässt sich schliessen, dass die mit unterschiedlichen Methoden bestimmten mittleren T- und V+E-Werte etwa vergleichbare Kennwerte ergeben und aufgrund der zu geringen Anzahl an V+E-Einzelwerten oft differieren.

Zur Charakterisierung der bleibenden Gesamtdeformationen sind Bestimmungen von T-Werten denjenigen von V+E-Werten vorzuziehen. T-Werte können einfach und sehr schnell direkt ab der 4-m-Latte gemessen werden. Dagegen sind zur Ermittlung der V+E-Werte jeweils arbeitsintensive Vergleiche mit früher an genau denselben Stellen erstellten Planumaufnahmen durchzuführen.

Gegenüberstellung von Mittelwerten

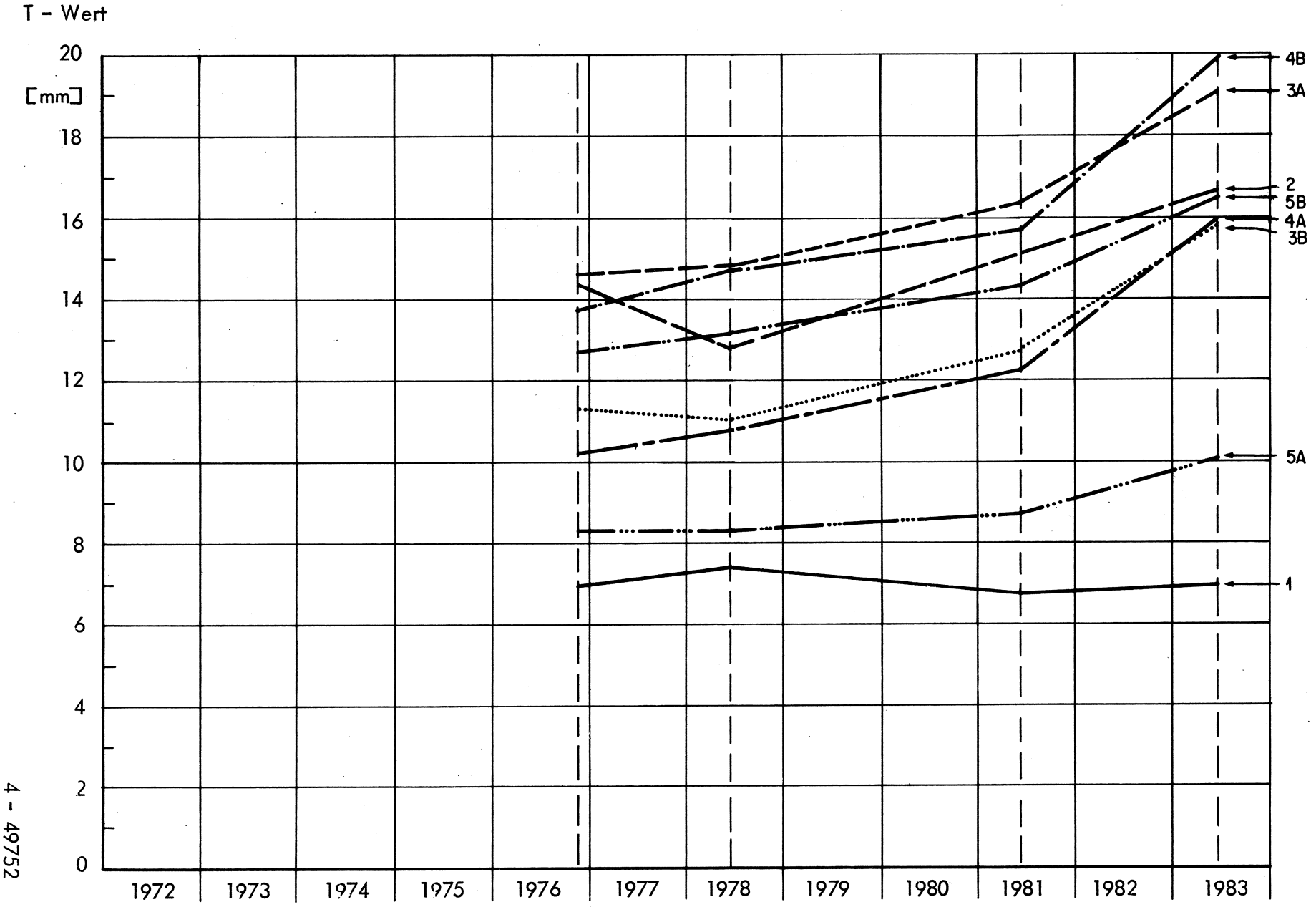
T-Werte gemessen alle 20 m gemäss SN 640'520a

V+E-Werte Summe, gebildet aus maximaler Vertiefung V und maximaler Erhöhung E gegenüber der Nullmessung 1972, bestimmt in festgelegten Messprofilen.

| Beobachtungsstrecke | Ebenheit im Querprofil | Anzahl gemessene Profile | Jahr der Messungen 1976 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1983 | Mittel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T-Wert | 29 | 7.0 | 7.5 | - | - | 6.8 | 7.0 | |
| | V+E-Wert | 4 | 5.4 | 5.4 | 5.9 | 6.0 | 6.3 | 6.0 | |
| | Differenz | | 1.6 | 2.1 | - | - | 0.5 | 1.0 | + 1.3 |
| 2 | T-Wert | 23 | 14.4 | 12.8 | - | - | 15.1 | 16.7 | |
| | V+E-Wert | 3 | 12.3 | 13.3 | 14.0 | 14.5 | 15.0 | 17.0 | |
| | Differenz | | 2.1 | -0.5 | - | - | 0.1 | -0.3 | + 0.3 |
| 3A | T-Wert | 15 | 14.6 | 14.9 | - | - | 16.3 | 19.1 | |
| | V+E-Wert | 2 | 14.5 | 15.5 | 15.5 | 16.0 | 17.8 | 19.0 | |
| | Differenz | | 0.1 | -0.6 | - | - | -1.5 | 0.1 | - 0.5 |
| 3B | T-Wert | 6 | 11.3 | 11.0 | - | - | 12.8 | 15.8 | |
| | V+E-Wert | 1 | 9.5 | 10.5 | 10.5 | 11.0 | 11.5 | 13.0 | |
| | Differenz | | 1.8 | 0.5 | - | - | 1.3 | 2.8 | + 1.6 |
| 4A | T-Wert | 8 | 10.2 | 10.8 | - | - | 12.3 | 16.0 | |
| | V+E-Wert | 1 | 12.5 | 13.5 | 13.5 | 14.0 | 16.0 | 16.5 | |
| | Differenz | | -2.3 | -2.7 | - | - | -3.7 | -0.5 | - 2.3 |
| 4B | T-Wert | 17 | 13.7 | 14.7 | - | - | 15.7 | 19.9 | |
| | V+E-Wert | 2 | 13.5 | 15.0 | 15.0 | 16.0 | 16.0 | 18.6 | |
| | Differenz | | 0.2 | -0.3 | - | - | -0.3 | 1.3 | + 0.2 |
| 5A | T-Wert | 11 | 8.3 | 8.3 | - | - | 8.7 | 10.1 | |
| | V+E-Wert | 2 | 9.6 | 10.8 | 11.1 | 11.8 | 11.8 | 12.3 | |
| | Differenz | | -1.3 | -2.5 | - | - | -3.1 | -2.2 | - 2.3 |
| 5B | T-Wert | 8 | 12.7 | 13.1 | - | - | 14.3 | 16.5 | |
| | V+E-Wert | 2 | 13.8 | 14.8 | 14.8 | 14.8 | 15.3 | 15.8 | |
| | Differenz | | -1.1 | -1.7 | - | - | -1.0 | 0.7 | - 0.8 |

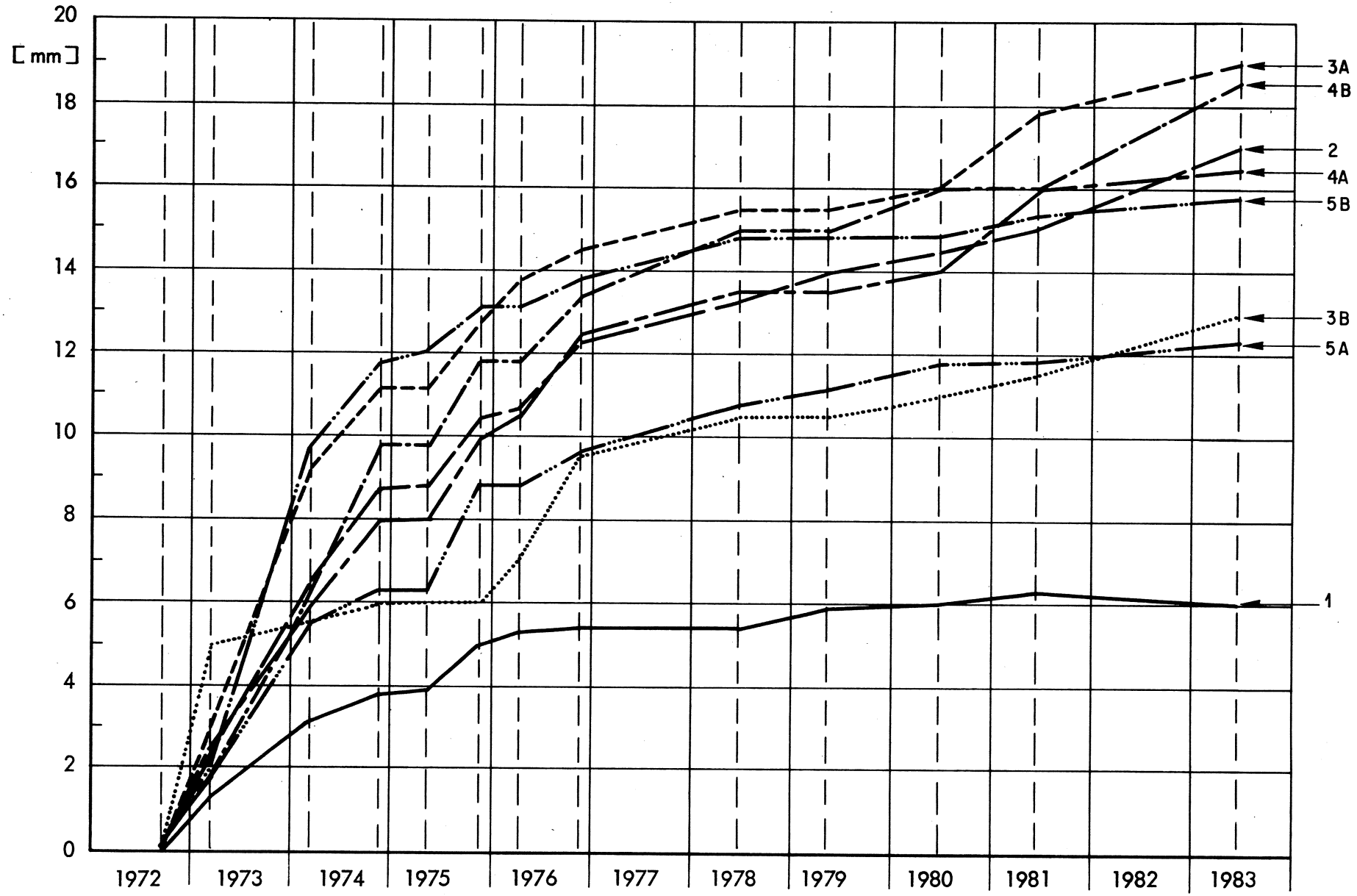
## Verlauf der T - Werte

Der jeweils grössere Mittelwert der linken oder der rechten Radspur , gemessen alle 20m , ist berücksichtigt



# V e r l a u f  d e r  V + E - W e r t e

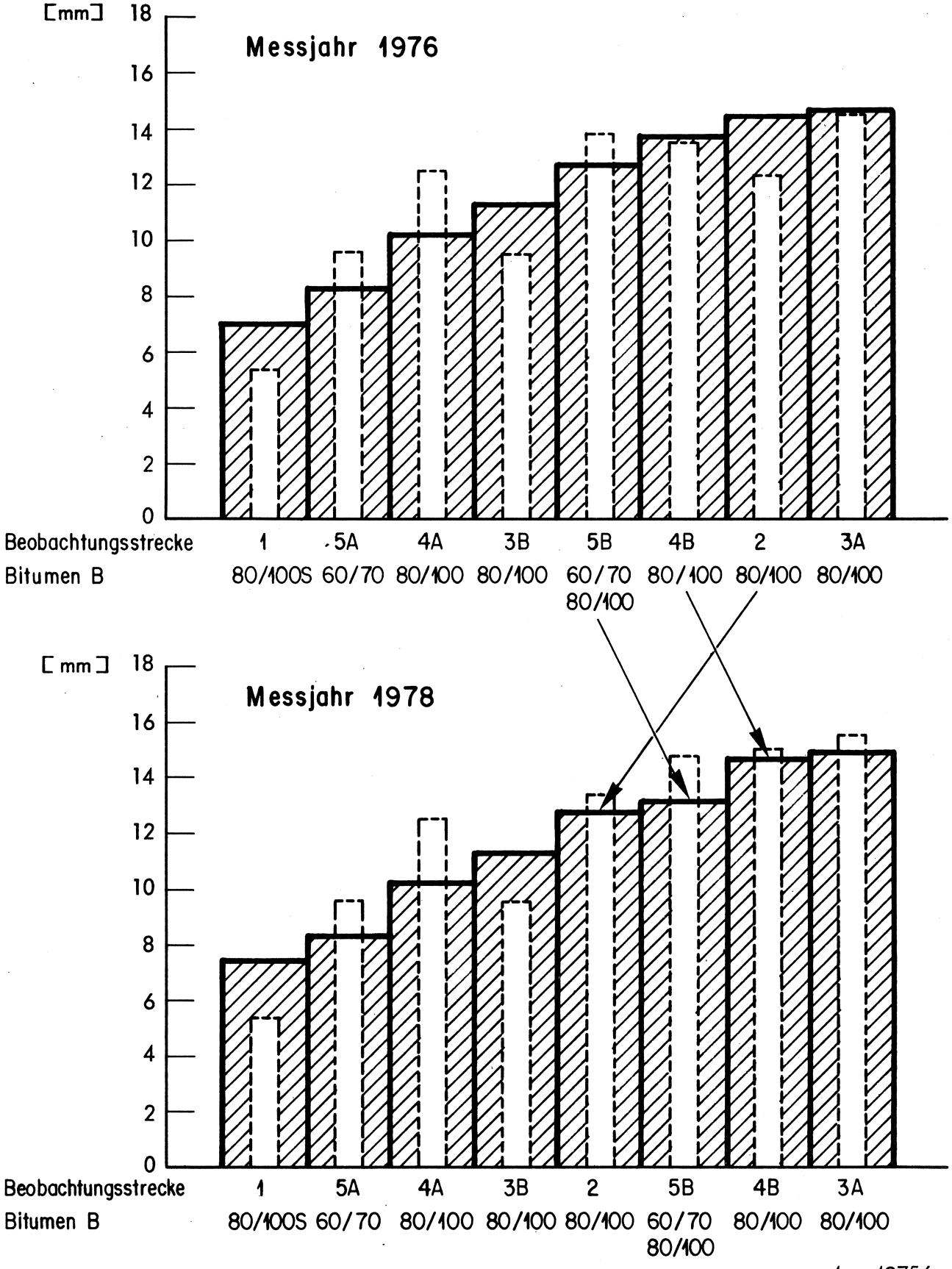
Mittlerer Summenwert, gebildet aus maximaler Vertiefung ( V ) und maximaler Erhöhung ( E ) gegenüber der Nullmessung 1972, jeweils bestimmt in festgelegten Messprofilen.



## E b e n h e i t  i m  Q u e r p r o f i l , Mittelwerte

T - Wert , gemessen alle 20m

V+E - Wert, Vertiefung und Erhöhung in Messprofilen gegenüber Nullmessung im Jahr 1972

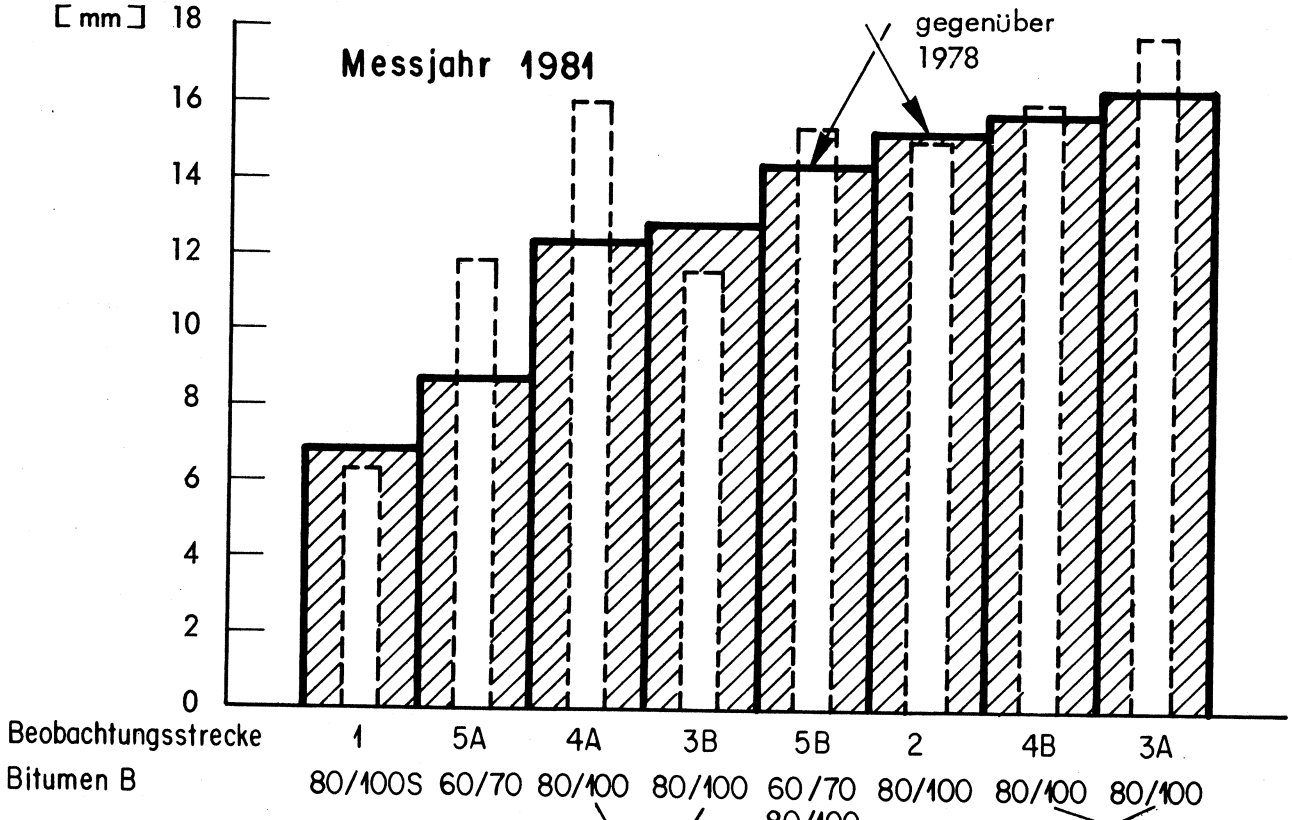


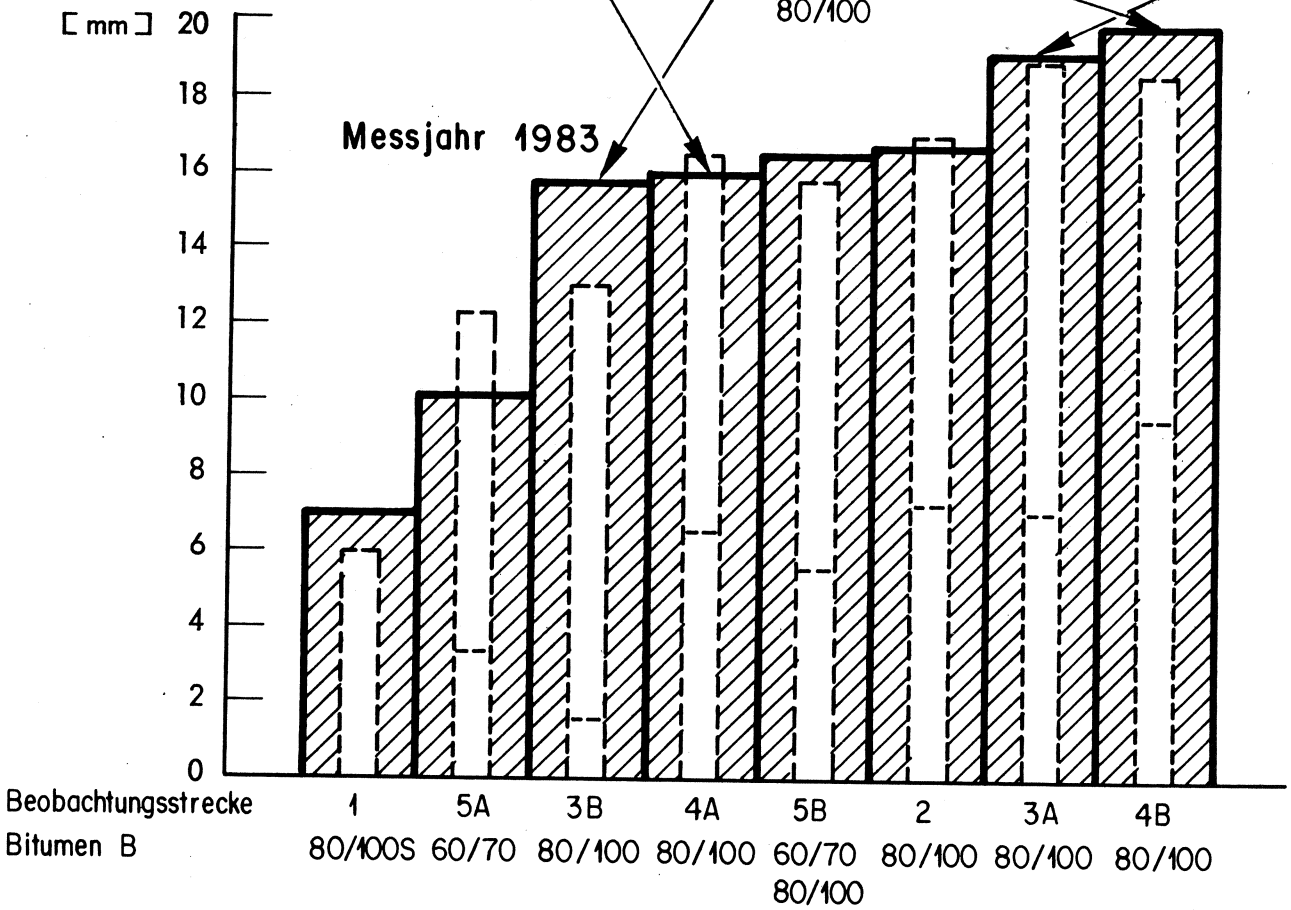

4 - 49756

## Ebenheit im Querprofil, Mittelwerte

T - Wert , gemessen alle 20m

V+E - Wert , Vertiefung und Erhöhung in Messprofilen gegenüber Nullmessung im Jahr 1972




4 - 49757

Theoretische Wassertiefe t

Theoretische Wassertiefen t, als Muldentiefen gegenüber dem Horizont, wurden in der gesamtem Beobachtungsdauer entsprechend der ab 1977 gültigen Schweizer Norm SN 640'520a "Ebenheit" bestimmt. Bei jeder Messkampagne wurden die t-Werte in den vor der Inbetriebnahme der HLS Bülach - Kloten im Jahr 1972 in den verschiedenen Beobachtungsstrecken festgelegten Messprofilen ermittelt.

Mit zunehmender Spurrinnenbildung zeigte es sich, dass in bezug auf das Deformationsverhalten im Querprofil die Anzahl der Messprofile in den einzelnen Beobachtungsstrecken für umfassende Aussagen zu gering ist (jeweils zu kleiner Umfang der Stichproben). Zusätzliche Messungen im Abstand von jeweils 20 m erfolgten in den Jahren 1978, 1981 und 1983. Bei diesem Messverfahren lassen sich aufgrund der grossen Anzahl Messwerte repräsentative mittlere t-Werte für die einzelnen Beobachtungsstrecken und Teilstrecken bestimmen.

In der folgenden Gegenüberstellung der aus unterschiedlicher Anzahl von Einzelwerten berechneten mittleren t-Werte sind die jeweils grösseren Mittelwerte der linken oder der rechten Radspur aufgeführt (ab 1976). Die grafischen Darstellungen zeigen die Verläufe der beiden mittleren t-Werte über die entsprechende gesamte Messdauer auf (vgl. Seiten 99/100).

In den grafischen Gegenüberstellungen sind für die drei Messjahre die repräsentativen mittleren t-Werte, berechnet aus alle 20 m gemessenen Einzelwerten, in der Reihenfolge der Beobachtungsstrecken mit zunehmenden Werten von links nach rechts dargestellt (vgl. Seite 101). Aenderungen in der Reihenfolge, die von 1978 zu 1981 vorliegen, sind durch Pfeile markiert.

Im Vergleich zu den repräsentativen, aus einer grossen Anzahl von Messwerten berechneten mittleren t-Werten weisen die aus in geringer Anzahl an Messprofilen ermittelten mittleren

t-Werte ein den kleinen Umfängen der Stichproben entsprechendes, typisches Bild auf. Bei den Differenzen handelt es sich sowohl um positive als auch um negative Werte unterschiedlicher Beträge, die in etwa normal verteilt sind. Diese Differenzen sind bei den einzelnen Beobachtungsstrecken für die drei Messjahre von 1978 bis 1983 grösstenteils sehr gleichmässig.

Gegenüberstellung von Mittelwerten

t-Werte

Aufgeführt ist der jeweils grössere Mittelwert der rechten oder der linken Radspur. Die Einzelwerte wurden bestimmt

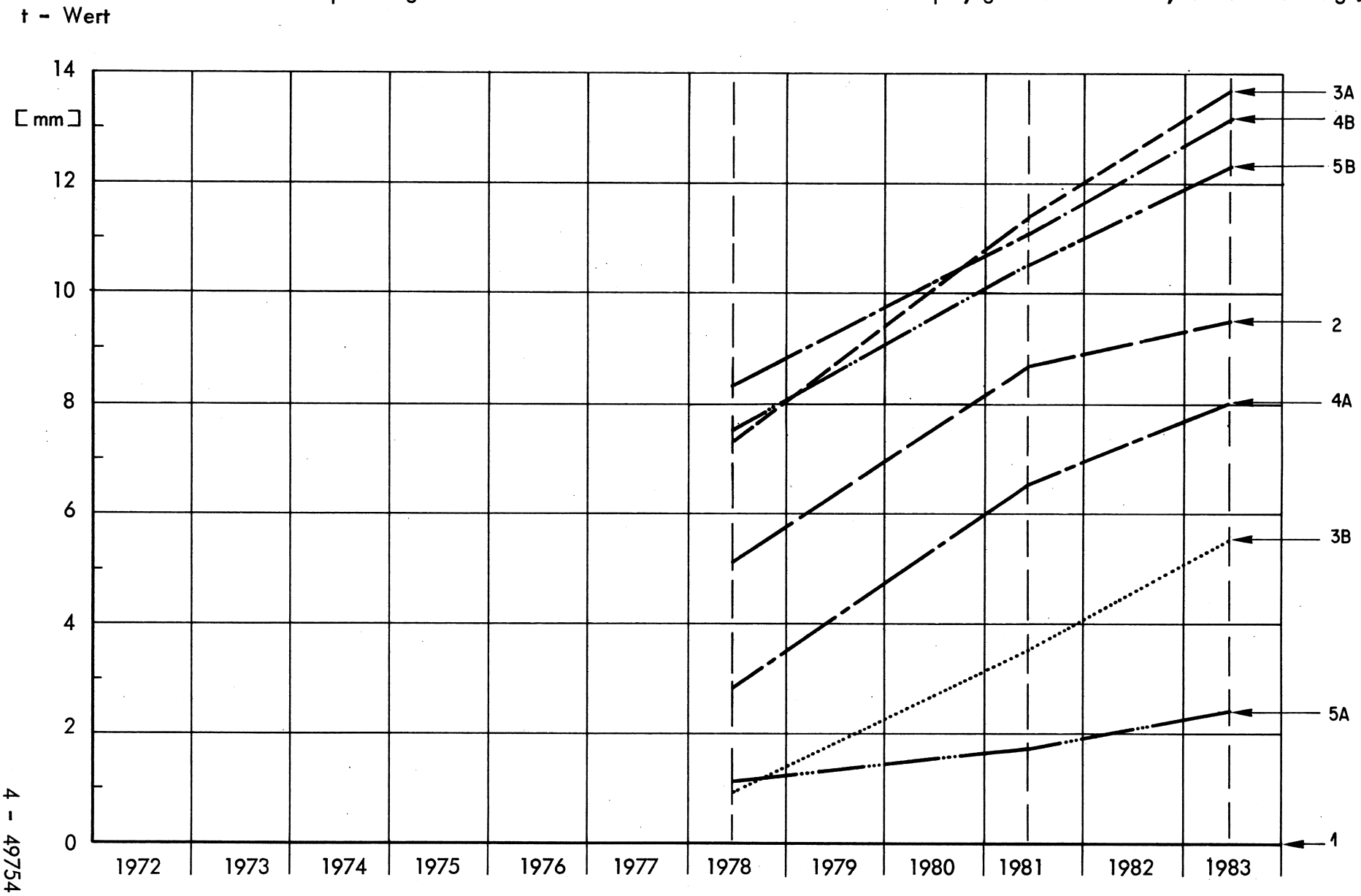
- alle 20 m (repräsentativer Mittelwert)
- in den festgelegten Messprofilen

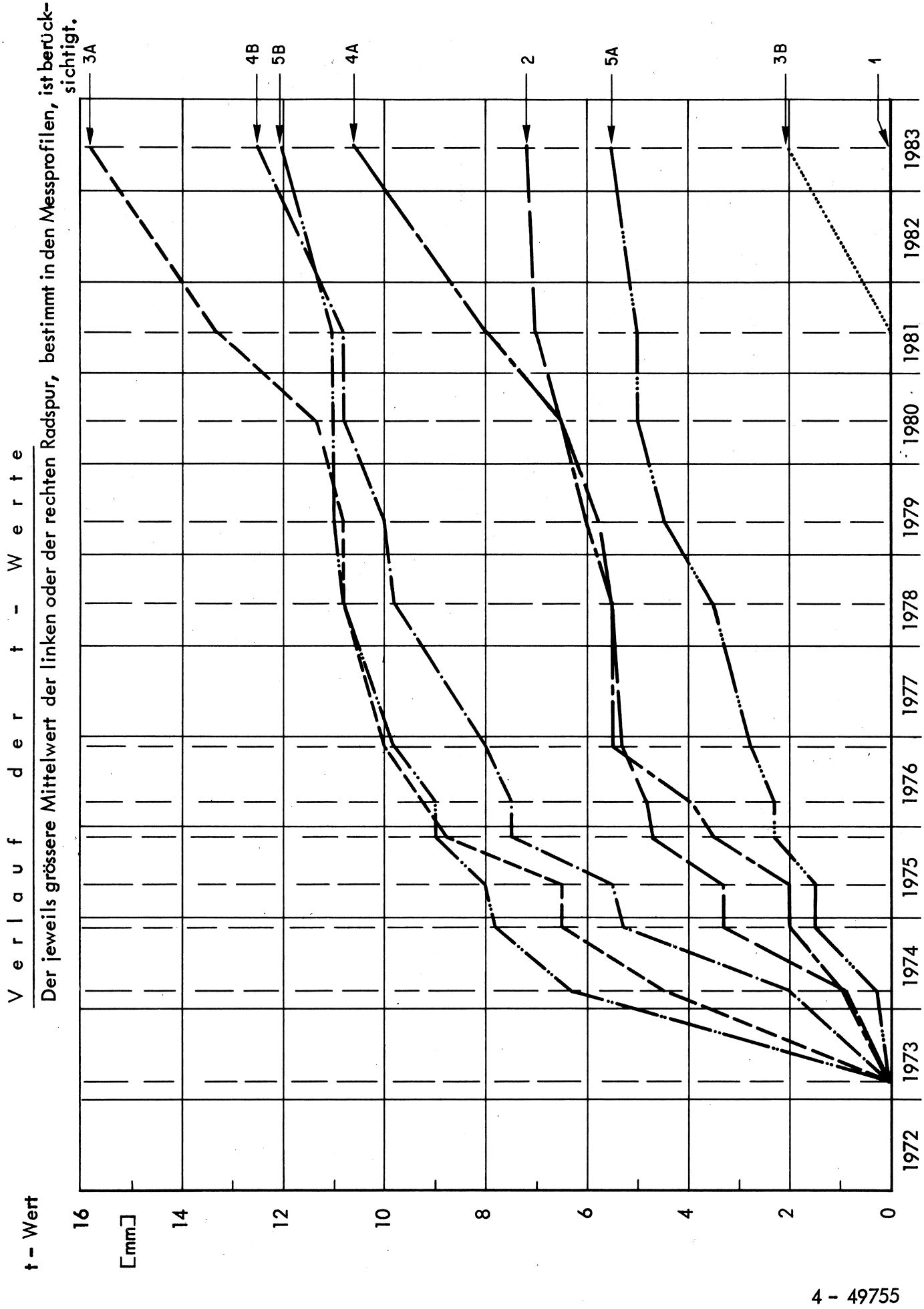
| Beobachtungsstrecke | t-Wert, gemessen | Anzahl gemessene Profile | Jahr der Messungen 1976 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1983 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | alle 20 m | 4 | - | 0 | - | - | 0 | 0 |
| | Messprofil * | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | alle 20 m | 3 | - | 5.1 | - | - | 8.7 | 9.5 |
| | Messprofil * | 23 | 5.3 | 5.5 | 5.8 | 6.5 | 7.0 | 7.2 |
| 3A | alle 20 m | 2 | 10.0 | 10.8 | 10.8 | 11.3 | 13.3 | 15.8 |
| | Messprofil * | 15 | - | 7.3 | - | - | 11.4 | 13.7 |
| 3B | alle 20 m | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.0 |
| | Messprofil * | 6 | - | 0.9 | - | - | 3.5 | 5.5 |
| 4A | alle 20 m | 1 | 5.5 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 8.0 | 10.5 |
| | Messprofil * | 8 | - | 2.8 | - | - | 6.5 | 8.0 |
| 4B | alle 20 m | 2 | 8.0 | 9.8 | 10.0 | 10.8 | 10.8 | 12.5 |
| | Messprofil * | 17 | - | 8.3 | - | - | 11.1 | 13.2 |
| 5A | alle 20 m | 2 | 2.8 | 3.5 | 4.5 | 5.0 | 5.0 | 5.5 |
| | Messprofil * | 11 | - | 1.1 | - | - | 1.7 | 2.4 |
| 5B | alle 20 m | 2 | 9.8 | 10.8 | 11.0 | 11.0 | 11.0 | 12.0 |
| | Messprofil * | 8 | - | 7.5 | - | - | 10.5 | 12.3 |

* Vor Inbetriebnahme der HLS Bülach - Kloten im Jahr 1972 festgelegte und periodisch aufgenommene Messprofile.

## V e r l a u f  d e r  t - W e r t e

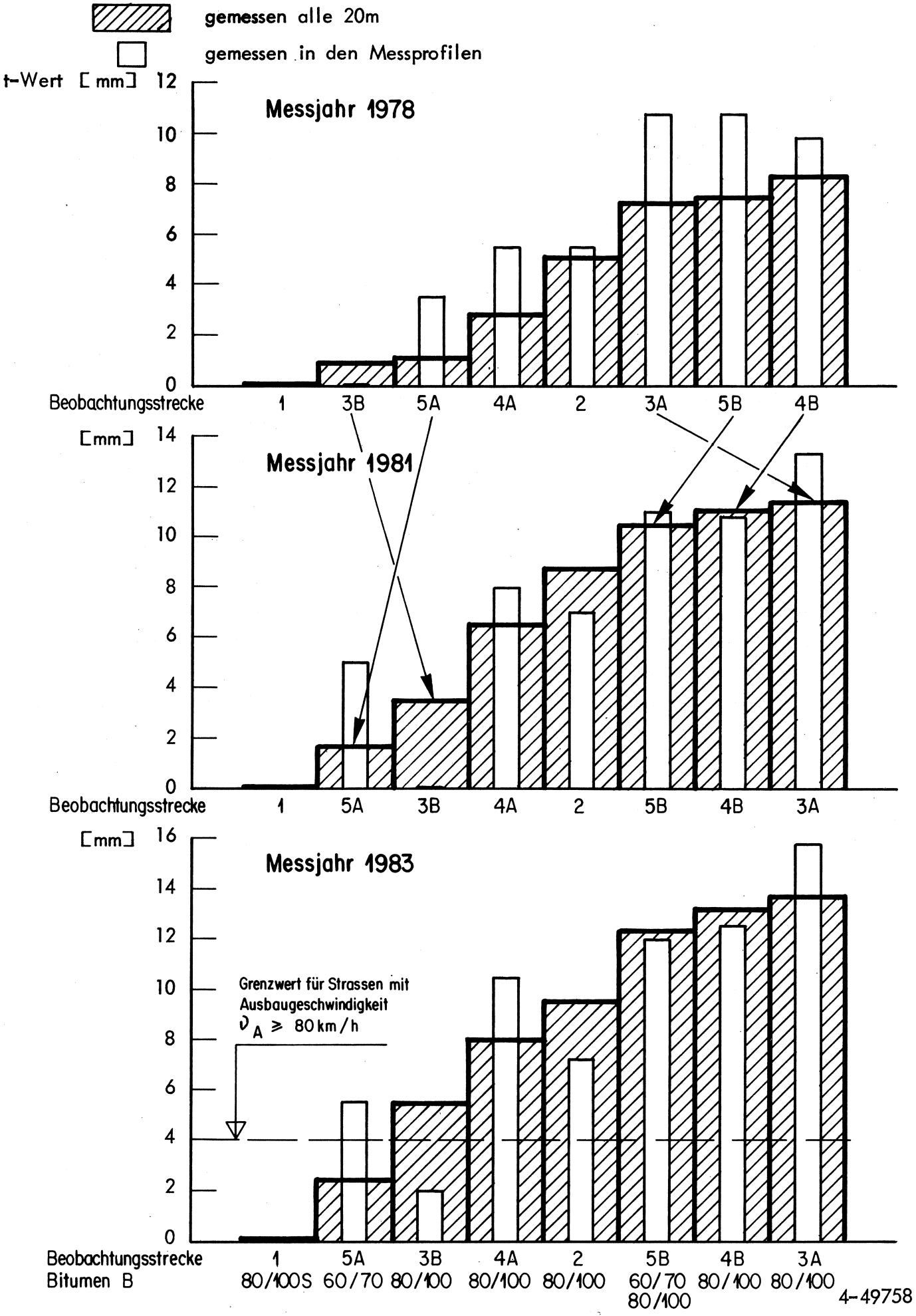
Der jeweils grössere Mittelwert der linken oder der rechten Radspur, gemessen alle 20m, ist berücksichtigt.




Verlauf der t - Werte
Der jeweils grössere Mittelwert der linken oder der rechten Radspur, bestimmt in den Messprofilen, ist berücksichtigt.
t - Wert
[mm]
16
14
12
10
8
6
4
2
0
3A
4B
5B
4A
2
5A
3B
1
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983

4 - 49755

## Ebenheit im Querprofil, mittlere t-Werte



Stand der Spurrinnenbildung im Jahr 1983

Die Ausmasse der Gesamtdeformationen werden durch die T-Werte aufgezeigt. Aufgrund der grossen Anzahl T-Werte, gemessen alle 20 m, sind die entsprechenden Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsstrecken als repräsentativ zu beurteilen. Anhaltspunkte über die Art der bleibenden Deformationen geben die in den Radspurbereichen der einzelnen Messprofile bestimmten Vertiefungen und Erhöhungen gegenüber den Nullmessungen im Jahr 1972.

Die deutlich geringste Spurrinnenbildung und praktisch keine seitlichen Aufwölbungen (Erhöhungen) weist die mit geblasenem Bitumen 80/100 S ausgeführte Beobachtungsstrecke 1 auf.

Deutliche Spurrinnen, aber geringe seitliche Aufwölbungen haben sich in der Beobachtungsstrecke 5A ausgebildet.

Beträchtliche Spurrinnen weisen alle übrigen Beobachtungsstrecken auf. Mit Ausnahme in der Strecke 3B sind in allen Beobachtungsstrecken auch recht beträchtliche seitliche Aufwölbungen aufgetreten. Die insgesamt grössten Deformationen weisen die Beobachtungsstrecken 3A und 4B auf, wobei in der Teilstrecke 4B die grössten seitlichen Aufwölbungen gemessen wurden.

Vergleich mit der Norm 640'521a, Ebenheit

Anforderungen an die Ebenheit im Querprofil sind in der Schweizer Norm SN 640'521a gestellt als

- Abnahmewert an den T-Wert,
- Grenzwert an den t-Wert, bei dessen Ueberschreiten bauliche Massnahmen zu treffen sind.

Der Grenzwert t für die Muldentiefe gegenüber dem Horizont, theoretische Wassertiefe, beträgt für Strassen, wie die HLS Bülach - Kloten, mit Ausbaugeschwindigkeiten $v_A \geq 80$ km/h 4 mm.

Unterhalb des Grenzwertes t von 4 mm liegen im Jahr 1983, wie die Tabelle auf Seite 98 und die grafische Darstellung auf Seite 101 zeigen, alle Werte der Beobachtungsstrecke 1 (Mittelwert 0 mm) und der grösste Teil der Werte der Beobachtungsstrecke 5A (Mittelwert 2.4 mm). In der mit geblasenem Bitumen B 80/100 S in der Verschleiss- und Ausgleichsschicht ausgeführten Beobachtungsstrecke 1 ist dies auf die fehlende seitliche Erhöhung bei der Spurrinnenbildung zurückzuführen, mittlerer T-Wert 7.0 mm. Die eher geringen seitlichen Erhöhungen haben sich in der mit Bitumen B 60/70 in der Verschleiss- und Ausgleichsschicht ausgeführten Beobachtungsstrecke 5A, bei einem mittleren T-Wert von 10.1 mm, entsprechend günstig auf die t-Werte ausgewirkt.

Alle übrigen Beobachtungsstrecken weisen im Jahr 1983 t-Werte auf, die zum grössten Teil den Grenzwert übersteigen. Für die Beobachtungsstrecken 3B, 4A und 2 liegen die Mittelwerte mit 5.5, 8.0 und 9.5 mm deutlich über dem Grenzwert. Beträchtlich grösser als 4 mm sind mit 12.3, 13.2 und 13.7 mm die mittleren t-Werte der Beobachtungsstrecken 5B, 4B und 3A.

## 2. Ebenheit im Längsprofil

Anforderungen an die Ebenheit im Längsprofil, gemessen mit dem Winkelmessgerät des ISETH, sind in der Norm 640'521a formuliert. Als Grenzwert, der nicht überschritten werden darf, ist für Strassen mit Ausbaugeschwindigkeiten ≥ 80 km/h der $s_W$-Wert mit 5.5 ‰ gegeben.

Die Ebenheit im Längsprofil, gemessen jeweils in der rechten Radspur, ist für alle Beobachtungsstrecken im Normalfahr- und Ueberholstreifen gut. Praktisch alle $s_W$-Werte liegen 1983 auch noch nach elf Betriebsjahren unter dem Abnahmewert von 1.8‰.

### Ueberholstreifen

Die Ebenheit auf dem Ueberholstreifen blieb über die gesamte Beobachtungsdauer praktisch unverändert. Die $s_W$-Werte der einzelnen Strecken weisen geringe Differenzen auf, wobei auf der Strecke 1 mit etwa 1.53 bis 2.05‰ (1983 1.62‰) die grössten Werte gemessen wurden.

### Normalfahrstreifen

Die $s_W$-Werte der einzelnen Strecken differenzieren wenig. Im Mittel zeichnet sich eine geringe Zunahme von 1979 bis 1983 ab.

Die Unterschiede der Ebenheiten der einzelnen Strecken sind in Anbetracht der Messgenauigkeit der W-Werte gering. Die Standardabweichung von $s_W$-Werten kann mit etwa 5% des absoluten $s_W$-Wertes angegeben werden. Da beim Messen der Ebenheit nicht immer ganz genau in derselben Spur gefahren werden kann, sind speziell im Normalfahrstreifen, wo starke Deformationen im Querprofil auftraten, grössere Streuungen möglich.

## 3. Griffigkeit

Anforderungen an die Griffigkeit, gemessen mit dem SRT-Pendel und mit dem Skiddometer, sind in der Norm 640'511b formuliert. Die Norm 640'511a, die seit Mai 1980 Gültigkeit hatte, ist seit Februar 1984 durch die Norm 640'511b ersetzt. Für die Beobachtungsstrecken sind die Anforderungen an die Griffigkeiten jedoch unverändert.

Der Verlauf der Griffigkeiten über die gesamte Benützungsdauer ist entsprechend dem tendenziellen Verlauf zu beurteilen. Wie die Ergebnisse der SRT-Werte über das Querprofil zeigen (vgl.Seite 58), kann sich z.B. eine geringe seitliche Verschiebung der Messstelle bei den jährlich durchgeführten Griffigkeitsmessungen mit dem SRT-Pendel und dem Skiddometer sehr stark auswirken.

### Normalfahrstreifen

Die Griffigkeitswerte der fünf Beobachtungsstrecken, gemessen mit dem SRT-Pendel, unterscheiden sich mit Ausnahme der Beobachtungsstrecke 1 seit 1981 nicht wesentlich. Der Verlauf der SRT-Werte ist seit 1976 in der Tendenz etwas zunehmend. Der Richtwert von 65, dessen Nichterreichen ein Ueberprüfen mit dem Skiddometer erforderlich macht, wird 1983 in allen Strekken unterschritten. Die gemessenen mittleren SRT-Werte betragen 1983 für die Beobachtungsstrecke 1 59.5 und für die Beobachtungsstrecken 2 bis 5 63.5 bis 64.7. Griffigkeitsmessungen mit dem Skiddometer wurden jedoch unabhängig von den Ergebnissen der SRT-Messungen bei jeder Messkampagne durchgeführt.

Die Ergebnisse der Messungen mit dem Skiddometer (normiert bei 80 km/h und blockiertem Rad) unterscheiden sich für die verschiedenen Beobachtungsstrecken nicht wesentlich. Seit 1976 sind die $\mu$-Werte in allen Strecken zunehmend. Die $\mu$-Werte betragen für die Jahre 1980 0.38 bis 0.47 und 1983 0.47 bis 0.50. Der Richtwert von 0.36 für zulässige Höchstgeschwindigkeiten $V_Z$ von mehr als 100 km/h wird seit 1978 nicht mehr unterschritten.

Ueberholstreifen

Auf dem Ueberholstreifen wurden Griffigkeiten nur mit dem Skiddometer gemessen, da diese jeweils unter Verkehr durchgeführt werden konnten.

Nach Zunahmen der Griffigkeiten bis zum Jahr 1980 wurden bei den letzten Messungen im Jahr 1983 in allen Beobachtungsstrecken leichte Abnahmen festgestellt. Mit $\mu$-Werten zwischen 0.59 und 0.63 im Jahr 1980 und zwischen 0.58 und 0.60 im Jahr 1983 sind die Griffigkeiten deutlich grösser als im Normalfahrstreifen. Im Ueberholstreifen wie auch im Normalfahrstreifen weisen die einzelnen Beobachtungsstrecken keine wesentlichen Unterschiede in den mit dem Skiddometer gemessenen Griffigkeiten auf.

Normalfahr-/Ueberholstreifen

Die Oberflächen der fünf Beobachtungsstrecken unterscheiden sich 1983 hinsichtlich ihrer Griffigkeiten je im Normalfahr- und im Ueberholstreifen nicht wesentlich. 1983 weisen alle Strecken in beiden Fahrstreifen genügende Griffigkeiten auf. Die Griffigkeitswerte im Ueberholstreifen sind deutlich grösser als im Normalfahrstreifen.

## 4. Kornausbruch, Kornzertrümmerung

In bezug auf Kornausbrüche und Kornzertrümmerungen traten auf den verschiedenen Beobachtungsstrecken in den Jahren 1980 bis 1983 keine oder geringe Veränderungen auf.

Die Beobachtungsstrecken 2, 3 und 4 weisen im Normalfahrstreifen über die gesamte Benützungsdauer unverändert gemäss Bewertungstabelle "vereinzelte Kornausbrüche" auf. Ab 1979 sind in der Beobachtungsstrecke 1 deutliche Zunahmen und ab

1980 in der Beobachtungsstrecke 5 geringe Zunahmen von "vereinzelten" zu "leichten" Ausbrüchen aufgetreten. 1983 weist die Strecke 5 zu einem geringen Teil und die Strecke 1 zum grössten Teil einen gemäss Bewertungstabelle "leichten Kornausbruch" auf.

Die Beobachtungsstrecken 2, 3 und 4 weisen im Normalfahrstreifen über die gesamte Benützungsdauer unverändert gemäss Bewertungstabelle "leichte Kornzertrümmerungen" auf. In der Strecke 1 ab 1981 und in der Strecke 5 ab 1978 waren vor allem in den Radspurbereichen Zunahmen von "leichten" zu "mittelstarken Kornzertrümmerungen" festzustellen. 1983 weisen die Beobachtungsstrecke 1 knapp zur Hälfte und die Beobachtungsstrecke 5 zum grössten Teil gemäss Bewertungstabelle "mittelstarke Kornzertrümmerungen" auf.

## 5. Oberflächenbeschaffenheit

Die Oberfläche des Normalfahrstreifens wies im Jahr 1978 in allen Beobachtungsstrecken, ungeachtet der Verschleiss-, Riss- und Deformationserscheinungen, ein gemäss Bewertungstabelle "normal geschlossenes Aussehen ohne glatte Stellen" auf. Ein Auftreten von visuell beurteilt "leicht glatten Bereichen" war in den Strecken 2, 3 und 4 ab 1979 und in der Strecke 5 ab 1981 in unterschiedlichem Mass zu verzeichnen. Die Anteile an "normal geschlossener Oberfläche ohne glatte Stellen" betragen im Jahr 1983 in der Beobachtungsstrecke 1 100% und in den Beobachtungsstrecken 2 bis 5 30 bis 80%. Die übrigen 20 bis 70% der Bereiche der Oberfläche der Strecken 2 bis 5 weisen ein "leicht glattes Aussehen" auf.

In der Oberfläche der Beobachtungsstrecke 1 trat als besonderes Vorkommnis eine starke Rissbildung auf. Seit die ersten Risse im 3. Winterhalbjahr (Ende November 1974) festgestellt wurden, ist die Rissbildung stetig und stark zunehmend. Beim

letzten Augenschein im Jahr 1983 weist die gesamte Strecke eine starke Netzrissbildung auf. Eine deutliche Zunahme an Kornausbrüchen war vor allem entlang den sehr zahlreichen breiten Risse festzustellen. Erstmals traten auch Belagsausbrüche auf.

## 6. Allgemeinzustand

Die verschiedenen Beobachtungen und Messungen der letzten drei Jahre, die sich mit Ausnahme der Ebenheit im Längsprofil und der mit dem Skiddometer gemessenen Griffigkeit nur auf den Normalfahrstreifen beziehen, wurden in den vorangehenden Abschnitten ausführlich beurteilt. Im folgenden sollen der Zustand im Frühling 1983 und das Verhalten über die gesamte Benützungsdauer (ab 1972 kurz) zusammengefasst werden.

In folgenden Eigenschaften traten bei den fünf Beobachtungsstrecken keine Unterschiede auf:

- Ebenheit im Längsprofil

  Die Ebenheit im Längsprofil ist für alle Strecken im Normalfahr- und Ueberholstreifen gut. Innerhalb der gesamten Beobachtungsdauer hat sich die Längsebenheit im Ueberholstreifen praktisch nicht und im Normalfahrstreifen wenig verändert. Im Normalfahrstreifen ergab sich eine geringe Zunahme der aus den Winkelmessungen ausgewerteten $s_W$-Werte ab 1979.

- Griffigkeit

  Alle Strecken weisen im Frühling 1983 genügende Griffigkeiten auf. Die Griffigkeitswerte auf dem Ueberholstreifen sind deutlich grösser als auf dem Normalfahrstreifen. Der Verlauf der in den letzten drei Jahren gemessenen Griffigkeitswerte ist auf dem Normalfahrstreifen zunehmend und auf dem Ueberholstreifen leicht abnehmend.

In folgenden Eigenschaften des Normalfahrstreifens traten bei den fünf Beobachtungsstrecken Unterschiede auf:

- Ebenheit im Querprofil

  Im Normalfahrstreifen aller Beobachtungsstrecken hat die Spurrinnenbildung weiter zugenommen. Nachdem sich die Zunahme der Spurrinnentiefen von 1976 - 1980 im allgemeinen verlangsamt hatte, war in verschiedenen Strecken ab 1980/81 wieder eine verstärkte Zunahme festzustellen.

  Im Frühling 1983 weist die mit geblasenem Bitumen 80/100 S ausgeführte Beobachtungsstrecke 1 die deutlich geringste Spurrinnenbildung und praktisch keine seitlichen Aufwölbungen auf. Deutliche Spurrinnen, aber geringe seitliche Aufwölbungen haben sich in der Strecke 5A ausgebildet. Beträchtliche Spurrinnen und mit Ausnahme in der Strecke 3B ebenfalls recht beträchtliche seitliche Aufwölbungen sind in allen übrigen Strecken aufgetreten. Die insgesamt grössten Deformationen weisen die Beobachtungsstrecken 3A und 4B auf, wobei in der Teilstrecke 4B die grössten seitlichen Aufwölbungen gemessen wurden.

  Der gemäss Norm 640'521a im Maximum zulässige Wert der theoretischen Wassertiefe t von 4 mm wird im Jahr 1983 von allen Werten in der Beobachtungsstrecke 1, Mittelwert 0 mm, und vom grössten Teil der Werte in der Beobachtungsstrecke 5A, Mittelwert 2.4 mm, nicht überschritten. Alle übrigen Beobachtungsstrecken weisen t-Werte auf, die zum grössten Teil den Grenzwert übersteigen. In den Beobachtungsstrecken 3B, 4A und 2 liegen die Mittelwerte mit 5.5, 8.0 und 9.5 mm deutlich über dem Grenzwert. Beträchtlich grösser als 4 mm sind mit 12.3, 13.2 und 13.7 mm die mittleren t-Werte in den Beobachtungsstrecken 5B, 4B und 3A.

- Kornausbruch, Kornzertrümmerung

1983 weisen die Beobachtungsstrecke 1 in 90% und die Beobachtungsstrecke 5 in 10% der Oberfläche des Normalfahrstreifens einen gemäss Bewertungstabelle "leichten Kornausbruch" auf. Für die übrigen Strecken sowie für die Strekke 1 bis 1978 und für die Strecke 5 bis 1979 dagegen wurden unverändert nur "vereinzelte Kornausbrüche" festgestellt.

Die Beobachtungsstrecken 2, 3 und 4 weisen im Normalfahrstreifen über die gesamte Benützungsdauer unverändert gemäss Bewertungstabelle "leichte Kornzertrümmerungen" auf. In der Strecke 1 ab 1981 und in der Strecke 5 ab 1978 waren vor allem in den Radspurbereichen Zunahmen von "leichten" zu "mittelstarken Kornzertrümmerungen" festzustellen. 1983 weisen die Beobachtungsstrecke 1 knapp zur Hälfte und die Beobachtungsstrecke 5 zum grössten Teil gemäss Bewertungstabelle "mittelstarke Kornzertrümmerungen" auf.

- Oberflächenbeschaffenheit

Die Oberflächenbeschaffenheit des Normalfahrstreifens ist in allen Beobachtungsstrecken, ungeachtet der bleibenden Deformationen sowie der Rissbildungen in der Strecke 1, als gut zu beurteilen. Im Jahr 1983 sind die Oberflächen der Strecke 1 zu 100% und diejenigen der Strecken 2 bis 5 zu 30 bis 80% gemäss Bewertungstabelle "normal geschlossen ohne glatte Stellen". Die übrigen 20 bis 70% der Oberflächen des Normalfahrstreifens der Strecken 2 bis 5 weisen ein "leicht glattes" Aussehen auf. Insgesamt haben die Oberflächen des Normalfahrstreifens aller Beobachtungsstrecken im Verlauf der Benützungsdauer ein glatteres Aussehen erhalten.

- Rissbildung

Die Rissbildung auf der mit geblasenem Bitumen 80/100 S ausgeführten Beobachtungsstrecke 1 ist stetig und stark zunehmend, seit die ersten Risse im 3. Winterhalbjahr (Ende November 1974) festgestellt wurden. 1983 weist die Strecke eine starke Netzrissbildung auf. Viele Kornausbrüche sind vor allem entlang den sehr zahlreichen, breiten Rissen festzustellen. Erstmals sind auch Belagsausbrüche aufgetreten.

# I. SCHLUSSFOLGERUNGEN

## 1. Konzept der Beobachtungsstrecken

Das angestrebte Ziel, verschiedene Strecken zu vergleichen, in denen lediglich das Bindemittel in den Belägen variiert und mit sonst gleichem Oberbau, wurde gut erreicht. Die Abweichungen in der Ausführung des Oberbaus führten innerhalb von drei Beobachtungsstrecken zu unterschiedlichem Verhalten und zur Unterteilung in je zwei Teilstrecken A und B. Wie angestrebt, lassen sich jedoch fünf Strecken bzw. Teilstrecken vergleichen, die als einzige Unterschiede verschiedene Bindemittel in der Verschleissschicht AB 16 und in der Ausgleichsschicht AB 16u aufweisen.
Unterschiedliches Verhalten dieser Strecken sind somit ausschliesslich auf unterschiedliches Verhalten der Verschleiss- und Ausgleichsschicht zurückzuführen. Weitere Einflüsse, wie beispielsweise aus der Dimensionierung, sind nicht einzubeziehen.

## 2. Mischguteigenschaften

Das Mischgut beider Schichten ist sehr ähnlich aufgebaut und unterscheidet sich lediglich im Bindemittel- und Fillergehalt. Die Ausgleichsschicht AB 16u weist im Mittel einen um etwa 0.2 Masse-% geringeren Bindemittelgehalt und einen um etwa 0.4 Masse-% geringeren Fillergehalt auf als die Verschleissschicht AB 16. Als besondere Ausführung wurde in etwa der Hälfte der Beobachtungsstrecke 5, was zur Abgrenzung in die Teilstrecke 5B führte, in der Ausgleichsschicht "Verschleissschicht-Material" eingebaut.

## 3. Eigenschaften der Verschleiss- und Ausgleichsschicht

Die Eigenschaften der eingebauten Verschleiss- und Ausgleichsschicht sind in bezug auf Hohlraumgehalt, Verdichtungsgrad und Dicke, mit Ausnahme in zwei Teilstrecken, für alle Beobachtungsstrecken im wesentlichen gleich und für bei-

de Schichten auch sehr ähnlich. Für die Verschleiss- bzw. die Ausgleichsschicht beträgt der mittlere Hohlraumgehalt 2.8 bzw. 3.6 vol-% und der mittlere Verdichtungsgrad 99.0 bzw. 98.7%. Die Solldicke von 40 mm wurde in beiden Schichten gut eingehalten, mit Ausnahme in der Ausgleichsschicht der Teilstrecken 3B und 4A mit deutlich geringeren Werten.

## 4. In-situ-Verhalten der Beobachtungsstrecken

In den verschiedenen Beobachtungsstrecken, die von 1972 bis 1983 während insgesamt 11 Jahren unter Verkehr standen, sind Unterschiede festzustellen in bezug auf

- Ebenheit im Querprofil; bleibende Deformationen, Spurrinnenbildung,
- Oberflächenbeschaffenheit; Rissbildung,
- Kornausbrüche, Kornzertrümmerungen.

Keine Unterschiede sind festzustellen in bezug auf

- Ebenheit im Längsprofil,
- Griffigkeit.

Zum unterschiedlichen in-situ-Verhalten sind die wesentlichen Erkenntnisse in den Kapiteln 5 bis 7 aufgeführt.

## 5. Bleibende Deformationen im Querprofil

- Bei den verschiedenen Beobachtungsstrecken bzw. Teilstrekken lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Deformationsverhalten der Beläge im Querprofil, Spurrinnenbildung - charakterisiert durch T-Werte - und der Bindemittelviskosität im oberen Gebrauchsbereich der Temperatur - Erweichungspunkt RuK, dynamische Viskosität bei 60°C - feststellen. Die mit geblasenem Bitumen 80/100 S ausgeführte Beobachtungsstrecke 1, bei dem es sich gemäss Norm um kein Strassenbaubitumen handelt, weist die deutlich geringsten Spurrinnenbildungen auf. Seit dem dritten Betriebswinter ist jedoch eine Rissbildung festzustellen, die seither stark zunehmend ist.Der mit Bitumen 60/70 ausgeführte Belag in der Beobachtungsstrecke 5A verhält sich bei der herr-

schenden hohen Beanspruchung gegenüber Spurrinnenbildungen günstiger als die mit Bitumen 80/100 ausgeführten Beläge der Beobachtungsstrecken 2, 3A, 3B, 4A und 4B.

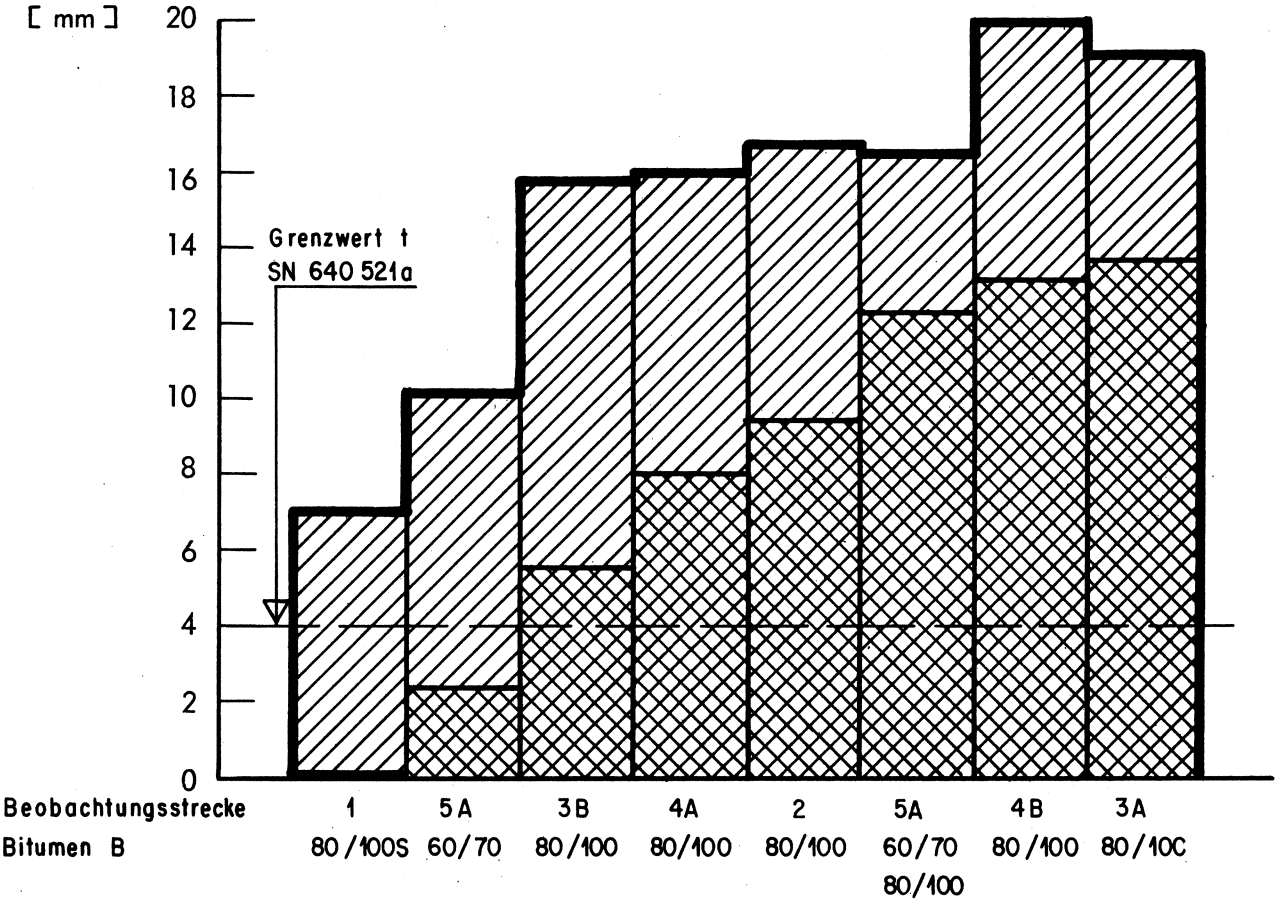
- Bleibende Deformationen im Querprofil, Spurrinnenbildungen, werden durch die in der Schweizer Norm SN 640'520a festgelegten T- und t-Werte unterschiedlich charakterisiert. Für das Ergreifen von Sanierungsmassnahmen sind in der SN 640'521a t-Werte festgelegt.

  T-Werte, als Muldentiefen gegenüber einer 4-m-Latte, geben die maximale Gesamtdeformation an. Theoretische Wassertiefen t, als Muldentiefen gegenüber dem Horizont, ergeben, durch die Geometrie der Strasse beeinflusst - Quergefälle -, praktisch immer kleinere Werte. In den verschiedenen Beobachtungsstrecken wurden nach 11 Betriebsjahren mittlere t-Werte von 0 bis 13.7 mm gemessen. Gegenüber den mittleren T-Werten weisen diese mittleren t-Werte um 4.2 bis 10.3 mm kleinere Beträge auf, vgl. graphische Darstellung auf Seite 115.

## Ebenheit im Querprofil, Messjahr 1983

Mittelwerte : T - Wert, Mass für die Gesamtdeformation der Beläge

t - Wert, Grenzwert für das Ergreifen von Sanierungsmassnahmen festgelegt




## Charakterisierung der löslichen Bindemittelanteile, Eigenschaften nach 6 Betriebsjahren (aus FA 30/77)

| Beobachtungs-strecke | | | 1 | 5A, 5B (VS) | 2, 3, 4, 5B (AS) |
|---|---|---|---|---|---|
| Bitumen B | | | 80/100 S | 60/70 | 80/100 |
| Mittelwerte bestimmt in<br>- Verschleissschicht VS<br>- Ausgleichsschicht AS | | | | | |
| Penetration bei 25°C | | $10^{-1}$ mm | 44..46 | 39..44 | 48..66 |
| Erweichungspunkt RuK | | °C | 71.4..72.8 | 57.3..58.6 | 50.9..54.7 |
| Penetrationsindex | | | +2.9..+3.0 | +0.1..+0.3 | -0.4..-0.2 |
| dynamische Viskosität | 60°C | Pa•s | - | 950..1190 | 270..580 |
| | 130°C | Pa•s | 2.14..1.50 | 0.86..1.30 | 0.60..0.92 |
| Brechpunkt nach Fraass | | °C | -22 | -16..-14 | -19..-10 |
| Duktilität bei 25°C | | mm | 48..50 | 1'260..>1'500 | >1'500 |
| Dichte | | g/cm³ | 1.014..1.015 | 1.027..1.028 | 1.024..1.027 |

- Der Einfluss der Bindemittelhärte kann jedoch durch andere Faktoren stark beeinflusst oder sogar überdeckt werden. So sind in der Beobachtungsstrecke 5B mit Bitumen 60/70 in der Verschleissschicht und Verschleissschicht-Material mit Bitumen 80/100 in der Ausgleichsschicht bleibende Deformationen in der Grössenordnung der meisten Beobachtungsstrekken mit Bitumen 80/100 in beiden Schichten aufgetreten. Deutlich geringere bleibende Deformationen haben sich, gegenüber den Teilstrecken 3A und 4B, in den Teilstrecken 3B und 4A dank der geringeren Dicke der Ausgleichsschicht ausgebildet.

- Marshall-Versuche eignen sich zum Abgrenzen von wenig deformationsanfälligen, verformungsfesten Mischungen zu deformationsanfälligen, instabilen Mischungen für hohe Beanspruchungen. Dabei geben bezüglich heute gültiger Norm 640'431 - die Beobachtungsstrecken müssen heute bezüglich s-Schichten beurteilt werden - geringere Hohlraumgehalte HM, höhere Fliesswerte FM und geringere Verhältnisse SM/FM Hinweise auf deformationsanfällige, instabile Mischungen. Starke bleibende Deformationen sind in denjenigen Schichten immer aufgetreten, wo die Anforderungen an alle vier Marshall-Kenngrössen (HM, SM, FM, SM/FM) sowie an drei Marshall-Kenngrössen (HM, SM, SM/FM oder SM, FM, SM/FM, wobei FM bzw. SM nur knapp entspricht) nicht erfüllt sind.

- An Bohrkernen aus Verschleiss- und Ausgleichsschichten mit starken bleibenden Deformationen wurden folgende Kriechdehnungen nach einer Stunde festgestellt (da die Kriechdehnungen über die Belastungszeit für alle Versuche ähnlich verlaufen, werden im folgenden die Endwerte nach einer Stunde verglichen).

| stark bleibend deformierte Schichten | | Verschleiss-schicht | Ausgleichs-schicht |
|---|---|---|---|
| Kriechdehnung nach 1 h, $\varepsilon_{60'}$: | | | |
| - Mittelwerte der Beobachtungsstrecken | ‰ | 8.15 - 11.76 | 7.83 - 11.28 |
| - In jedem Profil ein Einzelwert mit mindestens (minimales Einzelwert-Maximum) | ‰ | 9.56 | 8.41 |

Schichten mit Ergebnissen im Kriechversuch in der hier aufgeführten Grössenordnung müssen jedoch nicht unbedingt zu stark bleibenden Deformationen führen. Die Ausgleichsschicht in der Beobachtungsstrecke 5A, ausgeführt mit Bitumen 60/70, weist z.B. eine mittlere Kriechdehnung nach einer Stunde von 9.41‰ auf, und es resultierten lediglich geringe bleibende Deformationen.

Zur Charakterisierung mechanischer Eigenschaften von eingebauten Schichten stellen Kriechversuche geeignete Ergänzungen dar. Diese Ergebnisse sind vor allem informativ, wenn, wie vorliegend, die Mischguteigenschaften - Bindemittelgehalt, Korngrössenverteilung der Mineralstoffe, Bindemitteleigenschaften, Ergebnisse im Marshall-Versuch - und weitere Eigenschaften der eingebauten Schichten - Dicke, Hohlraumgehalt, Verdichtungsgrad - bekannt sind.

Die vorliegenden Untersuchungen tragen dazu bei, im Vergleich zum in-situ-Verhalten Anforderungswerte an die Ergebnisse im Kriechversuch zu erarbeiten.

## 6. Oberflächenbeschaffenheit; Rissbildung

Als Ursache der Rissbildungen in der Beobachtungsstrecke 1 ist das geblasene Bitumen B 80/100 S zu beurteilen. Bei diesem Bitumen handelt es sich gemäss heute gültiger Schweizer Norm SN 671'110c um kein Strassenbaubitumen. Vom Bitumen im Anlieferungszustand nicht erfüllt sind die Anforderungen an die Duktilität bei 25°C von mindestens 1000 mm mit 120 mm, an den Erweichungspunkt RuK von 44 bis 54°C mit 58.0°C, an den Penetrationsindex von -1 bis +1 mit +1.8 sowie an die dynamischen Viskositäten bei 60°C von 120 bis 360 Pa•s mit 1'050 Pa•s und bei 130°C von 0.25 bis 0.8 Pa•s mit 1.05 Pa•s.

7. Kornausbrüche, Kornzertrümmerungen

- In den zwei mit härteren Bitumen ausgeführten Beoabachtungsstrecken 1 - geblasenes Bitumen B 80/100 S - und 5 - in beiden Teilstrecken A und B Bitumen B 60/70 in der Verschleissschicht - sind gegenüber den Strecken 2, 3 und 4 mit Bitumen B 80/100 leicht erhöhte Kornausbrüche und Kornzertrümmerungen aufgetreten.

Bezüglich Ebenheit im Längsprofil und Griffigkeit sind, wie bereits ausgeführt, keine Unterschiede in den verschiedenen Beobachtungsstrecken festzustellen. Schlussfolgerungen dazu sind in den Kapiteln 8 und 9 enthalten.

8. Ebenheit im Längsprofil

- Nach dem Einbau im Jahr 1972 wurden in allen Beobachtungsstrecken, sowohl im Normalfahr- als auch im Ueberholstreifen, ähnliche Ebenheiten im Längsprofil ermittelt. Die Ebenheiten im Längsprofil haben sich über die gesamte Benützungsdauer von 11 Jahren praktisch nicht verändert.
- Das Auftreten von deutlichen und in den einzelnen Beobachtungsstrecken unterschiedlich starken Spurrinnen im Normalfahrstreifen haben somit die entsprechenden Ebenheiten im Längsprofil nicht beeinflusst. Diese wurden jeweils in der rechten Radspur gemessen.

9. Griffigkeiten

- Die Oberflächen der mit Bitumen B 80/100 ausgeführten Beobachtungsstrecken 2, 3 und 4 weisen, visuell beurteilt, ein leicht glatteres Aussehen auf als die Strecken 1 und 5. Bei in allen Strecken gleichmässigen und eher niedrigen Hohlraumgehalten - Mittelwert 2.8 vol-% - sowie gleichen Mineralstoffen sind jedoch keine Unterschiede in den Griffigkeiten aufgetreten.
- Von den hier verwendeten verschiedenen Bitumen sind keine unterschiedlichen Auswirkungen auf die Griffigkeiten festzustellen.

## 10. Eigenschaften der Bindemittel bezüglich in-situ-Verhalten der Beläge

Bezüglich Bindemitteleigenschaften und in-situ-Verhalten liessen sich insgesamt nachstehend zusammengefasste Erkenntnisse gewinnen.

- Ein Zusammenhang zwischen dem Deformationsverhalten der Beläge im Querprofil, Spurrinnenbildung, und den nach sechs Betriebsjahren bestimmten Bindemittelviskositäten im oberen Gebrauchsbereich der Temperatur - Erweichungspunkt RuK, dynamische Viskositäten bei 60°C - lässt sich feststellen. Die nach sechs Jahren bestimmten Bindemittelviskositäten können in bezug auf das Deformationsverhalten für die gesamte Benützungsdauer von 11 Jahren als massgebend beurteilt werden.

- Nach sechs Betriebsjahren der Beobachtungsstrecken weisen die aufgearbeiteten löslichen Bindemittelanteile in bezug auf Penetration bei 25°C und Erweichungspunkt RuK Härten auf, die im Minimum denjenigen der Bindemittel nach der Masseänderung gemäss SN 671'752b (RTFOT) entsprechen oder härter sind.

- Als Ursache der Rissbildungen in der Beobachtungsstrecke 1 ist das geblasene Bitumen B 80/100 S zu beurteilen. Bei diesem Bitumen handelt es sich gemäss heute gültiger Schweizer Norm SN 671'110c um kein Strassenbaubitumen. Vom Bitumen in Anlieferungszustand nicht erfüllt sind die Anforderungen an die Duktilität bei 25°C von mindestens 1000 mm mit 120 mm, an den Erweichungspunkt RuK von 44 bis 54°C mit 58.0°C, an den Penetrationsindex von -1 bis +1 mit +1.8 sowie an die dynamischen Viskositäten bei 60°C von 120 bis 360 Pa•s mit 1'050 Pa•s und bei 130°C von 0.25 bis 0.8 Pa•s mit 1.05 Pa•s. Dies betrifft vor allem Kennwerte, welche die Bindemittelviskosität im oberen Gebrauchsbereich der Temperatur charakterisieren, wie Erweichungspunkt RuK und in der Folge der Penetrationsindex PI sowie die dynamische Viskosität bei 60°C.

- Vom geblasenen Bitumen B 80/100 S geben die Duktilitäten bei 25°C sowie bei 13°C und 7°C Hinweise auf die Rissempfindlichkeit des Bindemittels.
  Deutlich nicht erfüllt ist vom geblasenen Bitumen im Anlieferungszustand die Anforderung an die Duktilität bei 25°C der heute gültigen Norm SN 671'110c. Gegenüber den anderen in Beobachtungsstrecken verwendeten Bitumen B 80/100 im Anlieferungszustand resultierten mit geblasenem Bitumen bei 25°C und auch bei 7°C wesentlich kleinere Duktilitäten.
  Abnahmen der Duktilitäten bei 25°C auf rund die Hälfte der Werte im Anlieferungszustand sind beim geblasenen Bitumen nach der Masseänderung sowie bei den aufgearbeiteten löslichen Bindemittelanteilen nach sechs Betriebsjahren festzustellen. Die entsprechenden Werte der Bitumen B 80/100 der Beobachtungsstrecken 2 bis 4 weisen nach wie vor Duktilitäten bei 25°C von >1'500 mm auf.

- Die Brechpunkte nach Fraass geben beim geblasenen Bitumen B 80/100 S keine Hinweise auf die Rissempfindlichkeit des Bindemittels.
  Vom geblasenen Bitumen B 80/100 S im Anlieferungszustand wird mit dem scheinbar günstigen Brechpunkt nach Fraass von -27°C die Anforderung der heute gültigen Norm SN 671'110c von maximal -12°C deutlich erfüllt. Mit -24°C unwesentlich höher als im Anlieferungszustand liegt dieser Wert beim Bindemittel nach der Masseänderung gemäss SN 671'752 b (RTFOT). Aus nach sechs Betriebsjahren aus der bereits gerissenen Beobachtunsstrecke 1 entnommenen Ausschnitten aufgearbeitete lösliche Bindemittelanteile weisen nach wie vor sehr tiefe Brechpunkte nach Fraass von im Mittel -22°C auf. Gegenüber dem Anlieferungszustand ist eine geringfügige Zunahme des Brechpunktes nach Fraass festzustellen.

- Gegenüber dem geblasenen Bitumen B 80/100 S der Beobachtungsstrecke 1 weisen die Bitumen B 80/100 und B 60/70 der Beobachtungsstrecken 2 bis 5 deutlich höhere Brechpunkte nach Fraass auf. Sowohl beim Bindemittel im Anlieferungs-

zustand und nach der Masseänderung gemäss SN 671'752b (RFTOT) als auch bei den aufgearbeiteten löslichen Bindemittelanteilen nach sechs Betriebsjahren weisen die Brechpunkte nach Fraass der einzelnen Bitumen 2 bis 5 praktisch unveränderte Werte auf.

- In den verschiedenen Beobachtungsstrecken wurden nach sechs Betriebsjahren durchschnittlich ähnliche Bindemitteleigenschaften in der Verschleiss- und in der Ausgleichsschicht festgestellt. Die Eigenschaften der eingebauten Verschleiss- und Ausgleichsschichten sind in bezug auf Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad, in der Verschleissschicht auch in bezug auf Dicke, für alle Beobachtungsstrecken gleich. Der mittlere Hohlraumgehalt der Verschleissschicht beträgt 2.8 vol-%, derjenige der Ausgleichsschicht 3.6 vol.-%.
- Dasselbe in der Beobachtungsstrecke 3 verwendete Bitumen B 80/100 wurde in der Beobachtungsstrecke 4 mit 0.2 Masse-% Haftmittel eingebaut. Ein durch das Bindemittel verursachtes, wesentlich unterschiedliches Verhalten dieser beiden Strecken ist nicht festzustellen. In beiden Strecken sind jedoch auch keine Mängel durch zu geringes Haften des Bindemittels am Gestein, wie erhöhter Kornausbruch oder Rissbildungen, aufgetreten.

Bis zur Sanierung in Sommer 1983 konnte das Praxisverhalten der Beobachtungsstrecken insgesamt 11 Jahre erfasst werden. Daraus sind umfangreiche Erkenntnisse über den Einfluss des Bindemittels gewonnen worden, das in den Belägen - der Verschleissschicht AB 16 und der Ausgleichsschicht AB 16u - der verschiedenen Strecken variiert.

DANK

Zum Abschluss dieser Forschungsarbeit "Beobachtungsstrecken mit verschiedenen Strassenbaubitumen" ist dem Tiefbauamt des Kantons Zürich für die Unterstützung bei der Ausführung der Beobachtungsstrecken und beim Durchführen der Messungen in situ zu dieser Forschungsarbeit bestens zu danken.

---

Dübendorf, 20. Oktober 1986

Der Sachbearbeiter:

M. Seeberger

M. Seeberger

EMPA Dübendorf
Strassenbau, Abdichtungen
Der Abteilungsvorsteher:

H.W. Fritz