

Entwicklung von Verhaltensmodellen als Grundlage eines programmierten Erhaltungskonzeptes

Teil 1
Modelle für bleibende Verformungen

Entwicklung von Verhaltensmodellen als Grundlage eines programmierten Erhaltungskonzeptes

TEIL 1: Modelle für bleibende Verformungen

Jean-Daniel Zufferey, dipl. Ing. ETH
Daniel Monsch, dipl. Ing. ETH
Ivan Scazziga, dipl. Ing. ETH

Forschungsauftrag 31/84

Zwischenbericht, Mai 1989

Inhaltsverzeichnis

Seite:

Inhaltsverzeichnis	I
Tabellen und Abbildungen	III
Zusammenfassung, Résumé, Abstract	IV
1. Einleitung	1
1.1. Auftrag	1
1.2. Erläuterungen	1
1.3. Management der Strassenerhaltung	2
1.3.1. Allgemeines	3
1.3.2. Anwendung von Verhaltensmodellen auf der Netz- und der Projektebene	4
1.4. Ziel und Zweck	6
1.5. Randbedingungen	7
1.6. Abgrenzung	7
2. Vorgehen	8
2.1. Programm	8
2.2. Lösungsansätze	8
2.3. Daten	8
3. Modelle für bleibende Verformungen	10
3.1. Einführung	10
3.2. Messwerte	11
3.3. Messgeräte	11
3.3.1. Statische Messgeräte	11
3.3.2. Dynamische Messgeräte	12
3.4. Modelle	14
3.4.1. Empirische Modelle	14
3.4.2. Theoretische Modelle	14
4. Empirische Modelle	16
4.1. $T = f(N)$	16
4.1.1. Analyse mit den Daten aus den Rundlaufversuchen	16
4.1.2. Prognose und Rundlaufversuche	19
4.1.3. Prognose und Langzeitbeobachtung	21
4.1.4. Prognose für andere Beobachtungsstrecken	22
4.1.5. Schlussfolgerungen	24
4.2. $T = f(N, E, SN)$	25
4.2.1. Modell und Rundlaufversuche	25
4.2.2. Modell und Langzeitbeobachtung	25
4.2.3. Schlussfolgerungen	26

4.3. $T = f(D, \dots)$	27
4.4. HDM-III Modell (Weltbank)	29
4.5. Modelle aus Laborversuchen	30
4.6. E-Moduli	31
4.6.1. E-Moduli aus Deflektionsmessungen	31
4.6.2. E-Moduli aus verschiedenen Gleichungen	31
5. Theoretische Modelle	32
5.1. Einführung	32
5.1.1. Boussinesq: Elastischer Halbraum	32
5.1.2. Burmister: Mehrschichtensysteme	32
5.1.3. Finite Elemente	33
5.2. Probabilistische Modelle	33
5.2.1. Einführung	33
5.2.2. Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik für Verhaltensmodelle	34
5.3. Computer Programme	36
5.3.1. Einführung	36
5.3.2. VESYS	36
5.3.3. MMOPP	37
5.3.4. Vergleich	38
5.3.5. Bemerkung	38
6. Schlussfolgerungen	39
6.1. Empirische Modelle	39
6.2. Theoretische Modelle	40
6.3. Vorschlag	41
7. Literaturverzeichnis	42
8. Verzeichnis der Beilagen	46

Tabellen und Abbildungen

Seite:

Abbildung 1	: Verhaltensmodelle in "Management der Strassenerhaltung"	6
Abbildung 2	: Oberbaustrukturen der Versuchsfelder der Rundlaufanlage und der Beobachtungsstrecken	9
Abbildung 3	: Charakteristik einiger dynamischer Messgeräte	12
Abbildung 4	: Korrelation zwischen Spurtiefen T (1.2 m) und T (2 m) in mm	13
Tabelle 1	: Regressionsgeraden für Spurrinnen im Rundlauf	18
Abbildung 5	: Modelle und Prognosen	19
Abbildung 6	: Berechnete Spurrinnen mit 2 Messungen für 500'000 Ueberrollungen	20
Abbildung 7	: Berechnete Spurrinnen mit 4 Messungen für 1'000'000 Ueberrollungen	20
Abbildung 8	: Berechnete und gemessene T-Werte für Langzeitbeobachtung	21
Abbildung 9	: Berechnete und gemessene Spurrinnentiefe für Werte aus dem AASHO-Strassentest	22
Abbildung 10	: Oberbaustruktur auf der Autobahn Bülach-Kloten	23
Tabelle 2	: Berechnete und gemessene Wassertiefe t in mm auf der Autobahn Bülach-Kloten	23
Abbildung 11	: Schematischer Verlauf der Deflektionswerte	28
Abbildung 12	: Vergleich VESYS - MMOPP	37

Zusammenfassung

Wie in anderen entwickelten Ländern besteht heute in der Schweiz die Situation, dass das Strassennetz in seinen wesentlichen Teilen als abgeschlossen betrachtet werden kann. Die hauptsächliche Sorge der Strassenverwaltungen besteht heute darin, die bestehende Substanz in einer genügenden Qualität zu erhalten. Um die immer knapper werdenden finanziellen Mittel optimal zu nutzen, ist ein "Management der Strassenerhaltung" unerlässlich. In einem solchen Rahmen ist eine gute Prognose über das zukünftige Verhalten des Oberbaus einer Strasse eine der grundlegenden Voraussetzungen, um bestimmte Sanierungsmassnahmen im optimalen Zeitpunkt anzuordnen.

Das Bundesamt für Strassenbau hat im Frühling 1987 dem Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT der ETH-Zürich den Auftrag erteilt, geeignete Strassenverhaltensmodelle für schweizerische Verhältnisse zu entwickeln.

Der erste Teil des Berichts "Entwicklung von Verhaltensmodellen als Grundlage eines programmierten Erhaltungskonzeptes" befasst sich mit einem der wichtigsten Probleme für Strassen mit bituminösen Belägen, der Analyse von Verhaltensmodellen für bleibende Verformungen (Spurrinnenbildung). Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine Zusammenstellung von im Ausland entwickelten Verhaltensmodellen für die Spurrinnenbildung und die Ueberprüfung ihrer Gültigkeit für schweizerische Verhältnisse.

Um dieses Ziel zu erreichen, mussten zuerst die vorhandenen Erfahrungswerte, d.h. die Daten aus Forschungsarbeiten auf der Rundlaufanlage der ETHZ in Dübendorf und aus verschiedenen Beobachtungsstrecken, auf einer Datenbank angelegt werden. Gleichzeitig wurde in der Literatur nach Verhaltensmodellen recherchiert und deren Uebereinstimmung mit den in der Schweiz üblichen Messwerten und Parametern kontrolliert.

Die erste Kontrolle der Modelle erfolgte mit den Daten aus den Rundlaufversuchen, weil dabei sehr viele Messdaten über die verwendeten Baumaterialien und die vorhandenen Verformungen erfasst worden waren. Erst dann wurden die übriggebliebenen Verhaltensmodelle anhand der Erfahrungswerte aus den Langzeitbeobachtungen überprüft.

Die in Rahmen dieses Forschungsauftrages gewonnenen Erkenntnisse sind am Schluss dieses Berichtes im Kapitel 6 "Schlussfolgerungen" aufgeführt.

Résumé

En Suisse comme dans d'autres pays développés, la construction du réseau routier est aujourd'hui presque terminée. Le plus grand souci des administrations responsables de l'entretien des routes est de préserver la qualité actuelle de la substance routière. Afin d'utiliser au mieux les moyens financiers de plus en plus limités, un "système de gestion des chaussées" est devenu indispensable. Dans cette optique, il est important de disposer d'un instrument permettant de bonnes prévisions du comportement de la superstructure dans le but d'optimiser le moment d'utilisation des mesures d'entretien.

Au printemps 1987, l'Office fédéral des routes a chargé l'Institut de planification, de techniques des transports et construction de routes et de chemins de fer, IVT de l'EPF-Zurich de développer des modèles de comportement des chaussées adaptés à la situation Suisse.

La première partie du rapport "Développement de modèles de comportement comme base d'un concept de gestion informatisé" étudie un des problèmes les plus importants pour les chaussées à revêtements hydrocarbonés, l'analyse des modèles de comportement pour les déformations permanentes (orniérage). Le but de ce travail est de rassembler des modèles de comportement existant déjà à l'étranger et de contrôler leur validité pour la Suisse.

A cet effet, les valeurs disponibles provenant de divers travaux de recherche sur le manège de l'EPFZ à Dubendorf ainsi que de plusieurs tronçons d'observation ont été mises dans une banque de données. On a également recherché des modèles de comportement dans la littérature et on a contrôlé s'ils étaient compatibles avec les valeurs et paramètres utilisés en Suisse.

Les premiers tests ont été effectués avec les valeurs tirées du manège parce que de nombreuses mesures de déformation et de qualité des matériaux existaient. Les modèles restants ont ensuite été testés avec les mesures tirées des tronçons d'observation.

Les résultats de ce mandat de recherche peuvent être consultés à la fin de cet ouvrage dans le chapitre 6 "Conclusions".

Abstract

In Switzerland as well as in other developed countries, the construction of the road system is today almost completed. The main concern for the road administrations is to maintain the existing road network at a sufficient level of quality. The use of "pavement management systems" has become an absolute must in order to get the best value from decreasing funds available for pavement maintenance. For this purpose it is very important to have models that predict the future performance of the road, in order to carry out the appropriate maintenance work at the right time.

In Spring 1987, the "Swiss Federal Office of Highways" charged the Institut of planification, transportation and road and railway construction, IVT of the Swiss Federal Institute of Technology in Zurich with the developement of performance models adapted to the situation in Switzerland.

The first part of the report "Developement of performance models as base for a computerised pavement management system" studies one of the most important problems for bituminous pavements, the analysis of rutting models. The purpose of this work is to collect existing ruttings models and to test if they fit the Swiss conditions.

To reach this aim, data of research programs on the full scale test track of the IVT and those of several observed roads were stored in a databank. Distress models were also searched for in the literature and their conformity controlled with the values and parameters common in Switzerland.

The first tests were made with the data from the roundtrack because many measurements on rutting and on the quality of the roadmaterial were made there. At last the remaining distress models were tested with the values of the observed roads.

The results of these studies are listed at the end of this work in the chapter 6 "Conclusions".

1. Einleitung

1.1. Auftrag

Auf Antrag des Service des Ponts et Chaussées NE, des LAVOC und des IVT erteilte das Bundesamt für Strassenbau dem Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT der ETH-Zürich im Frühling 1987 den Auftrag, Verhaltensmodelle für die Voraussage der Zustandsentwicklung von Strassen im Rahmen eines Managements der Strassenerhaltung zu entwickeln. Dabei waren insbesondere die folgenden Bearbeitungsschritte vorgesehen:

- a) Umfassende Bearbeitung der Daten über das Verhalten von Strassen, welche in verschiedenen, abgeschlossenen und noch laufenden Forschungsarbeiten festgehalten werden.
- b) Sichtung und Auswahl von Verhaltensmodellen aus dem Ausland und deren Ueberprüfung anhand in der Schweiz gemessener Erfahrungswerte.
- c) Vorschläge von geeigneten Verhaltensmodellen für schweizerische Verhältnisse.

1.2. Erläuterungen

Wie in anderen entwickelten Staaten besteht heute in der Schweiz die Situation, dass das Strassennetz in seinen wesentlichen Teilen als abgeschlossen betrachtet werden kann. Wenn also die Beschaffung von Mitteln für den Bau neuer Strassen nicht mehr die hauptsächliche Sorge darstellt, so gilt es doch zu bedenken, dass für die Erhaltung der bestehenden Substanz in einer den heutigen Anforderungen entsprechenden Qualität weiterhin Mittel zur Verfügung stehen müssen, will man sich nicht plötzlich mit Problemen ungeahnten technischen und vor allem finanziellen Ausmasses konfrontiert sehen.

Hatte man beim Bau neuer Strassen (Problem der Dimensionierung) im wesentlichen Lösungen angestrebt, welche sich einem technisch/ökonomischen Optimum nähern, und sich dazu auf eigene sowie ausländische Erfahrungen und Forschungsergebnisse abgestützt, so müssen auch für die Erhaltung zumindest ähnliche Voraussetzungen geschaffen werden.

Die wechselseitigen Beziehungen zwischen den Methoden (bautechnischen Massnahmen) und den Kosten für die Erhaltung auf der einen Seite und der fortschreitenden Verschlechterung des Strassenzustandes auf der anderen Seite können nur aufgrund langjähriger

Beobachtungen zuverlässig ermittelt werden. Diese Ansicht ist nicht neu, hatte doch z.B. bereits 1927 das damalige U.S. Bureau of Public Roads (heute: Federal Highway Administration) die Empfehlung abgegeben: "Each state keep comprehensive records", was allerdings dann nicht in gewünschtem Masse erfolgte.

Das Prinzip der Langzeitbeobachtung wurde auch in der Schweiz aufgegriffen; allerdings waren die praktischen Möglichkeiten (vorhandene Strukturen, finanzielle Mittel) so bemessen, dass nur eine winzige Stichprobe mit ungenügender statistischer Relevanz in einem solchen Programm erfasst worden war. Immerhin waren auch die bisherigen Ergebnisse aus dieser noch weiterlaufenden Arbeit ein erster Schritt.

Diese schmale Basis gut belegbarer Erfahrungswerte war für die Entwicklung von Verhaltensmodellen (darunter werden rechnerische Methoden verstanden, die es gestatten, aufgrund wählbarer Einflussparameter die Entwicklung des Zustandes einer bestehenden Strasse mit ausreichender Genauigkeit im Voraus zu bestimmen) absolut ungenügend und musste deshalb mit zusätzlichen Untersuchungen ergänzt werden. In erster Linie kamen dabei zwei verschiedene Arbeiten in Frage:

- Die Auswahl aus bestehenden Strukturmodellen (im Ausland entwickelt) und deren Ueberprüfung anhand von gemessenen Erfahrungswerten in der Schweiz.
- Die weitere, umfassende Bearbeitung aller Daten über das Verhalten von Strassen, wie sie in verschiedenen, abgeschlossenen und noch laufenden Forschungsarbeiten festgehalten werden. In erster Linie wird dabei einerseits an das Forschungsprogramm für die Langzeitbeobachtung und andererseits an die Ergebnisse der Grossversuche bei den Eidgenössischen Technischen Hochschulen gedacht (Rundlauf ETHZ, Halle Fosse EPFL).

Durch ein solches Vorgehen war die zeitraubende und kostenintensive Phase der eigentlichen Grundlagenforschung überbrückt (Uebernahme von bereits entwickelten Strukturmodellen) und die Mittel konnten auf die gezielte Anpassung an die Bedingungen in der Schweiz konzentriert werden.

1.3. Management der Strassenerhaltung

Auch wenn es in diesem Bericht nicht darum geht, eine Abhandlung über das Management der Strassenerhaltung an sich zu verfassen, seien im folgenden einige Grundgedanken darüber angeführt, die dem Leser eine Vorstellung des Gesamtsystems geben, in welchem die im Bericht detailliert beschriebenen Verhaltensmodelle zur Anwendung gelangen sollen.

1.3.1. Allgemeines

Der Begriff des "Managements der Strassenerhaltung", in der angelsächsischen Literatur als PMS oder "Pavement Management Systems" bezeichnet, auf französisch "Systèmes de gestion des chaussées", ist gegen Ende der sechziger Jahre in wissenschaftlich-technischen Publikationen aufgetaucht, um das ganze Spektrum von Tätigkeiten zu beschreiben, die in Zusammenhang mit dem Bau und der Erhaltung der Strassen stehen. Heute wenden bereits verschiedene Strassenverwaltungen in vielen Ländern, zumindest in einem gewissen Umfang, irgendeine systematische und objektive Methode an, um den Zustand der Strassen zu bestimmen und die Erhaltungsmassnahmen aufgrund des beobachteten Zustandes und der wirtschaftlichen Möglichkeiten zu planen.

Dennoch gibt es bisher noch keine universell anerkannte Definition des Begriffes "Management der Strassenerhaltung". Im kürzlich erschienenen Bericht einer Arbeitsgruppe der OECD [31] wird das Management der Strassenerhaltung als ein Verfahren bezeichnet, das in der Koordination und Kontrolle sämtlicher Tätigkeiten für die Erhaltung der Strassen besteht, wobei die verfügbaren Mittel in der bestmöglichen Art verwendet werden, so dass der Nutzen für die Allgemeinheit maximiert wird. Die Erhaltungstätigkeiten und verschiedenen Systembestandteile werden nach diesem Bericht, wie überhaupt in der entsprechenden Fachliteratur, generell entsprechend zwei Verwaltungsebenen charakterisiert, der sog. Netzebene und der Projektebene.

Die Analyse auf der Netzebene ist das wichtigste Element des Managements der Strassenerhaltung, vor allem für Entscheidungsträger und Budgetverantwortliche interessant und umfasst:

- die Identifikation und die Klassierung der zu verbessernden Strassen,
- die Finanzierung auf der Ebene des ganzen Strassennetzes,
- langfristige Budgetprognosen,
- die Zustandserfassung aller Strassen im Netz,
- die Prognose der weiteren Entwicklung.

Die Analyse auf der Projektebene ist vor allem für den Techniker interessant und betrifft:

- die Beurteilung der Schadenursachen,
- die Festlegung möglicher Lösungen,
- die Beurteilung der Kosten aller Varianten mit Hilfe einer Gesamtkostenbilanz über die ganze Gebrauchsdauer der Strasse und schliesslich
- die Wahl und das Konzept der vorzuschlagenden Lösung.

Die Entwicklung verschiedener Methoden für das Management der Strassenerhaltung ist in den letzten 20 Jahren vor allem durch folgende Faktoren beeinflusst worden:

- die fortschreitende Alterung der Strassennetze in den Industrienationen und folglich die Verlagerung der Akzente auf die Erhaltung der bestehenden Netze,
- zunehmende finanzielle Engpässe mit dem Anwachsen des Erhaltungsbedarfs,
- Kenntnisse über den direkten Zusammenhang zwischen dem Strassenzustand und den Strassennutzerkosten,
- die Berücksichtigung sozialer und umweltbezogener Faktoren in Zusammenhang mit dem Strassentransport und den Belageigenschaften,
- die technologische Entwicklung im Strassenbau,
- die Energiekrise und die Verknappung von Strassenbaumaterialien,
- Verbesserungen in den Möglichkeiten der Zustandserfassung durch die Entwicklung spezieller, leistungsfähiger Messgeräte,
- die Verfügbarkeit von Computer und Informationssystemen (Strassendatenbanken),
- die allgemeine Zunahme und die Berücksichtigung von Managementmethoden.

1.3.2. Anwendung von Verhaltensmodellen auf der Netz- und der Projektebene

Die Planung der Erhaltungsmassnahmen an Strassen wird also allgemein auf zwei verschiedenen Ebenen bearbeitet, der Netzebene auf der einen Seite und der Projektebene auf der anderen Seite. Obwohl bei beiden Ebenen im Prinzip das gleiche Ziel verfolgt wird, unterscheiden sie sich doch bezüglich des Detailgrades der verarbeiteten Information und des Ergebnisses.

Auf der **Netzebene** geht es darum, einen möglichst umfassenden Ueberblick über den Zustand aller Strassen in einem gegebenen Netz zu erhalten. Aus einer solchen übersichtlichen Darstellung (die Ergebnisse der Zustandserfassung werden dabei sinnvollerweise in die Strassendatenbank eingespeichert) lässt sich zunächst ableiten, welche Netzanteile einen ungenügenden Zustand aufweisen und demzufolge entsprechende bauliche Massnahmen erfordern. Es wird also eine Liste derjenigen Strecken erstellt, die vorher festgelegten Qualitätskriterien nicht genügen. Diese Liste kann dabei selber eine Rangordnung enthalten, bei welcher auch noch andere Kriterien als der reine Oberflächenzustand, z.B. Verkehrsbelastung, beziehungsweise Gewichtung der sicherheitsbezogenen Aspekte u. a. berücksichtigt werden können.

Aufgrund bestehender Erhaltungsstrategien, d.h. der Festlegung von baulichen Massnahmen, die bei verschiedenen Strassengruppen (je

nach Aufbau, Netzfunktion, Verkehrsbelastung usw.) bei bestimmten Zustandswerten durchgeführt werden müssen, lässt sich dann - bei bekannten Einheitspreisen für die verschiedenen Massnahmen - der Umfang der Mittel eruieren, die erforderlich sind, um die ungenügenden Strecken zu sanieren.

In einem weiteren Bearbeitungsschritt kann dann noch eine Optimierung der Kosten nicht nur bezüglich der momentanen Ausgabensumme, sondern auch bezüglich der Langzeitwirkung der vorgesehenen Massnahmen getätigt werden. Dabei werden die **Verhaltensmodelle** angewendet, welche unter Berücksichtigung der Verkehrsbelastung und weiterer Parameter die künftige Zustandsentwicklung voraussagen lassen. Werden dabei auch diejenigen Streckenabschnitte in die Berechnung miteinbezogen, die jetzt noch nicht, aber später Massnahmen erfordern, so kann eine eigentliche Mehrjahresplanung vorgenommen werden.

Es ist offenkundig, dass die Zuverlässigkeit einer Analyse auf der Netzebene, welche sich wie erwähnt auf die mittleren Zustandswerte pro Abschnitt stützt, nicht so weit gehen kann, dass eine Detailplanung der Massnahmen möglich ist. Dazu bedarf es eingehender Analysen, die im Rahmen der Arbeiten auf der Projektebene für diejenigen Abschnitte in einem Netz erfolgen, welche aufgrund ihres Zustandes Massnahmen als nötig erscheinen lassen oder zumindest eine eingehendere Untersuchung erfordern.

Hier geht es zunächst einmal darum, aus der netzweiten Zustandserfassung sämtliche Detailangaben (die entsprechenden Werte sollten nach Möglichkeit ebenfalls aus der Strassendatenbank abrufbar sein, sonst ist auf die Messberichte zurückzugreifen) zu analysieren, um eine allfällige Unterteilung der Abschnitte vorzunehmen und um die Schadenursachen zu ermitteln. Wo dies anhand der vorliegenden Informationen nicht möglich ist, sind ergänzende Untersuchungen anzuordnen, die von einer eingehenden Feldbegehung, über zusätzliche Messungen an der Oberfläche bis hin zu Materialentnahmen für die Laboruntersuchung und Feldversuchen an tiefer liegenden Schichten eine breite Auswahl von Möglichkeiten umfassen.

Ist die Schadenursache bekannt, dann können die entsprechenden möglichen Massnahmen festgelegt und deren Kosten ermittelt werden. Auch hier können wiederum die oben erwähnten **Verhaltensmodelle** zur Anwendung kommen, um bei der Detailprojektbearbeitung ebenfalls eine Optimierung unter Berücksichtigung des prognostizierten Verhaltens vorzunehmen und um schliesslich das detaillierte Budget vorzubereiten.

1.4. Ziel und Zweck

Wie im voranstehenden Abschnitt erläutert ist eine genügend genaue Prognose über das weitere Verhalten des Oberbaus eine der grundlegenden Voraussetzungen, um im Rahmen eines "Managements der Strassenerhaltung" an jeder Strasse bestimmte Massnahmen im optimalen Zeitpunkt durchzuführen zu können. Verhaltensmodelle haben also zum Zweck, elementare Planungsgrundlagen für das Management der Strassenerhaltung zu liefern.

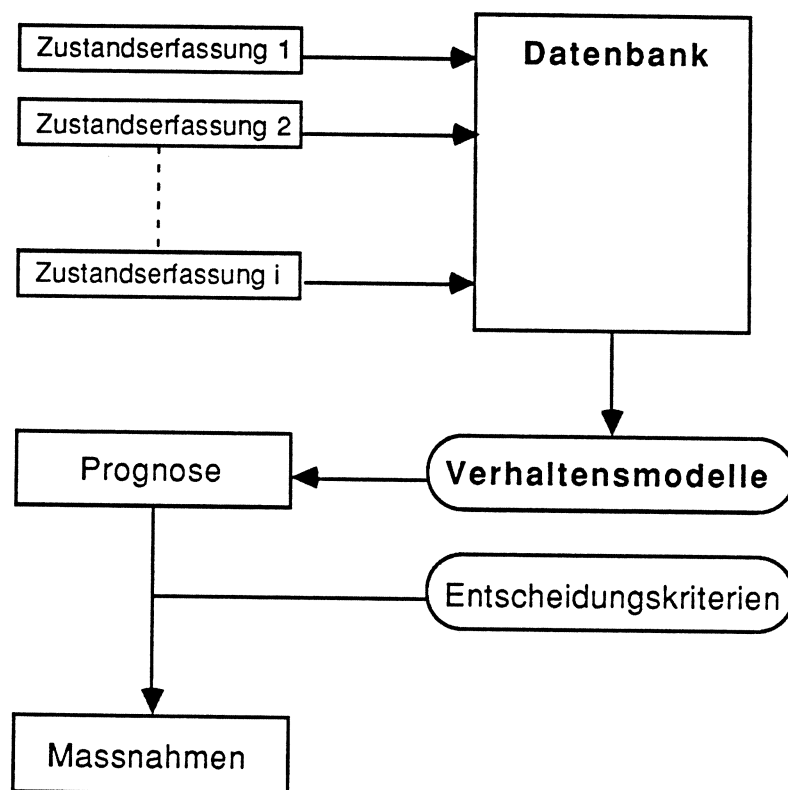


Abbildung 1: Verhaltensmodelle in "Management der Strassenerhaltung"

Das Ziel des Forschungsauftrages ist eine Zusammenstellung von Verhaltensmodellen über die Weiterentwicklung der Ebenheit im Querprofil (Spurrinnenbildung), der Längsebenheit, der Griffigkeit und der Risse. Neben einer genügenden Genauigkeit sollten sich diese Verhaltensmodelle aber vor allem durch eine gute Zuverlässigkeit auszeichnen. Sie sollten also für verschiedene Oberbaustrukturen gute Prognosen erlauben.

1.5. Randbedingungen

Damit die Verhaltensmodelle möglichst vielerorts angewendet werden können, werden, im Hinblick auf deren praktische Anwendung, einige Randbedingungen gesetzt:

- a) Es darf nicht vorausgesetzt werden, dass an den bestehenden Strassen bis anhin bereits Messungen durchgeführt worden sind.
- b) Die Verhaltensmodelle sollten vor allem auf den in den VSS-Normen bezeichneten Messgrössen aufbauen, die mit vorhandenen Geräten erfasst werden können.
- c) Es wird angenommen, dass die bestehenden Strassen gemäss den VSS-Normen, welche mit der Methode aus dem AASHO-Test weitgehend im Einklang stehen, dimensioniert worden sind und somit die aus den AASHO-Test abgeleiteten Beziehungen und Kenngrössen prinzipiell anwendbar sind. Dies betrifft vor allem den Befahrbarkeitsindex p .

1.6. Abgrenzung

Dieser erste Bericht über die Entwicklung von Verhaltensmodellen als Grundlage eines programmierten Erhaltungskonzeptes befasst sich ausschliesslich mit dem Problem der bleibenden Verformung bei Strassen mit bituminösen Belägen. Die Entwicklung anderer Verhaltensmodelle (Längsebenheit, Risse und Griffigkeit) ist später folgenden Arbeiten vorbehalten.

Viele Autoren geben, neben den eigentlichen Verhaltensmodellen, Verkehrsmodelle an, um den Verkehr und seine Zusammensetzung vorauszusagen. Diese Modelle werden in dieser Arbeit nicht analysiert.

2. Vorgehen

2.1. Programm

1. Sammlung und Auswertung von Literatur zum Thema Verhaltensmodelle.
2. Sammlung von Daten über das Verhalten von Strassen aus verschiedenen, abgeschlossenen und noch laufenden Forschungsarbeiten und Anlegen einer Datenbank auf EDV.
3. Kontrolle der Uebereinstimmung der Modelle mit den in der Schweiz üblichen Messwerten und Parametern.
4. Kontrolle der Modelle mit den Daten aus den Rundlaufversuchen.
5. Test der übriggebliebenen Modelle mit den Werten aus Beobachtungsstrecken.

2.2. Lösungsansätze

Im Rahmen dieses Forschungsauftrages werden zwei grundsätzlich verschiedene Lösungsansätze durchgearbeitet, aus welchen dann die für schweizerische Verhältnisse geeignetsten Verhaltensmodelle ausgewählt werden.

1. Ansatz: Empirische Modelle
2. Ansatz: Theoretische Modelle

2.3. Daten

Die Daten über das Verhalten von Strassen aus verschiedenen, abgeschlossenen und noch laufenden Forschungsarbeiten wurden gesammelt und eine Datenbank auf Macintosh PC angelegt. Die Daten wurden aus den drei ersten Grossversuchen auf der Rundlaufanlage der ETHZ in Dübendorf [24][34][42] und aus Beobachtungsstrecken [38] [39] mit verschiedenen Oberbaustrukturen entnommen.

Eine Zusammenfassung der Oberbaustrukturen der verschiedenen Versuchsfelder und Beobachtungsstrecken ist in Abbildung 2 ersichtlich. Die Lage der Beobachtungsstrecken und andere Daten sind in den Beilagen 1 und 2 angegeben. Für weitere Angaben wird auf die betreffende Literatur verwiesen.

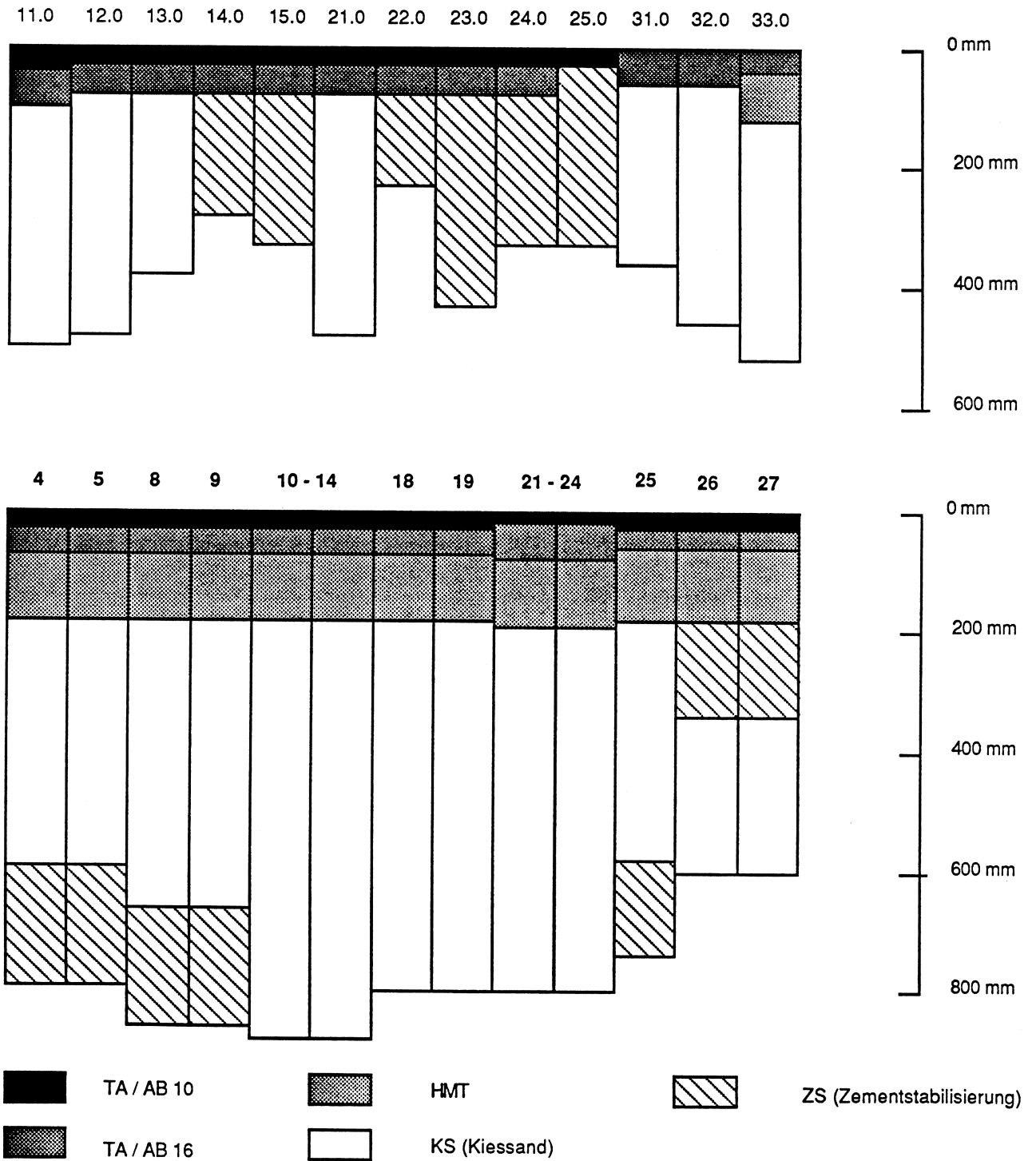


Abbildung 2: Oberbaustrukturen der Versuchsfelder der Rundlaufanlage (oben) und der Beobachtungsstrecken (unten)

3. Modelle für bleibende Verformungen

3.1. Einführung

Das Problem der bleibenden Verformungen oder Spurrinnen hat sich in der Praxis vor allem in den letzten 20 Jahren bemerkbar gemacht. Auf internationaler Ebene findet man in der Literatur eine Behandlung der Spurrinnenbildung in der OCDE Studie von 1975 und in den Berichten zur "Third International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavement" von 1972.

Die bleibende Verformung (gemessen an der "Muldentiefe") ist die Differenz zwischen der Nullmessung nach dem Einbau und den später durchgeführten Messungen. Spurrinnen sind eine besondere Art von Verformung, die sich im wesentlichen dadurch von den übrigen (Setzung, Schubverformung usw...) unterscheiden, dass sie einen kontinuierlichen, mehr oder weniger regelmässigen Verlauf, aufweisen. Zwei verschiedene Ursachen kommen dafür in Frage:

- Einerseits plastische, d.h. bleibende Verformung unter Wirkung der Verkehrsbelastung und hoher Temperatur, eventuell verstärkt durch ungenügende Tragfähigkeit des Untergrundes.



Bleibende
Verformung

- Andererseits erhöhter Abrieb in den Radspuren infolge mechanischer Abnützung des Belages durch den Verkehr.



Abrieb

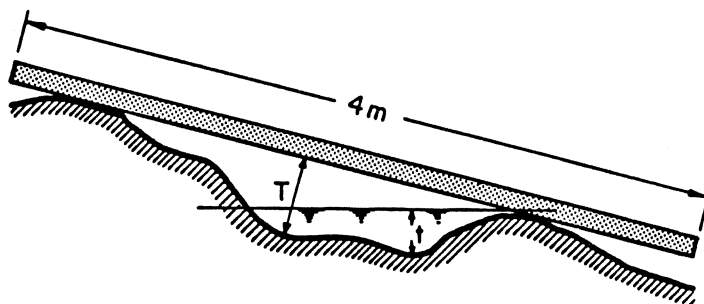
Bleibende Verformung und Spurrinnen werden hier als austauschbare Begriffe betrachtet, da in der Literatur selten ein Unterschied gemacht wird. Die im folgenden behandelten Modelle betreffen nicht die Abnützung und den Abrieb sondern nur die Spurrinnenbildung infolge plastischer Verformung.

3.2. Messwerte

Für die Prüfung der Ebenheit in Querrichtung (Spurrinnen) wird in der Schweiz das wahre Profil aufgenommen, oder es wird die Abweichung unter einer Latte gemessen. Zur Beurteilung der Ebenheit in Querrichtung dienen zwei Kennwerte (SN 640 520 a):

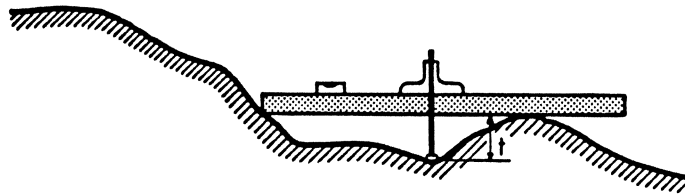
- T-Wert

Der T-Wert stellt die Muldentiefe gegenüber der Verbindungslinie der höchsten Punkte innerhalb einer Messlänge von 4 m dar.



- t-wert

Der t-wert stellt die Muldentiefe gegenüber dem Horizont dar (theoretische Wassertiefe).



In Abhängigkeit von der Ausbaugeschwindigkeit V_A und der Wassertiefe t kann der Zustand bezüglich der Querebenheit beurteilt werden [29].

3.3. Messgeräte

Grundsätzlich gibt es zwei Typen von Messgeräten, die statischen und die dynamischen Messgeräte.

3.3.1. Statische Messgeräte

Diese Messgeräte sind 1.2 bis 4 m lange Messlatten oder 4 bis 5 m lange Oberflächenprofilschreiber. Sie sind schon relativ alt und ihre Messprinzipien sind gut bekannt.

In den ausländischen Modellen wird die Rinnentiefe (RD) oft unter einer 4-Fuss (~ 1.2 m) langen Latte gemessen (AASHO). Die schweizerische Methode mit 4 m Latte würde eine höhere Spurrinnentiefe ergeben.

Es sollte möglich sein, die mit verschiedenen Systemen gemessenen Werte miteinander zu korrelieren. Eine solche Korrelation wurde aus den Messungen in den drei ersten ETHZ-Rundlaufversuchen für die 1.2 und die 2 m Latte berechnet.

3.3.2. Dynamische Messgeräte

Diese Messgeräte sind auf Fahrzeugen oder auf Anhängern montiert. Sie messen Querprofile in kleineren Abständen und bei Geschwindigkeiten bis 80 km/h. Es gibt Messgeräte, die das ganze Profil aufnehmen, andere die nur einige Punkte messen.

TABLEAU 5 - PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE QUELQUES APPAREILS DYNAMIQUES DE MESURE DU PROFIL EN TRAVERS ET DE L'ORNIERAGE

APPAREILS (Pays)	SAO (D)	RUTMETER (NL)	ORNIEROMETRE (F)	HRM (GB)	LASER RST (S)	ARAN ³⁶ (CAN)	TRE PAVEMETER (J)	ROAD-MAN (J)	ZR 04 LY (J)	ROAD-RECON (J)	DOM 2 (CHI)
MONTE SUR	petit camion	remorque	remorque	remorque	fourgonnette	fourgonnette	minibus	minibus	minibus	minibus	remorque
TYPE DE MESURE	releve quasi continu du profil	mesure relative de la profondeur d'ornière d'une bande de roulement	mesure relative de la profondeur d'ornière d'une bande de roulement	mesure relative des profondeurs des ornières des deux bandes de roulement par rapport à l'axe de la voie	releve du profil par 12 points	releve du profil par 13 points	releve du profil par 22 points	releve quasi continu du profil	releve quasi continu du profil	releve quasi continu du profil	releve quasi continu du profil
LARGEUR MAXIMUM AUSCULTÉE	4 m	1.50 m	1.60 m	1.80 m	3.10 m	3.60 m	4.20 m	4 m	4 m	4.60 m	4.50 m
VITESSE	statique 1 minute / profil	50 km/h	30 km/h	jusqu'à 60 km/h	jusqu'à 90 km/h	50 à 80 km/h	jusqu'à 60 km/h	jusqu'à 80 km/h	jusqu'à 60 km/h	jusqu'à 100 km/h	jusqu'à 80 km/h
REFERENCE HORIZONTALE	ou	non (plan joignant les roues porteuses)	non (écart entre la plus haute et la plus basse des roulettes)	non (châssis de la remorque)	non (châssis du véhicule)	possible (gyroscope)	non (châssis du véhicule)	non (châssis du véhicule)	non (châssis du véhicule)	non (châssis du véhicule)	ou (gyroscope)
TYPE DE CAPTEURS	mécanique transverso-photographie avec roulettes	mécanique 7 roulettes réparties entre deux roues porteuses de la remorque	mécanique 5 roulettes réparties entre les deux roues porteuses de la remorque	optique 3 capteurs à laser, 1 dans chaque bande de roulement et un entre les bandes de roulement	optique 11 capteurs à laser montés sur une poutre à l'avant du véhicule	ultrasons 13 capteurs montés sur une poutre à l'avant du véhicule	optique relève par deux caméras matricielles CCD de l'intersection de la chaussée par un plan de lumière laser (aligné)	optique relève par deux caméras CCD de l'intersection de la chaussée par un plan de lumière laser (aligné)	optique relève par deux caméras CCD de l'intersection de la chaussée par un plan de lumière laser (aligné)	optique photographie d'une ligne d'ombre projetée	optique (un par caméra) vidéo d'une ligne de lumière projetée par un flash
CONDITIONS PARTICULIÈRES DE MESURE	sans	sans	sans	chaussée sèche	chaussée sèche		chaussée sèche (obscurité ou temps couvert)	chaussée sèche (obscurité)	chaussée sèche (obscurité)	chaussée sèche (obscurité)	chaussée sèche
PAS DE MESURE	variable	0.50 m	0.25 m	0.10 m			0.50 m (à 60 km/h)	5 à 20 m selon vitesse	0.25 m (à 60 km/h)	0.10 m à 100 m	10 m (à 80 km/h)
ACQUISITION DES DONNÉES	microordinateur	microordinateur	cassette numérique	microordinateur	microordinateur	microordinateur	cassette numérique	cassette numérique	cassette numérique	sur film 35 mm	microordinateur
TRAITEMENT DES DONNÉES	automatique	automatique	automatique	automatique	automatique	automatique	automatique	automatique	automatique	manuel	automatique
RÉSULTATS DE MESURES	profondeur de chaque ornière et hauteur d'eau accumulée	profondeur d'une ornière	profondeur d'ornière et coefficient d'ornierement tous les 10 ou 20 m	moyenne des profondeurs des deux ornières tous les 20 m	profondeur moyenne d'ornière tous les 5 m	profondeur moyenne d'ornière tous les 10, 20, 50 ou 100 m	profondeur d'ornières	profondeur d'ornières	profondeur d'ornières	profondeur d'ornières	profondeur de chaque ornière et hauteur d'eau accumulée

Abbildung 3: Charakteristik einiger dynamischer Messgeräte [10]

* Auch in einer Version mit 36 Profilpunkten.

$$T(1.2\text{ m}) = .567 \cdot T(2\text{ m}) + 1.165 \quad R\text{-squared} = 0.943$$

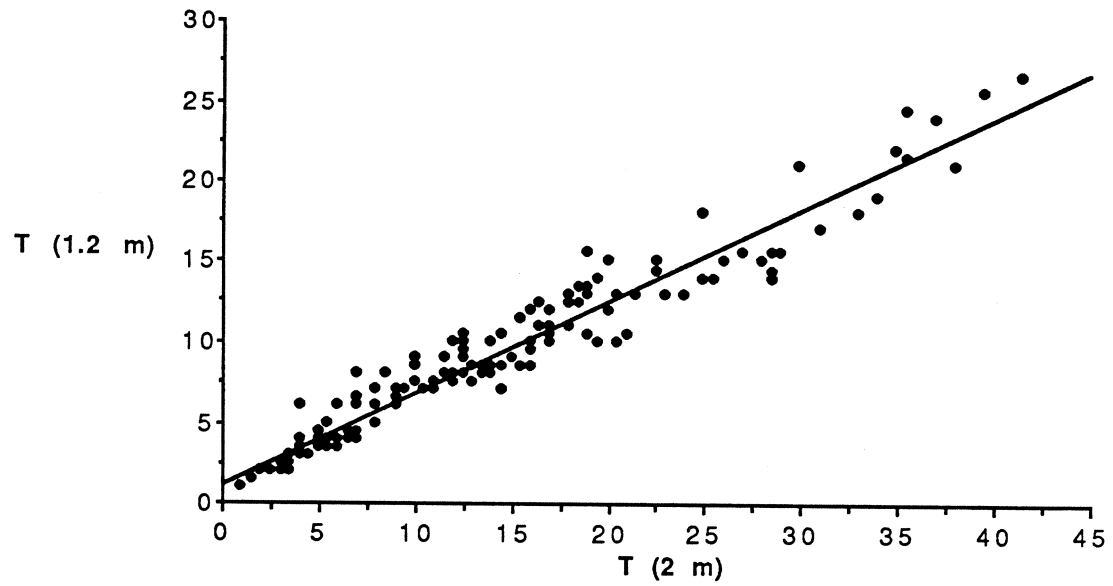


Abbildung 4: Korrelation zwischen Spurtiefen T (1.2 m) und T (2 m) in mm

3.4. Modelle

Ein Modell für die Berechnung der Spurrinnenbildung kann grundsätzlich mit Hilfe zweier verschiedener Grundansätze entwickelt werden: Einerseits einem empirischen Ansatz, bei welchem Erfahrungswerte die Grundlage bilden und andererseits einem theoretischen Ansatz, bei dem Hypothesen (Elastizität, Viskosität usw.) über das Verformungsverhalten in Gleichungssysteme für die Berechnung umgesetzt werden. Aus der gesichteten Literatur sind Modelle der beiden genannten Arten in Erscheinung getreten.

3.4.1. Empirische Modelle

Wie oben erwähnt bilden vorhandene Erfahrungswerte die Grundlage für die Entwicklung empirischer Modelle. Dabei muss unterschieden werden zwischen:

- a. Gleichungen, die aus wiederholten Messungen der Verformungen auf der Strasse gefunden wurden und
- b. Gleichungen, die aus bleibenden Verformungen aufgrund der Ergebnisse von Laborversuchen entwickelt wurden.

Es ist offenkundig, dass dabei den Ergebnissen aus der Strasse eine höhere Repräsentativität zukommt, weil die Beanspruchungsbedingungen dem Fall der praktischen Modellanwendung am nächsten kommen. Laboruntersuchungen haben demgegenüber den Vorteil, dass sämtliche Einflussparameter unter Kontrolle gehalten werden können und die Ergebnisse damit frei von "zufälligen" Fremdeinflüssen sind und somit auch direkter auf andere Situationen bezüglich Klima und Belastung übertragen werden können.

3.4.2. Theoretische Modelle

Die Unterschiede zwischen verschiedenen theoretischen Modellen bestehen einerseits in den Annahmen über das Verhalten der Materialien und andererseits in den rechnerischen Ansätzen (z.B. Mehrschichtenprogramme oder Modelle mit finiten Elementen). Zur Charakterisierung der Materialien werden verschiedene Kennziffern angewendet, die zuweilen aufgrund recht umfangreicher Laborversuche ermittelt werden müssen.

Die hauptsächlichen, aus der Literaturrecherche hervorgegangenen theoretischen Modelle lassen sich einer der folgenden Hauptgruppen zuweisen:

- a. Bleibende Verformung aufgrund der berechneten elastischen Verformungen oder Spannungen

- b.** Bleibende Verformung aufgrund der linear-viscoelastischen Schichtentheorie
- c.** Bleibende Verformung aufgrund nicht-linearer Methoden mit finiten Elementen.

Die meisten Modelle sind deterministischer Natur, d.h. sie setzen bestimmte "fixe" Parameter voraus um dann für alle Randbedingungen eine Lösung anzugeben. Daneben sind aber auch andere Methoden im Kommen, die sogenannten probabilistischen Modelle. Diese berücksichtigen den gesamten Streubereich aller Einflussparameter und damit auch verschiedene "empirische" Aspekte.

4. Empirische Modelle

Die empirische Modelle sind Gleichungen, die aus wiederholten Messungen gefunden wurden. Es gibt eine ganze Reihe davon. Wichtig ist, dass diese Gleichungen eine genügend genaue Prognose des weiteren Verlaufes der Spurrinnenbildung ergeben.

4.1. $T = f(N)$

Viele Modelle zeigen einen funktionellen Zusammenhang zwischen der Oberflächenverformung (T , t oder RD , gemäss Kapitel 3) und der Anzahl (N) der Lastübergänge. Eine ganze Reihe von Gleichungen wurde in der ausländischen Literatur gefunden :

- | | | |
|---|---|----------|
| 1 | $T = K \cdot N^C \Leftrightarrow \log T = A + B \cdot \log N$ | [11][48] |
| 2 | $T = (A \cdot N) / (B + N)$ | [11] |
| 3 | $T = A \cdot \ln((B \cdot N) + 1)$ | [11] |
| 4 | $T = A \cdot (1 - e^{-(N \cdot B)})$ | [11] |
| 5 | $T = A + B \cdot \sqrt{N}$ | [12][14] |
| 6 | $T = A + B \cdot \log N$ | [14][43] |
| 7 | $T = A + B \cdot N + C \cdot \sqrt{N}$ | [28] |
| 8 | $T = A + B \cdot N + (-C) / (N - 1)$ | [28] |
| 9 | $T = A + B \cdot N + C \cdot N^2 + D \cdot N^3 + E \cdot N^4$ | [28] |

10 Dazu wurde noch eine Funktion der Form : $\sqrt{T} = A + B \cdot \sqrt{N}$ studiert.

4.1.1. Analyse mit den Daten aus den Rundlaufversuchen

Um die Modelle miteinander zu vergleichen, müssen sie mit den gleichen T und N Werten berechnet werden. Die Lastübergänge (N) wurden in Tausender äquivalenter Verkehrslast gezählt, die als gleichwertige Anzahl von Durchgängen einer Einheitsachslast (hier 8.16 t = 18 kips) ausgedrückt sind. Die Umrechnungsfaktoren wurden aus SN 640 320 entnommen:

$$N = W / 1000, \text{ wobei } W = \text{äquivalente Verkehrslast nach SN 640 320}$$

Die Spurrinnentiefe (hier T genannt) wurde unter einer 4-Fuss langen Latte gemessen (RD nach AASHO).

Von den aufgelisteten Gleichungen wurden 2, 3, 4, 8 und 9 nicht weiterbetrachtet. Eine Untersuchung von David an der Technischen Universität Hannover [11] hat gezeigt, dass 1 wesentlich bessere Ergebnisse als 2, 3 und 4 erzielt, und gemäss einer japanischen Studie [28] ist 7 besser als 8 und 9.

Die gemessenen Werte der ersten drei Rundlaufversuche an der ETH Zürich wurden in eine Datenbank eingeführt, analysiert und bewertet. Für jeden Aufbau wurden Regressionen berechnet. Nach einer Sanierung oder Teilsanierung wurden die Zusammenhänge selbstverständlich neu berechnet. Die Ergebnisse der Berechnungen mit den oben aufgelisteten Modellen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Sie wurden mit dem Macintosh Programm StatViewTM durchgeführt.

Die Übereinstimmung aller Modelle mit den im Rundlauf gemessenen Werten ist gut. Die Vertrauensgrenze des kleinsten Korrelationskoeffizienten ($R^2 = 0.494$) mit 12 Messungen ist grösser als 99.9%. Andere Aufbauten werden nur auf die Konstanten einen Einfluss haben, aber nicht direkt auf die Gültigkeit und die Genauigkeit der Formel. Das gleiche gilt für die anderen Methoden zur Messung der Spurrinntiefen und für andere Zeitspannen.

Eine Analyse aller gemessenen und gerechneten Werte ergibt folgende Resultate (siehe Beilagen 3, 4, 5, 6, 7):

7	$T = A + B \cdot N + C \cdot \sqrt{N}$	$R^2 = 0.981$
10	$\sqrt{T} = A + B \cdot \sqrt{N}$	$R^2 = 0.968$
5	$T = A + B \cdot \sqrt{N}$	$R^2 = 0.965$
1	$\log T = A + B \cdot \log N$	$R^2 = 0.936$
6	$T = A + B \cdot \log N$	$R^2 = 0.912$

Man könnte daraus schliessen, dass das beste Modell 7 ist. Es ist aber zu bemerken, dass bis jetzt nur die Wiedergabe der Realität und nicht die Prognosefähigkeit der verschiedenen Modelle analysiert worden ist.

Tabelle 1

Regressionsgeraden für Spurrinnen im Rundlauf

Rundlauf	7 $RD = A + B \cdot N + C \cdot \sqrt{N}$				10 $\sqrt{RD} = A + B \cdot \sqrt{N}$				5 $RD = A + B \cdot \sqrt{N}$				1 $\log RD = A + B \cdot \log N$				6 $RD = A + B \cdot \log N$			
	A	B	C	R ²	A	B	R ²	A	B	R ²	A	B	R ²	A	B	R ²	A	B	R ²	
11	4.665	-0.0300000	0.194	.952	2.398	.014	.853	5.708	.074	.853	0.607	.100	.936	3.198	1.621	.923				
12	4.737	-0.0300000	0.295	.972	2.485	.025	.927	6.000	.149	.933	0.560	.157	.964	1.173	3.183	.954				
13	3.557	-0.0700000	0.501	.990	2.533	.029	.842	6.289	.177	.853	0.529	.184	.957	0.316	3.884	.962				
14	5.014	0.0110000	-0.040	.989	1.830	.060	.974	2.459	.344	.955	0.196	.298	.931	-4.640	5.514	.865				
15	2.774	0.2020000	-0.336	.984	1.656	.038	.983	2.273	.185	.983	0.072	.275	.974	-2.883	3.601	.926				
21	-0.541	-0.0004287	0.166	.965	1.249	.025	.951	0.349	.124	.962	-0.782	.471	.952	-14.111	6.199	.940				
22.1	1.680	0.0020000	0.117	.970	1.302	.044	.978	1.174	.188	.963	-0.088	.307	.957	-2.322	2.992	.852				
22.2	-16.423	-0.0060000	0.863	.916	1.193	.045	.874	-2.958	.301	.898	-1.223	.677	.876	-44.952	16.84	.915				
23	1.881	-0.0000260	0.068	.937	1.496	.015	.945	1.921	.065	.937	-0.038	.223	.895	-2.100	2.206	.801				
24.1	1.870	-0.0000540	0.075	.951	1.517	.016	.950	1.952	.071	.951	-0.028	.227	.875	-2.357	2.375	.804				
24.2	2.086	-0.0000260	0.050	.906	1.767	.008	.903	2.368	.045	.903	-0.479	.328	.902	-14.145	5.256	.900				
25.1	2.548	0.0050000	-0.132	.977	0.865	.036	.842	-0.297	.143	.791	-0.293	.296	.609	-3.138	2.494	.494				
25.2	7.546	0.0080000	-0.440	.991	-1.687	.079	.991	-15.321	.407	.988	-4.934	1.659	.991	-80.902	25.281	.984				
25.3	31.172	0.0080000	-0.907	.841	-0.019	.034	.803	-5.735	.163	.816	-2.915	.993	.819	-41.831	12.879	.791				
31.1	5.178	0.0040000	0.100	.948	2.149	.043	.942	3.883	.282	.921	0.661	.149	.813	3.798	3.189	.649				
31.2	19.118	0.0030000	-0.444	.945	0.039	.027	.856	-6.390	.138	.906	-3.005	.965	.920	-47.323	13.708	.812				
32.1	4.127	0.0004300	0.127	.950	2.047	.027	.947	3.977	.148	.948	0.588	.120	.900	3.599	1.805	.778				
32.2	39.934	0.0060000	-0.874	.995	-0.183	.031	.938	-9.154	.181	.915	-3.158	1.026	.935	-68.082	19.296	.886				
33	2.223	0.0010000	0.029	.935	1.399	.017	.924	1.493	.075	.909	0.237	.144	.656	0.799	1.421	.529				

4.1.2. Prognose und Rundlaufversuche

Die Verwendung der fünf analysierten Modelle für eine Trendprognose aus gleichen Messwerten ist überhaupt nicht gleichwertig. Der Verlauf der Prognose ist ganz verschieden, wenn der Abstand vom letzten gemessenen Wert grösser wird. Dieses zeigt Abbildung 5.

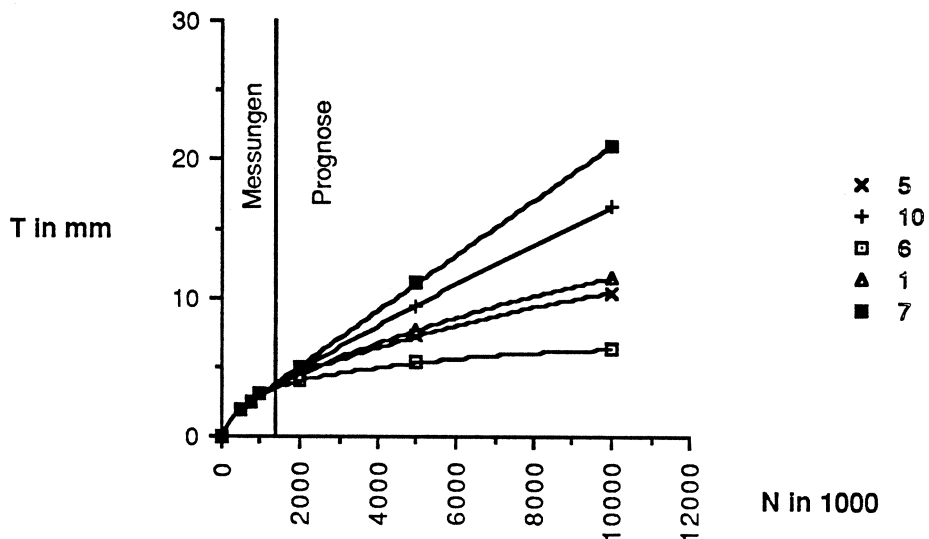


Abbildung 5: Modelle und Prognosen

Bei einer kleinen Anzahl von Messungen oder grossem Abstand vom letzten Wert, kann das Modell 7 ganz unlogische Resultate ergeben (das Maximum kann ganz nah bei der letzten Messung liegen, was eine Abnahme der Spurrinnentiefe zur Folge hätte). Deshalb wird dieses Modell nicht weiter betrachtet.

Die Berechnung einer Regressionsgeraden für jede neue Spurrinnenmessung wurde mit den vier übrigen Modellen durchgeführt und davon Prognosen für bestimmte Zeitpunkte berechnet (siehe Beilagen 8 bis 11). Der Vergleich zwischen diesen Prognosen und den entsprechenden Werten aus der bestpassenden Regressionsgerade (höchste R^2 in Tabelle 1) ergibt folgende Resultate:

- Wenn Ergebnisse aus nur zwei früheren Messungen vorliegen, dann ergibt Modell 6, hier "log" genannt, als einziges gute Resultate ($R^2 = 0.699$). Die Abbildung 6 zeigt es klar.

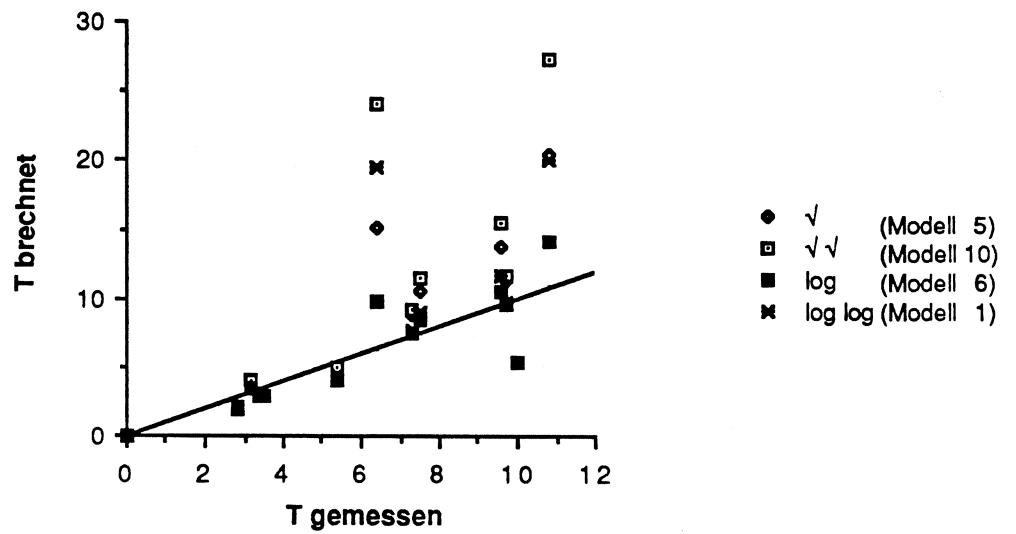


Abbildung 6: Berechnete Spurrinnen mit 2 Messungen für 500'000 Ueberrollungen

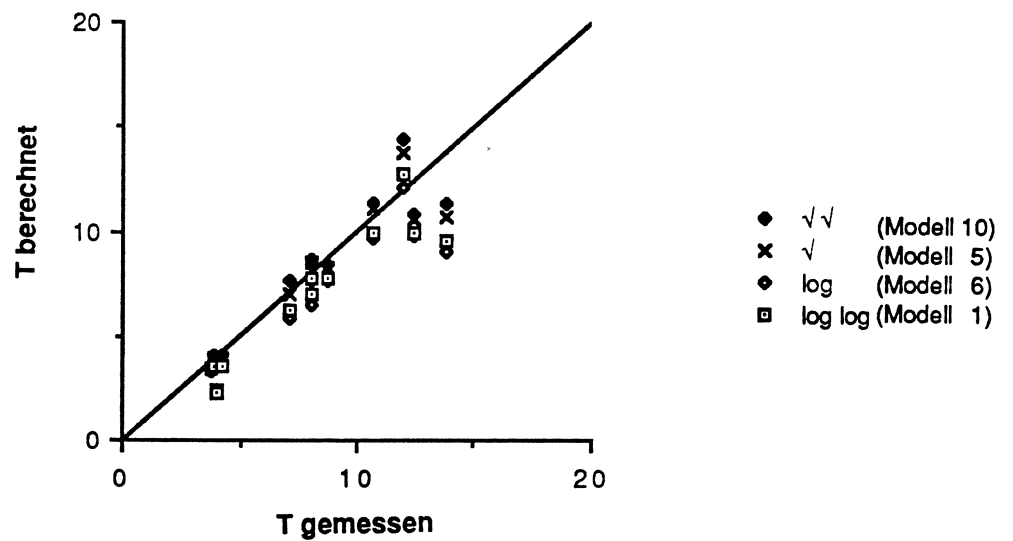


Abbildung 7: Berechnete Spurrinnen mit 4 Messungen für 1'000'000 Ueberrollungen

- Mit mehr als 2 Messungen ergeben alle vier Modelle Resultate von gleicher Grössenordnung. Zum Beispiel für 4 Messungen und bei einer Prognose für 1'000'000 Ueberrollungen liegen die R²-Werte zwischen 0.880 und 0.895. Dieses Beispiel ist in Abbildung 7 dargestellt.

In der Praxis verfügt man meistens nur über wenige Messungen. Demzufolge ist es wichtig, ein Modell zu haben, das auch für 2 Messungen vernünftige Resultate ergibt. Das beste Modell unter dieser Voraussetzung ist :

$$T = A + B \cdot \lg N$$

(oder $T = A + D \cdot \ln N$, mit $D = B / \ln 10$). Dieser Ansatz wird noch mit den Werten aus den Beobachtungsstrecken kontrolliert.

4.1.3. Prognose und Langzeitbeobachtung

Für eine gültige Kontrolle der Möglichkeiten des gewählten Modells soll man möglichst die gleichen Voraussetzungen haben, wie sie in der Praxis vorhanden sind. Das heisst, die Messungen der Spurrinnen und die Schätzung der Ueberrollungen sollen nicht besser (oder schlechter) sein als was üblicherweise in der Schweiz an Werten zur Verfügung steht.

Die Anzahl Ueberrollungen wurde als tägliche äquivalente Verkehrslast nach SN 640 320 geschätzt. In der Tat werden in der Praxis selten genauere Untersuchungen vorgenommen. Die Muldentiefe wurde nach AASHO unter einer 1.2 Meter Latte gemessen.

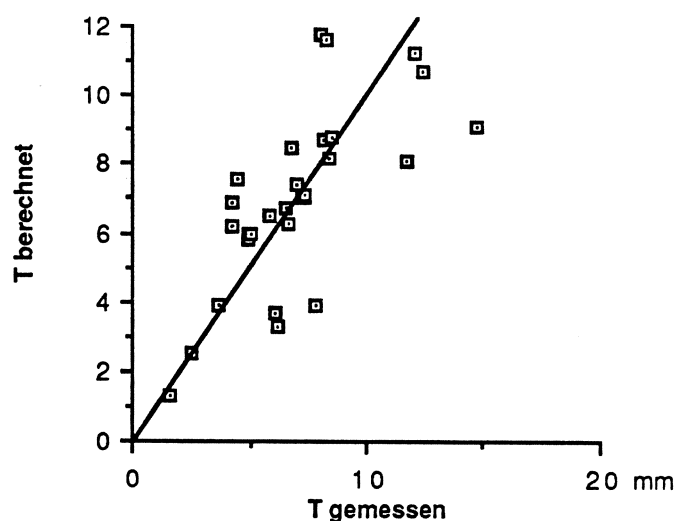


Abbildung 8: Berechnete und gemessene T-Werte für Langzeitbeobachtung

Die Abbildung 8 zeigt eine Zusammenfassung der Resultate der Berechnungen, die in Beilage 12 aufgelistet sind. Das benutzte Modell 6 zeigt ein recht gutes Ergebnis ($R^2 = 0.504$), besonders wenn man berücksichtigt, dass die Spurrinnentiefe nicht jedesmal am gleichen Ort gemessen wurde und dass die Anzahl Ueberrollungen eine ziemlich grobe Schätzung ist.

Die Anwendung anderer Modelle, zum Beispiel der in Deutschland üblichen Funktion $T=A+B\sqrt{N}$, würde eine grössere Spurrinnenbildung prognostizieren. Dies hätte in Abbildung 8 eine Verschiebung der Punkte nach oben und demzufolge eine Verschlechterung der Prognose zur Folge.

4.1.4. Prognose für andere Beobachtungsstrecken

Die gewählte Formel wurde noch mit Resultaten aus dem "AASHO road test" [20] getestet. Dafür wurden zwei Spurrinnenmessungen nach jeweils 20'000 und 200'000 Ueberrollungen genommen und extrapoliert. Die berechneten Werte stimmen ziemlich gut mit den gemessenen überein, wie dies in Abbildung 9 ersichtlich ist.

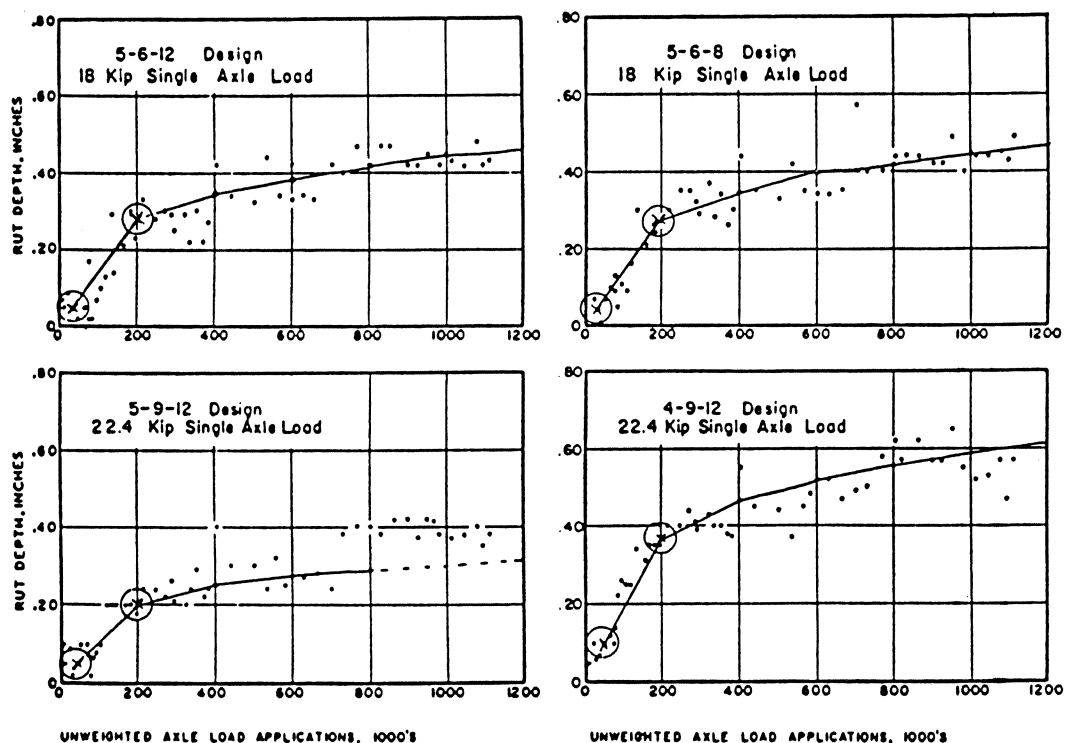


Abbildung 9: Berechnete und gemessene Spurrinnentiefe für Werte aus dem AASHO-Strassentest

Im Rahmen einer Forschungsarbeit der EMPA Dübendorf wurde auf fünf Beobachtungsstrecken auf der stark befahrenen Autobahn Bülach-Kloten die theoretische Wassertiefe "t" gemessen [40]. Auf den verschiedenen Strecken wurde lediglich das Bindemittel in den Belägen (Verschleiss- und Ausgleichsschicht) variiert. Die übrigen verwendeten Baustoffe sowie die angestrebten Zusammensetzungen der einzelnen Schichten waren überall identisch. Die Oberbaustruktur sowie die berechneten und gemessenen Wassertiefen sind in der Abbildung 10 und in der Tabelle 2 ersichtlich.

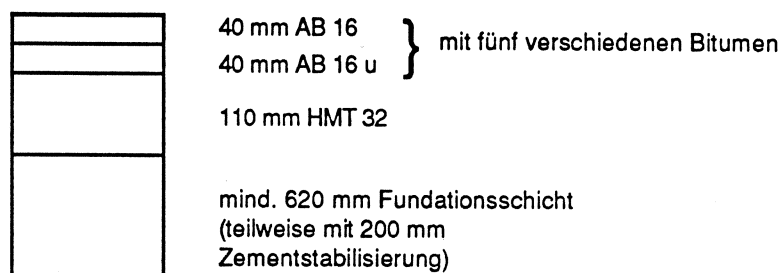


Abbildung 10: Oberbaustruktur auf der Autobahn Bülach-Kloten

Nullmessung 13.08.72	Anzahl Monate	2		3 A		4 A		4 B		5 A		5 B	
		g	b	g	b	g	b	g	b	g	b	g	b
13.03.74	19	1.0	*	4.5	*	1.0	*	2.0	*	0.3	*	6.3	*
17.11.76	51	5.3	*	10.0	*	5.5	*	8.0	*	2.8	*	9.8	*
14.05.79	81	5.8		10.8		6.0		10.0		4.5		11.0	
20.05.80	93	6.5	7.9	11.3	13.3	6.5	8.2	10.8	11.7	5.0	4.3	11.0	11.9
10.06.81	106	7.0		13.3		8.0		10.8		5.0		11.0	
17.05.83	129	7.2	9.3	15.8	15.2	10.5	9.7	12.5	13.6	5.5	5.1	12.0	13.1

g : gemessen

b : mit $t = A + B \ln (\text{Zeit})$ berechnet

Tabelle 2: Berechnete und gemessene Wassertiefe t in mm auf der Autobahn Bülach-Kloten

Auch hier weisen die Prognosen eine gute Uebereinstimmung mit der Realität auf. Wie man sehen kann, wurde hier die Berechnung mit der Anzahl Monate statt mit der Anzahl Ueberrollungen durchgeführt. Warum kann die Spurrinnenbildung auch eine Funktion der Zeit sein ? In den meisten Fälle kann man sagen, dass der Verkehr pro Jahr X Prozent zunimmt (Schätzung nur kurzfristig gültig), dann ist :

$$N = a \cdot \text{Zeit} \Rightarrow RD = A + B \ln (N) \Leftrightarrow RD = C + B \ln (\text{Zeit})$$

mit $C = A + B \ln (a)$.

4.1.5. Schlussfolgerungen

Mit dem Modell 6 wurde ein guter funktioneller Zusammenhang zwischen der Oberflächenverformung und der Anzahl der Lastübergänge (ev. Monate) gefunden. Es scheint, dass bei diesem Vorgehen die Parameter, welche zum Beispiel das Klima oder die Materialeigenschaften beschreiben, gar nicht berücksichtigt werden. Dem ist aber nicht so: Diese Parameter werden zwar nicht direkt, sehr wohl aber indirekt berücksichtigt, indem nämlich diese Einflüsse durch die Spurrinnenmessungen gewissermassen auch "abgebildet werden".

Der grosse Vorteil dieser Methode ist, dass Prognosen möglich sind, auch wenn der genaue Aufbau der Strasse nicht bekannt ist, was öfters der Fall ist. Dazu können Strassen mit ungewöhnlichem Oberbau, zum Beispiel aus historischen Gründen, ebenfalls analysiert werden. Die einzige Bedingung ist natürlich, dass eine Spurrinnenbildung überhaupt möglich ist und dass zwei oder mehrere Messungen vorhanden sind.

Wenn wenige oder gar keine Messungen vorhanden sind, wäre es nützlich, die Konstanten A und B aus den Oberbaustrukturen zu bestimmen. Die Anzahl der Beobachtungsstrecken war leider nicht gross genug, um eine solche Berechnung durchführen zu können. Die Literatur [43] und kleine Proben mit den vorhandenen Daten zeigten, dass solche Regressionen möglich sind. Diese Studie sollte später erfolgen, wenn die Anzahl der Messungen grösser wird.

4.2. $T = f(N, E, SN)$

Meyer und Haas haben einen Zusammenhang zwischen der Spurrinnentiefe (T), der Anzahl (N) von Durchgängen einer Einheitsachslast (8.16t = 18 kips), den E-Moduli des bituminösen Mischgutes (E1) und des Untergrundes (Es) und einer äquivalenten Schichtdicke (EAT) gezeigt:

$$T = -1.0318 + 1.2067 \text{ EAT} + 0.0803 N - 2.3684 \ln \text{EAT} + 0.1896 \ln (N \text{ EAT}) + 1.1639 E_1 \ln \text{EAT} - 0.0216 E_s N - 0.4114 E_1 N \ln \text{EAT} + 0.0456 E_s N \ln \text{EAT} \quad [26]$$

Dieses Modell ist nicht direkt brauchbar, weil die Werte für E1 und Es nicht im SI-System gemessen wurden und EAT nicht direkt dem SN-Wert entspricht. Dazu ist Es in der Schweiz selten bekannt. Es besteht aber ein enger Zusammenhang zwischen Es und ME-Werten sowie zwischen EAT und SN-Wert.

4.2.1. Modell und Rundlaufversuche

Die Daten aus den Rundlaufversuchen wurden mit einer Regression der Form

$$T = a + b \cdot SN + c \cdot N + d \cdot \ln SN + e \cdot \ln (N \cdot \text{EAT}) + f \cdot E \cdot \ln SN + g \cdot ME \cdot N + h \cdot E \cdot N \cdot \ln SN + k \cdot ME \cdot N \cdot \ln SN$$

berechnet. SN ist der Stärkeindex nach AASHO (metrisch), N die Anzahl von Überrollungen ($\cdot 10^{-5}$) einer äquivalenten Verkehrslast, ME der ME-Wert auf dem Planum in $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 10^{-5}$ und E der E-Modul des Belags in $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2} \cdot 10^{-4}$.

Die genauen Resultate sind in der Beilage 13 ersichtlich. Der gefundene Korrelationskoeffizient von 0.939 zwischen den gemessenen und den berechneten Werten für T ist sehr gut. Dieses Modell sollte jetzt mit den Ergebnissen aus der Langzeitbeobachtung kontrolliert werden.

4.2.2. Modell und Langzeitbeobachtung

Eine direkte Anwendung der Modelle mit den entsprechenden Konstanten aus den Rundlaufversuchen ist nicht sinnvoll. Man kann dies leicht erklären: Die Spurrinnenbildung ist im Sommer bei hohen Temperaturen und im Frühling beim Tauen besonders gross. In den Rundlaufversuchen wird nur die Anzahl von Ueberrollungen beschleunigt, das Klima bleibt jenes von Zürich; die Spurrinnenbildung wird demzufolge nicht genau gleich sein wie in der Realität.

Die Anzahl der Beobachtungsstrecken und der entsprechenden Oberbaustrukturen ist leider nicht genügend gross, um eine befriedigende Regression zu berechnen. Deshalb muss auf die Kontrolle der Methode mit den Ergebnissen aus der Langzeitbeobachtung verzichtet werden. Bei einer genügenden Anzahl von Werten sollte aber eine Regressionsrechnung befriedigende Resultate liefern.

4.2.3. Schlussfolgerungen

Man hat mit diesem Modell einen guten Zusammenhang zwischen den Eigenschaften der Strasse und der Spurrinnenbildung. Eine genaue Berechnung der verschiedenen Regressionskoeffizienten sollte später aufgrund der in einer Strassendatenbank gespeicherten Werte erfolgen.

Das Problem bei dieser Prognosemethode ist die Bestimmung von ME und E. Diese beiden Werte könnten aus Deflektionsmessungen zurückgerechnet werden. Es ist aber zu bemerken, dass die Deflektionen während des Jahres sehr stark variieren können, besonders unter dem Einfluss der Temperatur und der saisonalen Schwankungen des Grundwasserspiegels. Eine Tabelle mit Schätzungen, zum Beispiel von durchschnittlichen E-Moduli für das ganze Jahr, je nach Belagsart und Regionen, würde von grosser Hilfe sein. Man könnte damit auf den Aufbau eines komplizierten Verkehrsmodelles für die verschiedenen Jahreszeiten in einem Programm für das Erhaltungsmanagement verzichten und aufwendige Messreihen sparen. Das Erstellen einer solchen Tabelle von Schätzwerten würden allerdings eine weitere Forschungsarbeit benötigen.

4.3. $T = f(D, \dots)$

Einige Autoren geben empirische Modelle an, bei denen die bleibende Deformation eine Funktion der Deflektion und anderer Faktoren ist. Hier folgen einige Beispiele:

$$\begin{array}{ll} T = a + b \cdot \log(D) + c \cdot \log(N) & [16][37] \\ T = a + b \cdot \log(D) + c \cdot \log(N) + d \cdot S & [16] \\ T = a + N \cdot D \cdot (b \cdot D + c) & [35] \end{array}$$

wobei N die Anzahl von Ueberrollungen ist, D die Deflektion und S die vertikale Spannung im tiefsten Punkt des bituminösen Belags.

Die zur Verfügung stehenden Daten erlauben es nicht, diese Modelle genau zu überprüfen. Eine kurze Analyse des ersten der drei Modelle mit den Daten aus den Rundlaufversuchen hat ziemlich gute Resultate ergeben. Es ist aber zu bemerken, dass die Benützung eines solchen Modells für ein Erhaltungsmanagementprogramm in der Schweiz schwierig wäre. Dies aus drei Gründen:

- Die Deflektionsmessungen erfolgen heute nur statisch oder halb statisch, was eine Behinderung des Verkehrs zur Folge hat. Die Datenerfassung ist demzufolge problematisch, besonders auf stark belasteten Strassen, die meistens viele Spurrinnen zeigen.
- Die Deflektion ist eine Messung der Tragfähigkeit. Der Einfluss des Frostes, der Temperatur und des Sonnenlichts ist während des Jahres sehr variabel, was eine Änderung der Tragfähigkeit der Strasse und des Verhaltens der bituminös-gebundenen Materialien ergibt. Dazu nimmt die Tragfähigkeit mit der Zeit eher zu (infolge Nachverdichtung, Konsolidation usw.). Der zeitliche Verlauf der Deflektionswerte würde wie in Abbildung 10 aussehen. Um dieses Phänomen genau zu modellieren und zu prognostizieren müsste man sehr viele Messungen machen, und die Auswertung wäre sehr aufwendig (keine einfache Regression).
- Die Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass die in der Schweiz auftretenden Spurrinnenbildungsprobleme weit mehr auf eine plastische Verformung der bituminös-gebundenen Schichten zurückzuführen sind, als auf die Verformung von Fundationsschicht und Untergrund, deren Einfluss durch dieses Modell praktisch ausschliesslich angesprochen wird.

Die Deflektion und die vertikale Spannung können auch mit Hilfe von Computerprogrammen geschätzt werden. Das "Laboratoire Central des Ponts & Chaussées" mit ALIZE [3] und "Shell" mit BISAR-PC [5] haben solche Programme entwickelt. Die Resultate hängen sehr stark von der

Qualität der Eingabedaten ab. Die erforderlichen Elastizitäts-Moduli der verschiedenen Schichten sind z.B. besonders schwer zu bestimmen.

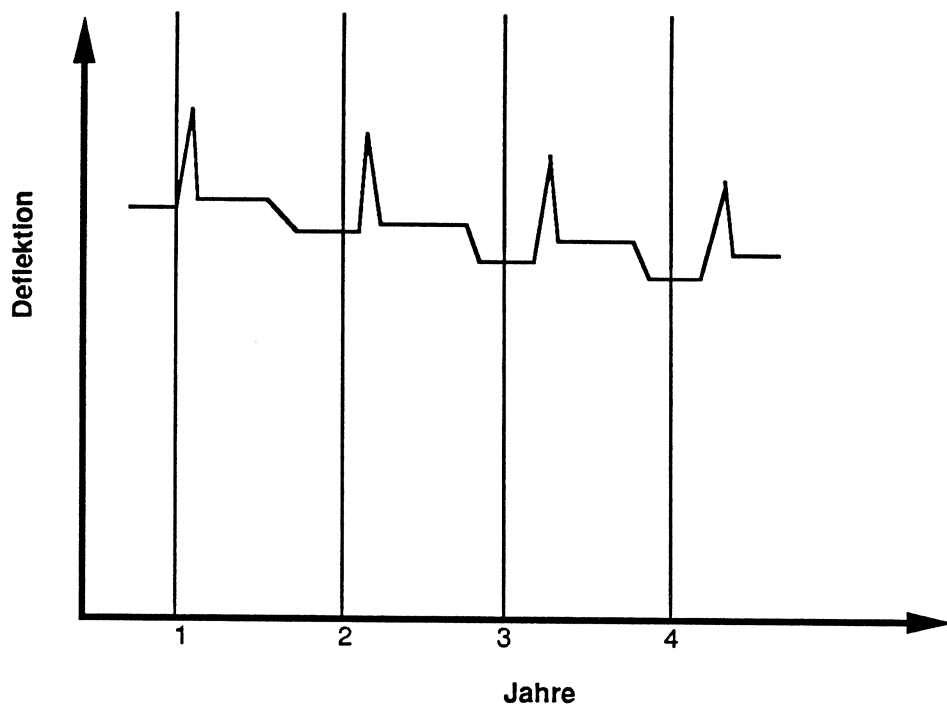


Abbildung 11: Schematischer Verlauf der Deflektionswerte

Die Anwendung solcher Berechnungsprogramme in einem Programm für das Management der Strassenerhaltung wäre nur sinnvoll, wenn ihre Benützung vereinfacht wäre, z.B. mittels einer Tabellierung von Schätzwerten für schweizerische Strassenbaumaterialien. Die oben aufgelisteten Modelle könnten dann eventuell benützt werden. Dabei ist jedoch aus den vorstehend genannten Gründen auf gewisse Anwendungseinschränkungen bezüglich Praktikabilität und Aussagekraft zu achten.

4.4. HDM-III Modell (Weltbank)

Das von der Weltbank vor allem für Anwendungen in der Dritten Welt entwickelte Managementsystem für die Strassenerhaltung enthält auch Modelle zur Voraussage der Spurrinnenbildung [49]. Aus zeitlichen und technischen Gründen konnte es nicht im Detail beurteilt werden, sodass hier nur die Formeln und eine kurze Beurteilung angegeben werden.

$$RDM = K * \frac{39800 * N^{ERM}}{SNC^{0.502} * COMP^{2.30}}$$

$$\Delta RMD_d = K * \left\{ \frac{0.166 + ERM}{AGE} + 0.0219 * MMP * \Delta CRX_d \right. \\ \left. * \ln \left[\max \left(1; \frac{AGE * N}{10^6} \right) \right] \right\} * RDM_a$$

wobei	RDM	(mm)	= Spurrinnentiefe im ersten Jahr
	ΔRMD_d	(mm)	= prognostizierte Spurrinnentiefezunahme in dem analysierten Jahr
	K		= Benutzerkonstante
	N		= Anzahl äquivalenter 80 kN Lastübergänge
	ERM		= Funktion der durchschnittlichen Deflektion, der Niederschläge und der Risse
	SNC		= modifizierter Stärkeindex der Strasse
	COMP	(%)	= Verdichtungsgrad in den Schichten
	AGE	(Jahr)	= Zeit seit dem Baujahr
	MMP	(m)	= durchschnittliche monatliche Niederschläge
	ΔCRX_d		= prognostizierte Zunahme der Risse
	RDM_a	(mm)	= Spurrinnentiefe am Anfang des analysierten Jahres

Man sieht sofort, dass dieses Modell eine grosse Anzahl von Informationen über den Zustand der Strasse benötigt. Die Erfassung der Risse und der Deflektion sind dazu problematisch. Demzufolge ist es fraglich, ob sich dieses Modell für eine einfache Anwendung bei relativ wenigen Messwerten eignet.

4.5. Modelle aus Laborversuchen

Zur Prüfung des Verformungswiderstandes von Asphaltbeton sind zahlreiche Geräte entwickelt worden. Die fünf Methoden, die in der Schweiz für solche Untersuchungen, insbesondere am IVT oder am "Laboratoire des voies de circulation de l'EPF de Lausanne", LAVOC angewendet werden, sind:

- Marschall-Test (SN 671 969 b)
- Gyrator LPC
- statischer, einaxialer Kriechversuch
- Triaxialversuch mit konstanter axialer Verformungsgeschwindigkeit
- Verkehrssimulator LPC.

Eine Studie aus dem LAVOC hat gezeigt, dass zum Teil gute Korrelationen zwischen den Ergebnissen aus den verschiedenen Prüfmethoden bestehen [23]. Interessant ist es, dass die Resultate des Verkehrssimulators LPC in einer Gleichung der Form $T = a + b \cdot \lg(N)$ dargestellt werden können [18], was mit den Ergebnissen des Kapitels 4.1. übereinstimmt.

Es existiert eine ganze Reihe von Modellen, welche die Spurrinnenbildung aufgrund dieser Laborversuche berechnen können. Bolk hat z.B. eine Untersuchung publiziert, in welcher das Shell-Modell [41] und zwei von Huschek gefundene Modelle [21][22] mit einer eigenen Methode verglichen werden [6].

Diese Modelle sind natürlich nur für den Spurrinnenbildungsanteil gültig, der in den bituminösen Schichten stattfindet. Die vorhandenen Daten haben es leider nicht erlaubt, diese Methoden zu überprüfen (keine separaten Messungen für bituminöse Schichten).

Die Ergebnisse aus vielen dieser Laborversuche werden in Computerprogrammen gebraucht (siehe Kapitel 5.3.1), wo sie als "Brücke" zwischen der Realität und den theoretischen Modellen wirken. Grundsätzlich kann man sagen, dass diese Methoden nur kombiniert mit anderen zur Schätzung des Deformationsanteils der gebundenen und ungebundenen Trag- und Foundationsschichten benutzt werden sollen. Dies erfolgt meistens nur in komplexeren Computerprogrammen.

4.6. E-Moduli

Ein Parameter, der immer wieder in den empirischen und theoretischen Modellen vorkommt, ist der Elastizitätsmodul. Sein Einfluss auf die Lebenserwartung und Spurrinnenbildung der Strasse ist sehr gross, seine Erfassung im Labor aber schwer. Eine ganze Reihe von empirischen oder theoretischen Modellen wurden entwickelt, um die E-Moduli der verschiedenen Strassenschichten zu bestimmen. Das Ziel der folgenden Abschnitte ist die Präsentation einiger dieser Modelle. Sie wurden in ihrer Genauigkeit und Zuverlässigkeit aber nicht geprüft.

4.6.1. E-Moduli aus Deflektionsmessungen

Die E-Moduli der verschiedenen Oberbauschichten können aus der Deflektionsmulde nachberechnet werden. Dafür kommen eine ganze Reihe von Programmen in Frage, die entweder direkt dafür gedacht sind, wie z.B. das dänische PAS1 [32], oder die indirekt benutzt werden können, wie z.B. BISAR-PC oder ALIZE. Die Entwicklung solcher Programme ist zur Zeit überall in der Welt voll im Gang. Die Bemerkungen von Kapitel 4.3. über die Deflektionsmessungen behalten auch hier ihre Gültigkeit.

4.6.2. E-Moduli aus verschiedenen Gleichungen

Viele Gleichungen wurden gefunden, um die E-Moduli zu schätzen. Die in Kapitel 5.3 aufgelisteten Programme enthalten eine ganze Reihe davon [41][46][47]. Eine umfassende Arbeit für die Bestimmung von E-Moduli für bituminöse Materialien wurde von G.F. Akhter und W. Witczak publiziert [1].

Die Analyse zeigt, dass die Temperatur einen grossen Einfluss auf die E-Moduli hat. Die zur Zeit existierenden Rechenmethoden zur Bestimmung der Belagstemperatur sind leider nicht genau genug oder zu aufwendig zu benutzen. Die Temperatur für die betrachtete Periode kann demzufolge nur geschätzt werden, was einen grossen Einfluss auf die Genauigkeit der berechneten Moduli haben kann.

5. Theoretische Modelle

Die verschiedenen Methoden zur Bestimmung der bleibenden Verformung, d.h. berechnete elastische Verformung oder Spannung mittels linear-viscoelastischer Schichtentheorie bzw. nicht-lineare Methode der finiten Elemente, sind teilweise eng miteinander gekoppelt und haben etwas wichtiges gemeinsam: Sie können meistens nur mit EDV-Anwendungen genügend schnell oder überhaupt berechnet werden. Deshalb werden sie gemeinsam analysiert.

5.1. Einführung

Die Entwicklung von Modellen für die Berechnung der Spannungen und Verformungen in einem Strassenkörper hat vor etwas mehr als hundert Jahren eingesetzt. Heute steht eine Vielzahl von Modellen zur Verfügung, die zum Teil den Weg in die Praxis gefunden haben. Sie alle zu erwähnen, wäre zu aufwendig. Es folgt deshalb nur eine Auswahl derjenigen Modelle, die eine Pionnierrolle erfüllt haben.

5.1.1. Boussinesq: Elastischer Halbraum, 1885

Boussinesq betrachtet sämtliche Materialien unterhalb einer Boden- (Strassen-) Oberfläche als ein homogenes elastisches Medium [7]. Damit diese Materialien Lasten ertragen können, ohne sich in unzulässiger Weise zu verformen, dürfen die vertikalen Spannungen bestimmte Werte nicht überschreiten. Die auftretende Spannung ist eine Funktion einer gleichförmigen Belastung q und ist von den Materialeigenschaften (Modul des Halbraums) unabhängig.

Die Arbeiten von Boussinesq sind in diesem Jahrhundert vor allem von Odemark erweitert worden, indem durch die Einführung eines "Ersatzschichtdickensystems" die Berücksichtigung unterschiedlicher Materialien einzelner Schichten ermöglicht wird, dabei aber die Einfachheit des Berechnungsverfahrens erhalten bleibt [30].

Diese Methode wurde von P. Ullitz modifiziert, um einen nicht-linearen elastischen Untergrund einzubauen. Sie kann demzufolge auch benutzt werden um plastische Deformationen zu berechnen [44].

5.1.2. Burmister: Mehrschichtensysteme, 1943

Das von Burmister entwickelte Mehrschichtenmodell [9] kommt den bei den meisten Strassen vorkommenden, tatsächlichen Verhältnissen am nächsten. Unter der Annahme einer geschichteten Struktur, die durch verschiedene Parameter (Modul und Querdehnungszahl) gekennzeichnet sein können und einer kreisförmigen Last, hat Burmister ein Gleichungssystem entwickelt, das Spannungen und Verformungen zu

berechnen gestattet. Mehrere Lasten werden nach dem Superpositionsprinzip berücksichtigt. Ein Nachteil des Modells ist die Tatsache, dass die verschiedenen Schichten als unendlich ausgedehnt angenommen werden.

Die Lösung des von Burmister entwickelten Gleichungssystems bedingt die Bewältigung recht komplexer mathematischer Aufgaben. Die Benützung von Computern erlaubt erst heute die Bearbeitung der Gleichungen für einer Vielzahl von Schichten.

5.1.3. Finite Elemente

Wenige Strassenmaterialien haben ein linear-elastisches Verhalten. Ihr richtiges Verhalten könnte durch die Benützung eines nicht-linearen Berechnungsmodells mit finiten Elementen gelöst werden [13][17]. Es ist zwar keine exakte Methode, aber es können gute Resultate erreicht werden, wenn die Anzahl der Elemente richtig ist. Plastische Verformungen können ebenfalls damit berechnet werden [25]. Die Benützung von Computern ist auch bei dieser Methode nötig.

5.2. Probabilistische Modelle

5.2.1. Einführung

Man spricht immer mehr von probabilistischen Modellen. Man könnte meinen, dass sie zusammen in einem speziellen Kapitel analysiert und beurteilt werden sollten. Es ist aber nicht so. Gemeinsam haben alle diese Modelle die Verwendung der Wahrscheinlichkeitslehre, aber oft ist es der einzige gemeinsame Punkt. Grundsätzlich kann man sagen: Jedes deterministische Modell kann probabilistisch aufgebaut werden. Das gilt sowohl für empirische als auch für theoretische Modelle.

Materialien, Messungen, Strassenaufbau und nicht zuletzt Menschen sind nie vollkommen. Jeder Wert, den man für die Berechnung von Strassenverformungen benutzt, ist mit einer gewissen Unsicherheit gekoppelt. Die Verwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung ist das Verfahren um diese Ungewissheit zu messen.

Was bringt die Wahrscheinlichkeit bei der Beurteilung von Spurrinnenrechnung ? Eine Wahrscheinlichkeitsrechnung erlaubt dem Strassenfachmann:

- die Unsicherheiten in den Mess- und Erfahrungswerten mit in das Modell hineinzunehmen,
- die Unsicherheiten im Modell selbst zu berücksichtigen,
- und die Beurteilung und die Entscheidung mit einer gewissen messbaren Sicherheit vorzunehmen.

Das Ausmass der Benützung von probabilistischen Werten in Modellen kann ganz verschieden sein. Das Ideal würde alle Eingaben probabilistisch verlangen. Das ist für die Messwerte der empirischen Modelle relativ leicht. Anders ist es für die Werte der theoretischen Modelle, die nur durch sehr umfassende Forschungsarbeiten zurückgewonnen werden könnten.

Die Verwendung von Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik in der Strassendatenbank ist unerlässlich. Sie würde grosse Vorteile mit geringen Berechnungszeiten bringen.

5.2.2. Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik für Verhaltensmodelle

5.2.2.1. Eingabedaten

Eingabedaten sollten, wenn möglich und nötig, als Zufallsvariablen eingeführt werden. Das Hauptproblem ist zu wissen, welches aus einer grossen Anzahl von Verteilungsgesetze zu benützen ist. Die Werte können normal, lognormal, gamma, beta, gleich usw. verteilt sein.

Elderton und Johnson haben iterative Methoden entwickelt, um die verschiedenen Parameter für die verschiedenen Verteilungsgesetze zu bestimmen [15]. Sie sind sehr kompliziert, und die Ermittlung der Lösungen verlangt die Benützung von EDV. Man kann aber ein einfacheres Verfahren anwenden, indem die veränderliche β (Beta)-Verteilung benützt wird. Dies ist besonders nützlich für den Strassenfachmann, weil er meistens die Extremwerte der Stichprobe schätzen kann. Es ist aber zu bemerken, dass viele Parameter für Strassenverhaltensmodelle normal oder lognormal verteilt sind.

Beispiele und Verteilungen können in der Literatur gefunden werden [19][36]. Die Verteilung kann für die Erzeugung von Zufallsvariablen benützt werden oder, noch besser, während des ganzen Berechnungsvorganges einbezogen werden.

5.2.2.2. Erzeugung von Parametern

Es gibt eine zweite Methode, um Zufallsvariablen zu erzeugen: Die selbstregressive Methode. Parameter wie Oberflächenhöhe, Planumshöhe, Bitumengehalt, usw., die auf der ganzen Länge von Punkt zu Punkt verschieden sind, können damit reproduziert werden. Um die Strassenstruktur nachzubilden, kann z.B. die selbstregressive Methode zweiter Ordnung von Box und Jenkins benützt werden [8][46].

5.2.2.3. Berechnung und Resultate

Die Durchführung der ganzen probabilistischen Berechnung kann sehr zeitaufwendig sein, besonders wenn die mathematischen Aufgaben kompliziert sind, wie es zum Beispiel bei Burmister's Mehrschichtensystemen der Fall ist. Um diese Schwierigkeit zu überbrücken gibt es zwei Lösungen:

- Benützung von komplexen Modellen mit wenigen probabilistischen Variablen.
- Benützung von einfachen Modellen mit vielen probabilistischen Variablen .

Beide Lösungen ergeben gute Resultate, wie es in den zwei folgenden analysierten Programmen nachgewiesen ist.

Der grosse Vorteil der probabilistischen Modelle liegt in der Auslegung der Resultate. Für die Entwicklung der Spurrinnen bekommt man z.B. die Ergebnisse, dass in x Jahren die Tiefe zwischen T1 und T2 liegt, dass der wahrscheinlichste Wert Tm ist und dass die Wahrscheinlichkeit, dass die Spurrinnentiefe unter einer Limite Tmax liegt, y% ist. Eine Berechnung ohne Wahrscheinlichkeitslehre hätte nur den Wert Tm ergeben, was zu falschen Schlüssen führen könnte. So wird der grosse Vorteil der Benützung der Wahrscheinlichkeitstheorie für Verhaltensmodelle klar ersichtlich.

5.3. Computer Programme

5.3.1. Einführung

Wie oben erwähnt, braucht man Computer für die Berechnung von theoretischen Modellen. Die Computer Programme enthalten aber meistens nicht nur theoretische Modelle. Sie benützen auch empirische Modelle, welche eine bessere Wiedergabe der Realität ermöglichen.

Derzeit gibt es verschiedene Modellvorstellung zur Spurrinnenbildung wie z.B. im Shell-Modell [41], im VESYS-Modell [33], im PDMAP-Modell [16], im Monismith-Modell [27], im CASTOR-Modell [17], im MMOPP-Modell [46] und im Verstraeten-Modell [47]. Von diesen sind das VESYS-, PDMAP- und MMOPP-Modell statistisch aufgebaut, um Unterschiede bei den Baustoffeigenschaften auch in die Berechnung der Spurrinnentiefe miteinzubeziehen. Alle Modelle - mit Ausnahme des Shell-Modells - berechnen die Spurrinnentiefe als Summe der bleibenden Verformung in jeder einzelnen Oberbauschicht. Die im PDMAP verwendete Spurrinnenformel basiert auf Regressionsanalysen von unter Verkehr stehenden Strassenabschnitten (PDMAP verwendet AASHO-Strassen- testdaten), alle anderen Modelle (ausser MMOPP) beruhen auf Laborversuchen. Die Versuche, die für das Monismith-Modell verwendet werden, sind etwas komplizierter, weil triaxiale Dauerbelastungsversuche erforderlich sind.

Es folgt eine kurze Analyse von den zwei in der Literatur meistgenannten Computer Programmen, VESYS und MMOPP.

5.3.2. VESYS

Das "*VESYS- Programm*" wurde von der "Federal Highway Administration USA" entwickelt. Es gibt mehrere Versionen davon, die meistens auf Grosscomputern arbeiten. Entwicklungen am Grundprogramm sind auch im "Institut für Verkehrswirtschaft, Strassenwesen und Städtebau, Universität Hannover" im Gang [4]. In diesem Bericht wurde nur die Version VESYS 3AM, welche auf Microcomputer arbeitet, analysiert.

Das Programm berechnet stochastisch das Verhalten von Strassen in Funktion der Lasten, der Temperatur und des Aufbaus. Es berechnet die Längsebenheit, die Spurrinnen und die Risse, um den "Present Serviceability Index" bestimmen zu können. VESYS verwendet zwei Lösungsansätze: Einen mit "normalen" Elastizitätsmodulen und einen mit modifizierten Modulen, welche die Dauerbeanspruchung im Laborversuch berücksichtigen.

X = statistisch O = deterministisch XO = teilweise statistisch	VESYS	Statistisch	MMOPP	Statistisch
	Bemerkungen		Bemerkungen	
Eingabedaten				
<u>Oberbaustruktur</u>				
Schichtdicke		O		X
<u>Ueberrollungen</u>				
Last	Lastamplitude	X	Schwingaxesimulation	O
Anzahl Lasten	viele	O	höchstens 2	O
<u>Klima</u>				O
Belagtemperatur	pro Jahreszeit	O	berechnet	
<u>Materialeigenschaften</u>				
Bituminöse Schichten	E und Verformungseigenschaften pro Schicht und Jahreszeit	XO	E berechnet aus Materialkennwerten	X
Andere Schichten	E und Verformungseigenschaften pro Schicht und Jahreszeit	XO	E pro Schicht eingegeben	X
Berechnung				
Methode	Burmister kombiniert mit Labor- untersuchungen, statistisch		Odemark, Simulation	
Zeit (Olivetti PC)	ca. 30 min.		je nach Simulation (> 5 min.)	
Sprache	FORTRAN		TURBOBASIC	
Hardware	IBM-PC oder Compatibel		IBM-PC oder Compatibel	
Resultate				
	Tabellarisch	X	Graphisch, tabellarisch	XO

Abbildung 12: Vergleich VESYS - MMOPP

5.3.3. MMOPP

Das Programm "*Mathematical model of pavement performance*" (MMOPP) wurde von P. Ullidtz im "Institute of Roads, Transport and Town Planning, Technical University of Denmark" entwickelt. Es berechnet das Verhalten von Strassen in Funktion der Lasten, des Klimas und des Aufbaus [45].

Grundsätzlich wird die Strasse in der Länge in Abschnitte von je 0.3 m unterteilt. Für jeden dieser Abschnitte werden stochastische Werte eingegeben. Die "Outputdaten" werden auch stochastisch geliefert. Das Programm berechnet die Längsebenheit, die Spurrinnen und die Risse, um den "PSI" bestimmen zu können.

5.3.4. Vergleich

VESYS benützt komplexe Modelle mit wenigen probabilistischen Variablen und MMOPP einfache Modelle mit vielen probabilistischen Variablen. Beide ergeben gute Resultate, wie es in der Literatur [2][46] nachgewiesen wurde. Die beiden Programme sind kurz in der Abbildung 11 verglichen.

5.3.5. Bemerkung

Verstraeten und andere haben im "Centre de Recherches Routières" in Belgien ein Programm entwickelt, das um ein Verformungs- und Spannungspogramm (MTC093) aufgebaut ist. Dieses Programm ist leider nicht probabilistisch aufgebaut. Es ist aber sehr interessant, weil es verschiedene, relativ einfache Formeln zur Schätzung der Eingabedaten und der permanenten Verformungen angibt [47].

6. Schlussfolgerungen

Das Ziel des Forschungsauftrages war eine Zusammenstellung von im Ausland entwickelten Verhaltensmodellen für die Spurrinnenbildung und die Ueberprüfung ihrer Gültigkeit für schweizerische Verhältnisse.

Die relativ grosse Palette der analysierten Strecken erlaubte eine gute Beurteilung der generellen Gültigkeit der betrachteten Modelle. In der Tat stammen die benutzten Erfahrungswerte aus 20 verschiedenen Oberbaustrukturen, von denen 10 mit Zementstabilisierung aufgebaut waren. Die ungenügende Anzahl von Untergrundarten, die benützte Methode zur Messung der Spurrinnentiefe (1.2 m Latte) und die verkürzte Zeitspanne der Rundlaufversuche haben leider nicht erlaubt, Formeln für die Bestimmung der Modellkonstanten zu finden. Diese Studie soll später aufgrund einer Vielzahl von Werten in einer Datenbank erfolgen.

6.1. Empirische Modelle

Diese Arbeit hat gezeigt (Kapitel 4.1), dass die Spurrinnenbildung eine Funktion der Anzahl Ueberrollungen ist und zwar, dass ein linearer Zusammenhang zwischen der Spurrinnentiefe und der äquivalenten Verkehrslast besteht.

Die Ergebnisse aus den Langzeitbeobachtungen beweisen, dass 2 oder 3 Messungen im Intervall von zwei oder mehr Jahren genügen, um eine gültige Prognose durchzuführen. Diese Messungen sind meist vorhanden (Abnahmewert und eine oder mehrere andere Messungen). Durch die vermehrte Verwendung dynamischer Messgeräte werden zukünftig auch mehr Ergebnisse in statistischer Form vorliegen. Dies erlaubt, aussagekräftige Prognosen zu berechnen.

Zur Bestimmung der Modellkonstanten wurde keine gültige Regel gefunden. Die Tatsache, dass fast jeder Kanton bzw. jede Gemeinde eigene "Baugewohnheiten" und Klima haben, stellt einen allgemeinen Forschungsauftrag zu diesem Zweck in Frage. Viel nützlicher wäre der Einbau eines statistischen Pakets in der Strassendatenbank selbst, was eine "lokale" Bestimmung der Konstanten aufgrund regionaler Verhältnisse und Messgewohnheiten erlauben würde.

Eine Benützung des von Meyer und Haas entwickelten Modells wäre auch möglich (Kapitel 4.2). Die Bemerkungen über die Bestimmung von Konstanten behalten auch hier ihre Gültigkeit.

Die Modelle, bei denen die bleibende Deformation eine Funktion der Deflektion und anderer Faktoren ist, sind für schweizerische Verhältnisse ungeeignet.

Die Modelle aus Laborversuchen sind nicht direkt brauchbar; sie sind

meistens als Brücke zwischen der Realität und den theoretischen Modellen in den Computer Programmen benutzt.

6.2. Theoretische Modelle

Die Analyse der Programme VESYS und MMOPP hat gezeigt, dass sie nicht rein theoretisch aufgebaut sind, sondern dass sie bestimmte empirische Teile beinhalten. Ihr Einbau in einem Erhaltungsmanagementprogramm (MSE-Programm) ist im heutigen Zustand problematisch aus folgenden Gründen:

- VESYS und MMOPP waren ursprünglich für die Forschung gedacht. Sie sind demzufolge ziemlich kompliziert und ihre Anwendung ist nur durch Spezialisten möglich.
- Die dafür erforderliche Rechenzeit ist gross, besonders wenn man denkt, dass eine Strassendatenbank viele Strassen mit sehr verschiedenen Aufbauten und Verhaltensweisen enthält.

Die Verwendung einer Weiterentwicklung dieser Programme wäre aber nützlich, um das Verhalten von Strassen, wo eine oder wenige Messungen vorhanden sind, prognostizieren zu können. VESYS erlaubt die Berechnung für fast alle Strassenstrukturen. Das MMOPP-Programm ist für die hier gegebenen Ziele aber besser geeignet:

- Es erlaubt die Benützung der Daten in der vorhandenen Form (Mittelwert, Standardabweichung).
- Es benötigt keine Laboruntersuchungen zur Prüfung des Verformungswiderstandes.
- Es benützt ein einfaches theoretisches Modell, das zwar weniger präzise, aber viel schneller ist.

Die beste Lösung wäre ein theoretisches Modell, das die Vorteile der oben aufgelisteten Programme hätte, das heisst:

- Verwendung der Formeln zur Schätzung der Inputdaten aus dem Belgischen Programm
- Rechenphilosophie des MMOPP- Programms
- Berechnung für alle möglichen Strassenstrukturen
- probabilistische und graphische Resultate
- Tabellen von Schätzwerten für die in der Schweiz üblichen Strassenbaumaterialien
- kurze Rechenzeit.

Dieses Programm könnte mit den gemessenen Werten geeicht werden, was eine noch bessere Prognose erlauben würde. Ein solches Programm existiert leider noch nicht; es könnte aber entwickelt werden.

6.3. Vorschlag

Der Einbau eines empirischen Modells in einem Programm für das Management der Strassenerhaltung (gekoppelt mit einer Strassendatenbank) ist unerlässlich. Dafür kommt besonders das Modell $T = f(N)$ in Frage. Dieses Modell soll statistisch aufgebaut werden und durch ein statistisches Paket ergänzt werden.

Der Einbau eines theoretischen Modell in einem MSE-Programm wäre zur Zeit nicht möglich. Die Entwicklung eines solchen Programms würde aufwendig und teuer sein. Das beste wäre, die Weiterentwicklung solcher Programme im Ausland abzuwarten. Man kann sich aber fragen, ob ein solch teures und kompliziertes Paket überhaupt in ein MSE-Programm gehört. Die Herren Kenis, Beckedahl (VESYS- Entwickler) und Ullidtz (MMOPP-Entwickler), denen hier für ihre Hilfe gedankt sei, sind eher negativer Meinung.

7. Literaturverzeichnis

- [1] AKHTER G. F. und WITCZAK M. W., Sensitivity of Flexible Pavement Performance to Bituminous Mix Properties, Transportation Research Record 1034, Washington D.C. 1985.
- [2] ANDERSON D.I. und andere, Field verification of the VESYS IIM structural subsystem in UTAH, The Fourth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1977.
- [3] AUTRET P. und andere, Pratique d'ALIZE III, Laboratoire Central des Ponts & Chaussées, Division Structures et Caractéristiques des Chaussées, France 1981.
- [4] BECKEDAHL H. und andere, On improvements of the existing VESYS-concepts, The Sixth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1987.
- [5] BISAR-PC, Shell pavement design method, user manual, London 1987.
- [6] BOLK H. J. N. A., Prediction of rutting in asphalt pavements on the basis of the creep test, The Fifth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1982.
- [7] BOUSSINESQ I., Application des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques, 1885.
- [8] BOX G. E. P. und JENKINS G. M., Time series analysis, Holden-Day, New York 1976.
- [9] BURMISTER D. M., The theory of stresses and displacements in layered systems and applications to the design of airport runways, Highway Research Board 23, Washington D.C. 1943.
- [10] Comité technique des caractéristiques de surface de l'AIPCR, Mesure de l'uni des chaussées, Routes / Roads, AIPCR, Nr. 265, Paris 1988.
- [11] DAVID M., Dynamische Dauerbelastungsuntersuchungen an Strassenkonstruktionen, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 219, Bonn-Bad Godesberg 1977.
- [12] DAVID M., Spurrinnen, Versuchsstrecke Hipoltstein, Forschungsarbeiten aus dem Strassenwesen, Heft 95, Bonn-Bad Godesberg 1980.
- [13] DUNCAN J. M. und andere, Finite element analysis of pavements, Highway Research Record 228, Washington D.C. 1968.

- [14] EISENMANN J. and HILMER A., Influence of wheel load and inflation pressure on the rutting effect at asphalt-pavements, The Sixth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1987.
- [15] ELDERTON W. P. and JOHNSON N. L., Systems of Frequency Curves, Cambridge University Press, London 1969.
- [16] FINN F. und andere, The use of distress prediction subsystems for the design of pavement structures, The Fourth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1977.
- [17] GOACOLOU H., Calculation of the rutting of structures - CASTOR program, The Sixth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1987.
- [18] GRIMAUX J. P. und HIERNAUX R., Utilisation de l'ornièreur type LPC, Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, numéro spécial V, Paris 1977.
- [19] HARR M. E., Mécanique des milieux formés de particules, Presses polytechniques romandes, Lausanne 1981.
- [20] HIGHWAY RESEARCH BOARD, The AASHO Road Test, Report 5 Pavement Research, Washington D.C. 1962.
- [21] HUSCHEK S., Evaluation of rutting due to viscous flow in asphalt pavements, The Fourth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1977.
- [22] HUSCHEK S., Interpretation der Ergebnisse aus Kriechversuchen an Asphaltkörpern, Colloquium 77, ISETH, Zürich 1977.
- [23] HUSCHEK S. und PIGOIS M. L., Orniérage, étude comparative de différents dispositifs d'essai, travail de recherche 12/82, Bundesamt für Strassenbau, Lausanne - Zürich 1984.
- [24] JACOT A. und SCAZZIGA I., Langzeitverhalten und Dimensionierung von Zementstabilisierungen - Versuch Nr. 2 auf der Rundlaufanlage der ETHZ, Forschungsauftrag 8/83, Bundesamt für Strassenbau, Zürich 1985.
- [25] KIRWAN R. W. und andere, A computer based subsystem for the prediction of pavement deformation, The Fourth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1977.
- [26] MEYER F. und HAAS R., A working subsystem for permanent deformation in asphalt pavements, The Fourth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1977.
- [27] MONISMITH C. L. und andere, A subsystem to predict rutting in asphalt concrete pavement structures, The Fourth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1977.

- [28] NIHON DORO KODAN, The analysis of asphalt pavement research results on the Tomei and Chuo expressways, The Fourth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1977.
- [29] Normentwurf "Zustandserfassung und Bewertung von Strassen", VSS-Subkommission 174/3, Zürich 1988.
- [30] ODEMARK N., Undersökning av elasticitetsegenskaperna hos olika jordarter samt teori för beräkning av belägningar enligt elasticitetsteori, Staens Väginstitut, Meddelande 77, 1949.
- [31] OECD, Systèmes de gestion des chaussées, Paris 1987
- [32] PAS, Pavement Analysis Software, Ullidtz Consult, Denmark 1987.
- [33] Predictive design procedures, VESYS users manual, Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-77-154, Washington D.C. 1978.
- [34] ROSSNER H.P. und SCAZZIGA I., Verhalten des Strassenoberbaus unter wiederholter Belastung - Versuch Nr. 1 auf der Rundlaufanlage der ETHZ, Forschungsarbeiten 13/77 und 34/80, Bundesamt für Strassenbau, Zürich 1982.
- [35] ROLT J. und andere, Performance of a full-scale pavement design experiment in Jamaica, Transportation Research Record 1117, Washington D.C. 1987.
- [36] SACHS L., Angewandte Statistik, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1974.
- [37] SARAF C. L. und andere, Rut depth prediction, Transportation Research Record 616, Washington D.C. 1976.
- [38] SCAZZIGA I., Beobachtung des Verhaltens ausgewählter Strassenabschnitte, Zwischenbericht zu Forschungsauftrag 26/67, Bundesamt für Strassenbau, Zürich 1973.
- [39] SCAZZIGA I., Beobachtung des Verhaltens ausgewählter Strassenabschnitte, Forschungsauftrag 17/73, Bundesamt für Strassenbau, Zürich 1981.
- [40] SEEBERGER M., Beobachtungsstrecken mit verschiedenen Strassenbaubitumen, Forschungsauftrag 3/81, Bundesamt für Strassenbau, Dübendorf 1986.
- [41] SHELL, Shell pavement design manual, Shell International Petroleum Company Limited, London 1978.
- [42] TREBOUX C. und SCAZZIGA I., Vergleich von Oberbauvarianten für Kantons- und Gemeindestrassen - Versuch Nr. 3 auf der Rundlaufanlage der ETHZ, Forschungsaufträge 35/80 und 17/85, Bundesamt für Strassenbau (in Vorbereitung).

- [43] TREYBIG H. J. und andere, Design of asphalt concrete overlays using layer theory, The Fourth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1977.
- [44] ULLIDTZ P., Overlay and stage by stage design, The Fourth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1977.
- [45] ULLIDTZ P., Pavement analysis, Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo 1987
- [46] ULLIDTZ P. und LARSEN B. K., Predictive design of flexible pavements, Institute of Roads, Transport and Town Planning, TU Denmark, Report no. 35, 1982.
- [47] VERSTRAETEN J. und andere, The belgian road research center's overall approach to asphalt pavement structural design, The Fourth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1977.
- [48] VEVERKA V. und ROMAIN J., Pavement evaluation and overlay design practical method of the Belgian Road Research Center, The Fifth International Conference on Structural Design of Asphalt pavements, Ann Arbor 1982.
- [49] WATANATADA T. und andere, The highway design and maintenance standards model, volume 1, description of the HDM-III model, A World Bank Publication, Baltimore 1987.

8. Verzeichnis der Beilagen

- Beilage 1 : Langzeitbeobachtungen, Lage und Messungen
- Beilage 2 : Rundlaufversuche, Ueberrollungen und Belastungen
- Beilage 3 : Rundlauf - Regression für das Modell 7
- Beilage 4 : Rundlauf - Regression für das Modell 10
- Beilage 5 : Rundlauf - Regression für das Modell 5
- Beilage 6 : Rundlauf - Regression für das Modell 1
- Beilage 7 : Rundlauf - Regression für das Modell 6
- Beilage 8 : Rundlauf - Regression und Prognose für das Modell 10
- Beilage 9 : Rundlauf - Regression und Prognose für das Modell 5
- Beilage 10: Rundlauf - Regression und Prognose für das Modell 1
- Beilage 11: Rundlauf - Regression und Prognose für das Modell 6
- Beilage 12: Berechnungen für Langzeitbeobachtungen mit Modell 6
- Beilage 13: Rundlauf - Regression für das Modell f (N, E, SN)

Langzeitbeobachtungen

Lage

Abschnittsnummer	Strasse	Richtung	Zählstelle
4, 5, 8, 9 10, 11, 12 13, 14 18, 19 21, 22, 23 24, 25, 26, 27	N 1, bei Derendingen / SO N 6, Umfahrung Muri N 6, Umfahrung Muri N 3, Thalwil - Horgen N 3, bei Wesen / GL N 1, bei Grauholz / BE	Bern Thun Bern Zürich Chur Bern	Härkingen Allmendingen, Müri Allmendingen, Müri Wollishofen Mühlehorn Grauholz

Spurrinnenmessungen in mm

	5.1966	3.1969	5.1971	10.1973	5.1977	7.1981	5.1983
4	6.1967	1.4	4.3	6.7	6.8	8.2	
5		1.4	5.1	4.5	5.9	7.3	
8		1.5	4.3	4.3	4.9	5	
9		1.5	4.7	4.3	4.9	5	
10		1.5	4.9	7.2	5.7	6.4	6.6
11		3	8.1	12.1	5.8	6.7	7.3
12		2.8	7.7	12.4	5.6	6.9	7
13		2.5	6	11.7			
14		2.6	6.6	14.7			
18		1.5	5.5	8.4	2.2	2.4	2.5
19		1.8	6	8.5	2.3	3.5	3.7
21	1	2.5	6.2	7.1973			
22	1	2.8	6.1		7.8	8	
23	1	2.9	7.8		8	8.3	
24				8.1975	1	1.2	1.6
25					1	1.3	1.8
26	7.1965 *		5.1	6.3	6.4	7	8.1
27			4.7	5.6	8.2	9.9	11.2

* Reparaturen mit Datum

Rundlaufversuche

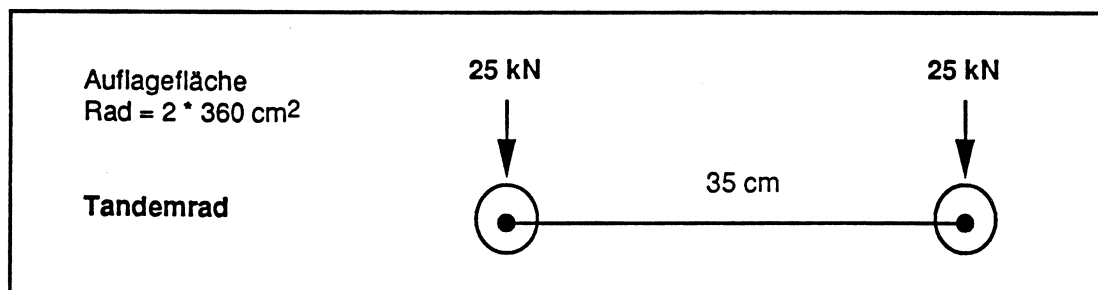
Ueberrollungen (im Rundlauf)

Abschnitt	Rundlauf	N max	Abschnitt	Rundlauf	N max
11	Nr. 1	1516	24.1	Nr. 2	5970
12	Nr. 1	1516	24.2	Nr. 3	19024
13	Nr. 1	1516	25.1	Nr. 2	2172
14	Nr. 1	780	25.2	Nr. 2	3528
15	Nr. 1	1364	25.3	Nr. 3	5970
21	Nr. 2	5970	31.1	Nr. 3	2094
22.1	Nr. 2	1132	31.2	Nr. 3	13053
22.2	Nr. 2	3808	32.1	Nr. 3	2094
23	Nr. 2	5970	32.2	Nr. 3	13053
			33	Nr. 3	13053

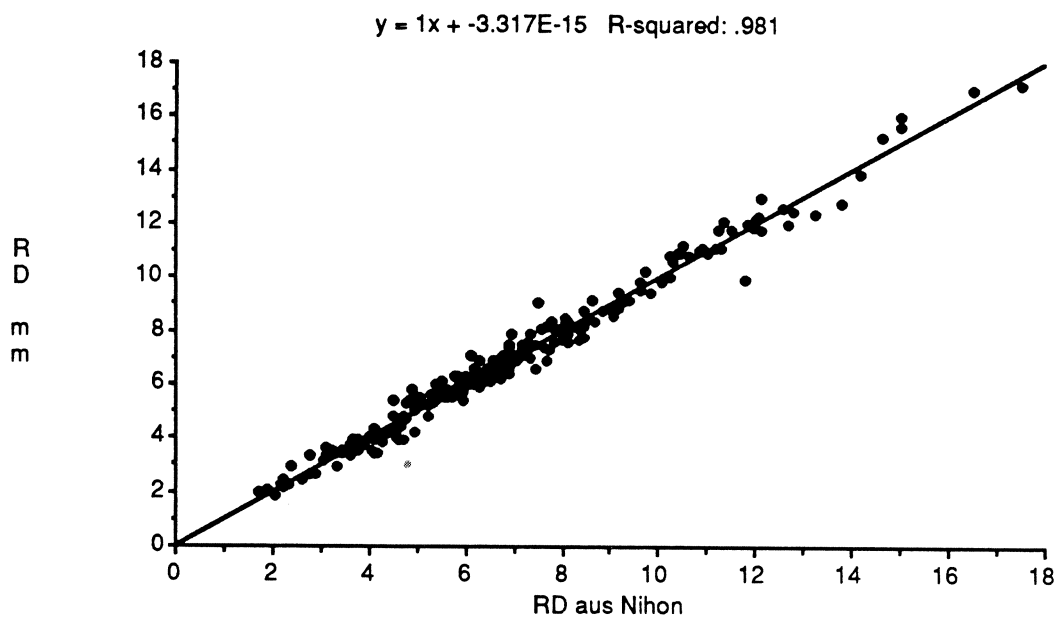
N max : Maximale äquivalente Verkehrsüberrollungen (in 1000)

Abschnitt 25.3 : Rundlaufversuch Nr. 2, Feld 5, nach zweiter Belagsreparatur

Belastungen (im Rundlauf)



Rundlauf - Regression für das Modell 7



Simple - Y : RD mm X : RD aus Nihon

DF:	R-squared:	Std. Err.:	Coef. Var.:
236	.981	.398	5.774

Beta Coefficient Table

Parameter:	Value:	Std. Err.:	Variance:	T-Value:
INTERCEPT	-3.317E-15	.068	.005	-4.901E-14
SLOPE	1	.009	.00008254	110.073

Analysis of Variance Table

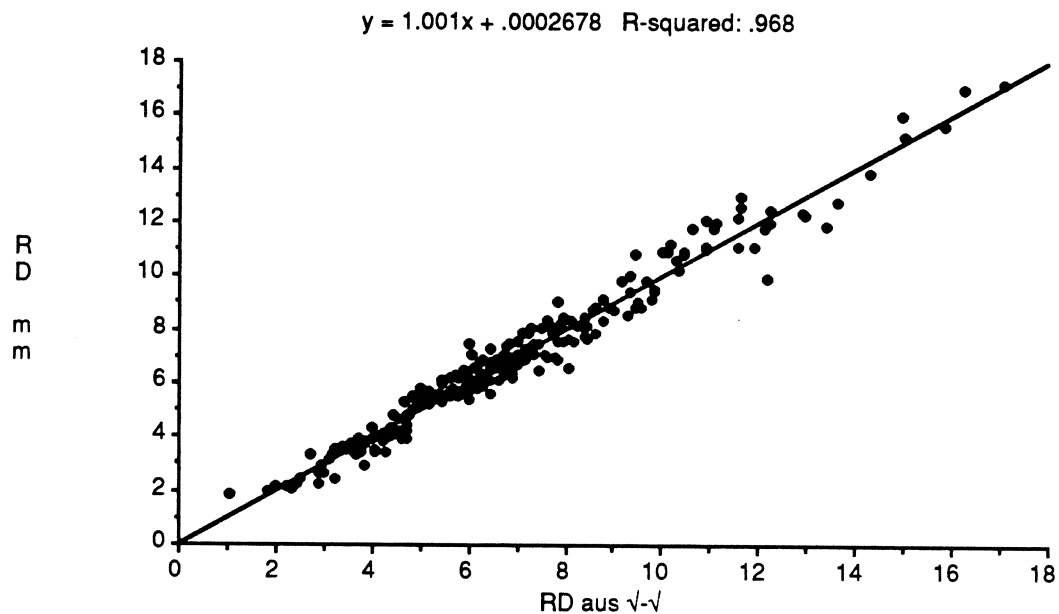
Source	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
REGRESSION	1	1915.217	1915.217	12116.003
RESIDUAL	235	37.147	.158	$p \leq .0001$
TOTAL	236	1952.364		

Residual Information Table

SS[e(i)-e(i-1)]:	e ≥ 0:	e < 0:	DW test:
68.477	113	124	1.843

Note: 12 case(s) deleted with missing values.

Rundlauf - Regression für das Modell 10



Simple - Y : RD mm X : RD aus $\sqrt{-\sqrt{}}$

DF:	R-squared:	Std. Err.:	Coef. Var.:
236	.968	.519	7.544

Beta Coefficient Table

Parameter:	Value:	Std. Err.:	Variance:	T-Value:
INTERCEPT	.0002678	.089	.008	.003
SLOPE	1.001	.012	.0001433	83.664

Analysis of Variance Table

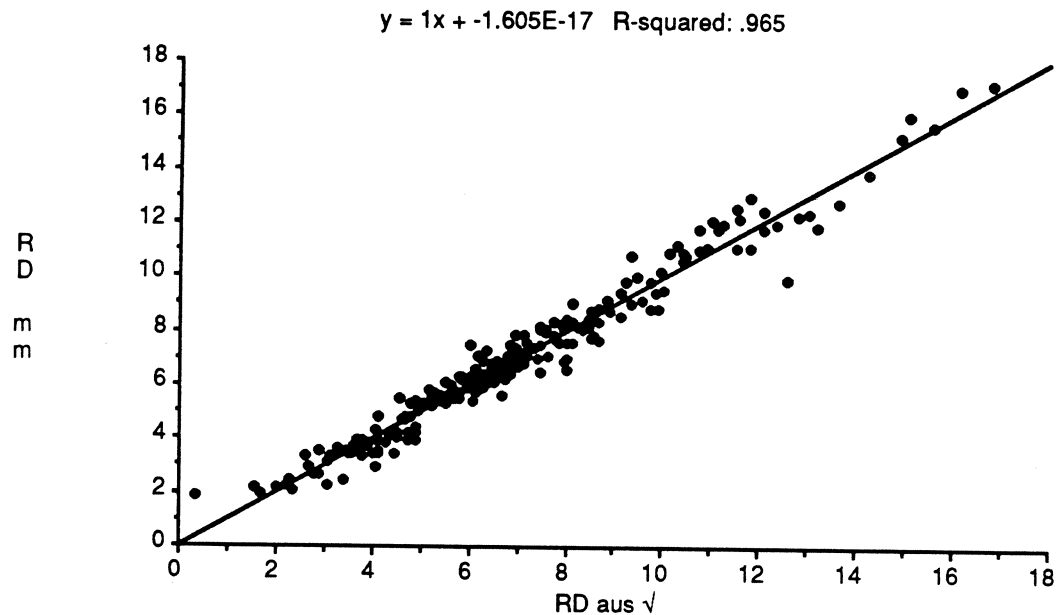
Source	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
REGRESSION	1	1888.946	1888.946	6999.654
RESIDUAL	235	63.418	.27	$p \leq .0001$
TOTAL	236	1952.364		

Residual Information Table

SS[e(i)-e(i-1)]:	$e \geq 0$:	$e < 0$:	DW test:
84.374	121	116	1.33

Note: 12 case(s) deleted with missing values.

Rundlauf - Regression für das Modell 5



Simple - Y : RD mm X : RD aus √

DF:	R-squared:	Std. Err.:	Coef. Var.:
236	.965	.541	7.855

Beta Coefficient Table

Parameter:	Value:	Std. Err.:	Variance:	T-Value:
INTERCEPT	-1.605E-17	.093	.009	-1.73E-16
SLOPE	1	.012	.0001553	80.232

Analysis of Variance Table

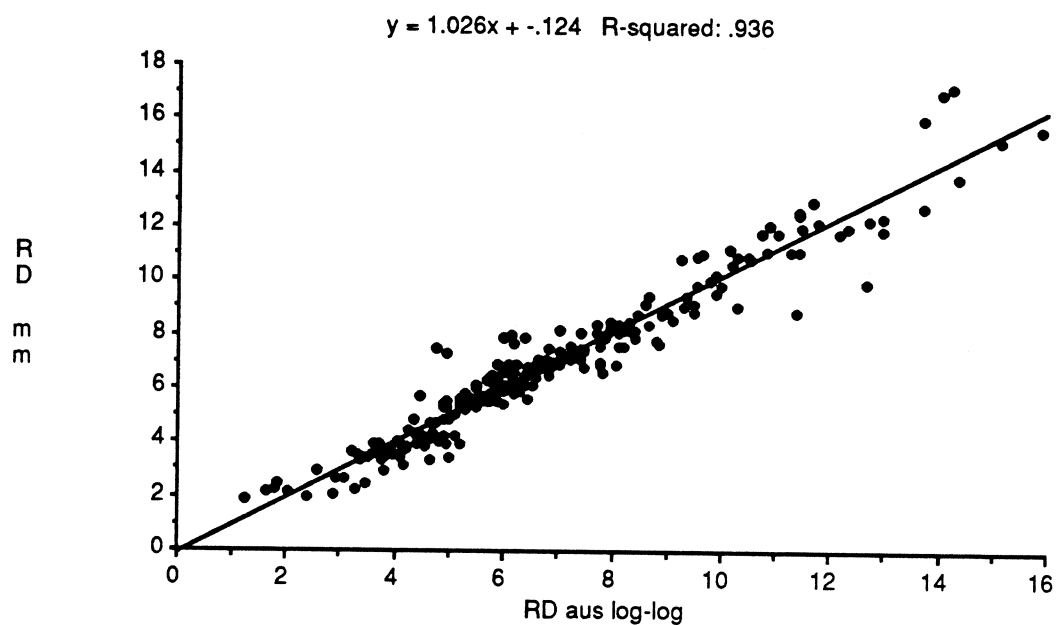
Source	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
REGRESSION	1	1883.6	1883.6	6437.22
RESIDUAL	235	68.764	.293	p ≤ .0001
TOTAL	236	1952.364		

Residual Information Table

SS[e(i)-e(i-1)]:	e ≥ 0:	e < 0:	DW test:
89.469	122	115	1.301

Note: 12 case(s) deleted with missing values.

Rundlauf - Regression für das Modell 1



Simple - Y : RD mm X : RD aus log-log

DF:	R-squared:	Std. Err.:	Coef. Var.:
236	.936	.731	10.611

Beta Coefficient Table

Parameter:	Value:	Std. Err.:	Variance:	T-Value:
INTERCEPT	-.124	.129	.017	-.964
SLOPE	1.026	.018	.0003076	58.497

Analysis of Variance Table

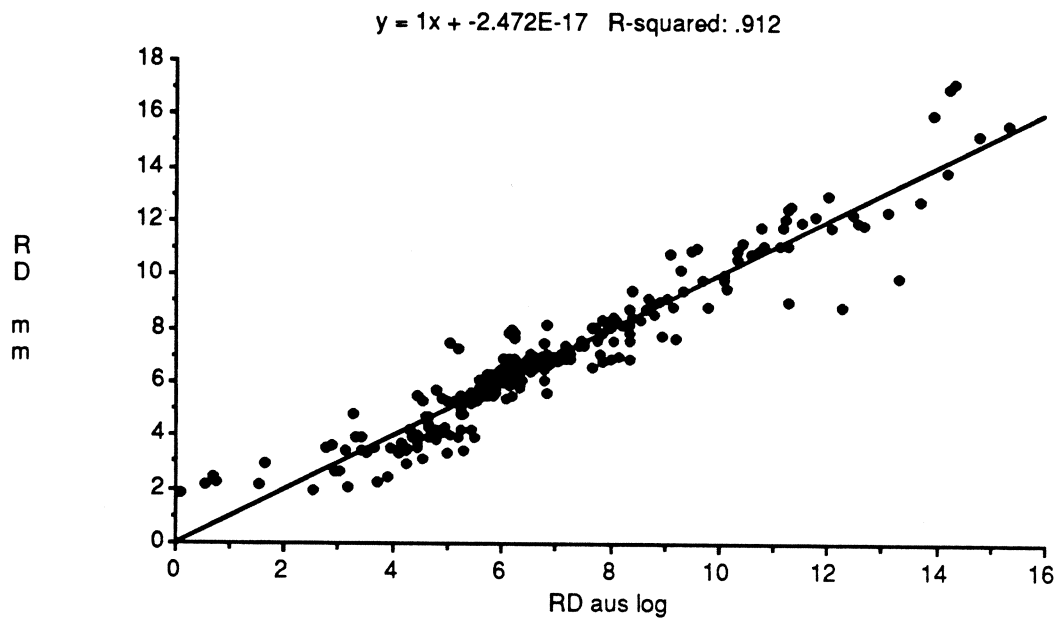
Source	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
REGRESSION	1	1826.9	1826.9	3421.856
RESIDUAL	235	125.464	.534	$p \leq .0001$
TOTAL	236	1952.364		

Residual Information Table

SS[e(i)-e(i-1)]:	e ≥ 0:	e < 0:	DW test:
115.823	113	124	.923

Note: 12 case(s) deleted with missing values.

Rundlauf - Regression für das Modell 6



Simple - Y : RD mm X : RD aus log

DF:	R-squared:	Std. Err.:	Coef. Var.:
236	.912	.853	12.393

Beta Coefficient Table

Parameter:	Value:	Std. Err.:	Variance:	T-Value:
INTERCEPT	-2.472E-17	.15	.022	-1.649E-16
SLOPE	1	.02	.0004089	49.454

Analysis of Variance Table

Source	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
REGRESSION	1	1781.216	1781.216	2445.747
RESIDUAL	235	171.148	.728	$p \leq .0001$
TOTAL	236	1952.364		

Residual Information Table

SS[e(i)-e(i-1)]:	$e \geq 0$:	$e < 0$:	DW test:
156.42	118	119	.914

Note: 12 case(s) deleted with missing values.

Rundlauf - Regression und Prognose für das Modell 10

Abschnitt Nr.	RD in mm	N in 1000	m	b	Prognose für									RD aus dem besten Modell
					RD-500	RD-1000	RD-1500	RD-2000	RD-3000	RD-4000	RD-5000	RD-10000	RD-15000	
11.0	5.9	46.2												RD-500 = 7.5
	6.1	55.7	0.0614	2.0119	11.5	15.6	19.3	22.6						RD-1000 = 8.1
	6.7	185.9	0.0216	2.2947	7.7	8.9	9.8	10.6						RD-1500 = 8.4
	7.1	328.6	0.0200	2.3082	7.6	8.6	9.5	10.2						RD-2000 = 8.6
	7.4	480.0	0.0187	2.3198	7.5	8.5	9.3	10.0						
	8.1	633.8	0.0206	2.3003		8.7	9.6	10.4						
	7.9	779.9	0.0189	2.3194		8.5	9.3	10.0						
	8.3	904.7	0.0188	2.3215		8.5	9.3	10.0						
	8.4	1078.9	0.0181	2.3310			9.2	9.9						
	8.2	1364.6	0.0160	2.3628			8.9	9.5						
	7.9	1516.9	0.0139	2.3985				9.1						
12.0	6.7	46.2												RD-500 = 9.6
	7.0	55.7	0.0868	1.9979	15.5	22.5	28.7	34.6						RD-1000 = 10.7
	7.6	185.9	0.0220	2.4588	8.7	10.0	11.0	11.9						RD-1500 = 11.4
	8.9	328.6	0.0315	2.3806	9.5	11.4	13.0	14.4						RD-2000 = 12.0
	9.8	480.0	0.0343	2.3542	9.7	11.8	13.6	15.1						
	9.8	633.8	0.0313	2.3860		11.4	13.0	14.3						
	10.9	779.9	0.0324	2.3739		11.5	13.2	14.6						
	10.8	904.7	0.0311	2.3895		11.4	12.9	14.3						
	11.1	1078.9	0.0298	2.4083			12.7	14.0						
	11.1	1364.6	0.0271	2.4499			12.2	13.4						
	11.1	1516.9	0.0250	2.4849				13.0						
13.0	6.5	46.2												RD-500 = 10.8
	7.1	55.7	0.1722	1.3800	27.3	46.6	64.8	82.4						RD-1000 = 12.0
	10.0	328.6	0.0508	2.2444	11.4	14.8	17.7	20.4						RD-1500 = 12.7
	10.9	480.0	0.0481	2.2662	11.2	14.4	17.1	19.5						RD-2000 = 13.1
	11.8	633.8	0.0467	2.2803			14.1	16.7						
	12.0	779.9	0.0437	2.3141			13.7	16.1						
	12.2	904.7	0.0410	2.3473			13.3	15.5						
	11.8	1078.9	0.0366	2.4086				14.6						
	12.3	1364.6	0.0327	2.4710				14.0						
	11.9	1516.9	0.0289	2.5336				14.7						
14.0	5.3	46.2												RD-500 = 10.0
	5.3	55.7	0.0000	2.3020	5.3	5.3								RD-1000 = 13.8
	6.8	185.9	0.0467	1.9700	9.1	11.9								
	7.7	328.6	0.0435	1.9958	8.8	11.4								
	9.5	480.0	0.0499	1.9360	9.3	12.3								
	11.8	633.8	0.0581	1.8489		13.6								
	12.5	779.9	0.0597	1.8298		13.8								
15.0	3.4	46.2												RD-500 = 6.4
	3.9	55.7	0.1961	0.5113	24.0	45.1	65.7							RD-1000 = 8.1
	4.8	185.9	0.0445	1.5898	6.7	9.0	11.0							RD-1500 = 9.5
	5.5	328.6	0.0406	1.6218	6.4	8.4	10.2							
	6.1	480.0	0.0386	1.6403	6.3	8.2	9.8							
	7.4	633.8	0.0423	1.6018		8.6	10.5							
	7.5	779.9	0.0412	1.6145		8.5	10.3							
	7.6	904.7	0.0393	1.6387		8.3	10.0							
	8.1	1078.9	0.0379	1.6579			9.8							
	9.4	1364.6	0.0380	1.6557			9.8							
21.0	3.0	345.3												
	3.6	550.9	0.0337	1.1048		4.7	5.8	6.8	8.7	10.5	12.2	20.1		RD-1000 = 4.3
	3.4	674.5	0.0177	1.4225		3.9	4.4	4.9	5.7	6.5	7.2	10.2		RD-1500 = 5.2
	3.5	914.8	0.0107	1.5719		3.7	4.0	4.2	4.7	5.1	5.4	7.0		RD-2000 = 5.9
	3.4	919.4	0.0082	1.6264		3.6	3.8	4.0	4.3	4.6	4.9	6.0		RD-3000 = 7.2
	4.2	1131.9	0.0147	1.4766			4.2	4.5	5.2	5.8	6.3	8.7		RD-4000 = 8.2
	4.2	1332.8	0.0160	1.4440			4.3	4.7	5.4	6.0	6.6	9.3		RD-5000 = 9.1
	5.6	1538.2	0.0245	1.2286				5.4	6.6	7.7	8.8	13.5		RD-10000 = 12.8
	6.2	1949.7	0.0290	1.1073				5.8	7.3	8.6	10.0	16.0		
	6.5	2171.4	0.0307	1.0591					7.5	9.0	10.4	17.1		
	6.8	2414.0	0.0313	1.0421					7.6	9.1	10.6	17.4		
	6.8	2603.3	0.0309	1.0540					7.5	9.1	10.5	17.2		
	6.9	2818.2	0.0302	1.0759					7.4	8.9	10.3	16.8		
	7.6	3051.5	0.0303	1.0720						8.9	10.3	16.8		
	8.1	3270.9	0.0306	1.0615						9.0	10.4	17.0		
	8.4	3528.5	0.0308	1.0577						9.0	10.5	17.1		
	8.5	3808.0	0.0305	1.0669						9.0	10.4	16.9		
	8.2	4054.0	0.0296	1.0969							10.2	16.5		
	8.2	4257.3	0.0287	1.1283							10.0	16.0		
	8.4	4534.5	0.0279	1.1578							9.8	15.6		
	8.8	4770.1	0.0273	1.1776							9.7	15.3		
	8.6	5019.6	0.0266	1.2065								14.9		
	9.0	5239.0	0.0261	1.2257								14.7		
	9.1	5495.6	0.0255	1.2456								14.4		
	10.2	5969.7	0.0254	1.2492								14.4		
22.1	2.2	19.6												RD-500 = 5.4
	3.5	186.0	0.0421	1.2962	5.0	6.9	8.6							RD-1000 = 7.1
	4.8	345.3	0.0490	1.2493	5.5	7.8	9.9							RD-1500 = 8.4
	5.6	550.9	0.0476	1.2627		7.7	9.6							
	5.9	674.5	0.0455	1.2843		7.4	9.3							
	6.4	914.8	0.0422	1.3258		7.1	8.8							

	6.6	919.4	0.0416	1.3342			7.0	8.7										
	8.2	1131.9	0.0437	1.3024				9.0										
22.2	6.6	1332.8																
	9.1	1536.2	0.1668	-3.5202				8.6	15.5	31.5	49.4						RD-1500 =	6.5
	11.2	1949.7	0.0973	-0.9112					11.8	19.5	27.5						RD-2000 =	10.6
	12.1	2171.4	0.0859	-0.4701						17.9	24.6						RD-3000 =	13.6
	13.0	2414.0	0.0780	-0.1577						16.9	22.8						RD-4000 =	15.7
	12.0	2603.3	0.0634	0.4320						15.2	19.7							
	12.4	2818.2	0.0543	0.8080						14.3	18.0							
	12.8	3051.5	0.0480	1.0708							16.9							
	13.9	3270.9	0.0460	1.1607							16.5							
	15.2	3528.5	0.0461	1.1538							16.6							
	15.6	3808.0	0.0453	1.1927							16.4							
23.0	2.3	19.6															RD-500 =	3.4
	2.7	186.0	0.0137	1.4564	3.1	3.6	3.9	4.3	4.9	5.4	5.9	8.0					RD-1000 =	3.9
	3.3	345.3	0.0202	1.4116	3.5	4.2	4.8	5.4	6.4	7.2	8.1	11.8					RD-1500 =	4.4
	3.5	550.9	0.0196	1.4178		4.1	4.7	5.3	6.2	7.1	7.8	11.4					RD-2000 =	4.7
	3.7	674.5	0.0195	1.4185		4.1	4.7	5.2	6.2	7.0	7.8	11.4					RD-3000 =	5.4
	3.7	914.8	0.0174	1.4453		4.0	4.5	4.9	5.8	6.5	7.2	10.1					RD-4000 =	6.0
	3.8	919.4	0.0170	1.4506		4.0	4.4	4.9	5.7	6.4	7.0	9.9					RD-5000 =	6.6
	3.9	1131.9	0.0162	1.4620			4.4	4.8	5.5	6.2	6.8	9.5					RD-10000 =	9.1
	3.8	1332.8	0.0147	1.4872			4.2	4.6	5.3	5.8	6.4	8.7						
	4.3	1536.2	0.0148	1.4847				4.6	5.3	5.9	6.4	8.8						
	5.3	1949.7	0.0168	1.4449				4.8	5.6	6.3	6.9	9.8						
	5.0	2171.4	0.0169	1.4434					5.6	6.3	7.0	9.8						
	5.3	2414.0	0.0172	1.4378					5.7	6.4	7.0	9.9						
	5.2	2603.3	0.0169	1.4436					5.6	6.3	7.0	9.8						
	5.4	2818.2	0.0168	1.4463					5.6	6.3	6.9	9.8						
	6.1	3051.5	0.0174	1.4318						6.4	7.1	10.0						
	5.7	3270.9	0.0172	1.4372						6.4	7.0	9.9						
	6.3	3528.5	0.0174	1.4301						6.4	7.1	10.1						
	6.2	3808.0	0.0174	1.4321							7.1	10.0						
	6.1	4054.0	0.0171	1.4404							7.0	9.9						
	6.0	4257.3	0.0167	1.4524							6.9	9.7						
	6.1	4534.5	0.0163	1.4839							6.8	9.6						
	6.1	4770.1	0.0159	1.4764							6.8	9.4						
	6.1	5019.6	0.0154	1.4896								9.2						
	6.3	5239.0	0.0152	1.4990								9.1						
	6.2	5495.6	0.0148	1.5114								8.9						
	7.9	5969.7	0.0152	1.4963								9.1						
24.1	2.5	19.6															RD-500 =	3.5
	2.7	186.0	0.0067	1.5512	2.9	3.1	3.3	3.4	3.7	3.9	4.1	4.9					RD-1000 =	4.2
	3.5	345.3	0.0187	1.4693	3.6	4.3	4.8	5.3	6.2	7.0	7.8	11.2					RD-1500 =	4.7
	3.5	550.9	0.0171	1.4842		4.1	4.6	5.1	5.9	6.6	7.3	10.2					RD-2000 =	5.1
	3.9	674.5	0.0185	1.4698		4.2	4.8	5.3	6.2	7.0	7.7	11.0					RD-3000 =	5.8
	3.9	914.8	0.0171	1.4869		4.1	4.6	5.1	5.9	6.6	7.3	10.2					RD-4000 =	6.4
	4.3	919.4	0.0183	1.4720		4.2	4.8	5.2	6.1	6.9	7.7	10.9					RD-5000 =	6.9
	4.1	1131.9	0.0173	1.4874			4.7	5.1	5.9	6.7	7.3	10.3					RD-10000 =	9.0
	4.0	1332.8	0.0156	1.5158			4.5	4.9	5.6	6.2	6.8	9.4						
	3.9	1536.2	0.0136	1.5502				4.7	5.3	5.8	6.3	8.5						
	5.3	1949.7	0.0155	1.5134				4.9	5.6	6.2	6.8	9.4						
	5.6	2171.4	0.0168	1.4851					5.8	6.5	7.2	10.0						
	5.5	2414.0	0.0171	1.4787					5.8	6.6	7.2	10.2						
	5.5	2603.3	0.0171	1.4800					5.8	6.6	7.2	10.2						
	5.5	2818.2	0.0168	1.4866					5.8	6.5	7.1	10.0						
	6.2	3051.5	0.0173	1.4752						6.6	7.3	10.2						
	6.3	3270.9	0.0175	1.4684						6.6	7.3	10.4						
	6.6	3528.5	0.0178	1.4604						6.7	7.4	10.5						
	6.9	3808.0	0.0181	1.4518						6.8	7.5	10.7						
	6.6	4054.0	0.0180	1.4584							7.4	10.6						
	6.9	4257.3	0.0180	1.4566							7.4	10.6						
	6.5	4534.5	0.0175	1.4696							7.3	10.4						
	6.6	4770.1	0.0172	1.4814							7.3	10.2						
	6.8	5019.6	0.0169	1.4904								10.1						
	6.9	5239.0	0.0166	1.4985								10.0						
	7.1	5495.6	0.0164	1.5046								9.9						
	7.0	5969.7	0.0181	1.5169								9.8						
24.2	5.7	5971.6																
	6.3	6197.3	0.0850	-4.1817								18.7	38.8				RD-5000 =	5.6
	5.9	6425.9	0.0146	1.2912								7.6					RD-10000 =	6.8
	6.0	6924.9	0.0044	2.0947								6.4					RD-15000 =	7.8
	6.1	7544.1	0.0040	2.1280								6.4						
	5.9	7856.0	0.0010	2.3596								6.1						
	6.1	8064.9	0.0017	2.3037								6.1						
	6.5	8394.2	0.0047	2.0642								6.4						
	6.6	9020.1	0.0065	1.9187								6.6						
	6.8	9315.9	0.0080	1.7926								6.7						
	7.1	9797.4	0.0096	1.6564								6.9						
	7.0	10139.3	0.0100	1.6290														
	6.9	10499.7	0.0096	1.6568														
	7.1	10923.6	0.0097	1.6554														
	7.3	11722.8	0.0097	1.6535														
	7.4	12652.4	0.0094	1.6743														
	7.5	13153.8	0.0093	1.6886														
	7.6	16844.7	0.0079	1.8118														

[illegible]

Rundlauf - Regression und Prognose für das Modell 5

Abschnitt Nr.	RD in mm	N in 1000	m	b	Prognose für										RD aus dem besten Modell
					RD-500	RD-1000	RD-1500	RD-2000	RD-3000	RD-4000	RD-5000	RD-10000	RD-15000		
11.0	5.9	46.2													RD-500 = 7.5
	6.1	55.7	0.2994	3.8653	10.6	13.3	15.5	17.3							RD-1000 = 8.1
	6.7	185.9	0.1091	5.2186	7.7	8.7	9.4	10.1							RD-1500 = 8.4
	7.1	328.6	0.1017	5.2794	7.6	8.5	9.2	9.8							RD-2000 = 8.6
	7.4	480.0	0.0965	5.3284	7.5	8.4	9.1	9.6							
	8.1	633.8	0.1081	5.2061		8.6	9.4	10.0							
	7.9	779.9	0.0998	5.3027		8.5	9.2	9.8							
	8.3	904.7	0.0997	5.3040		8.5	9.2	9.8							
	8.4	1078.9	0.0967	5.3460			9.1	9.7							
	8.2	1364.6	0.0858	5.5148			8.8	9.4							
	7.9	1516.9	0.0739	5.7078				9.0							
12.0	6.7	46.2													RD-500 = 9.6
	7.0	55.7	0.4491	3.6479	13.7	17.8	21.0	23.7							RD-1000 = 10.7
	7.6	185.9	0.1179	6.0035	8.6	9.7	10.6	11.3							RD-1500 = 11.4
	8.9	328.6	0.1757	5.6279	9.5	11.1	12.3	13.4							RD-2000 = 12.0
	9.8	480.0	0.1960	5.3374	9.7	11.5	12.9	14.1							
	9.8	633.8	0.1800	5.5063		11.2	12.5	13.6							
	10.9	779.9	0.1894	5.3973		11.4	12.7	13.9							
	10.8	904.7	0.1835	5.4712		11.3	12.6	13.7							
	11.1	1078.9	0.1768	5.5647			12.4	13.5							
	11.1	1364.6	0.1617	5.7987			12.1	13.0							
	11.1	1516.9	0.1493	5.9995				12.7							
13.0	6.5	46.2													RD-500 = 10.8
	7.1	55.7	0.8982	0.3958	20.5	28.8	35.2	40.6							RD-1000 = 12.0
	10.0	328.6	0.2926	4.7074	11.3	14.0	16.0	17.8							RD-1500 = 12.7
	10.9	480.0	0.2821	4.7952	11.1	13.7	15.7	17.4							RD-2000 = 13.1
	11.8	633.8	0.2789	4.8271		13.6	15.6	17.3							
	12.0	779.9	0.2635	4.9995		13.3	15.2	16.8							
	12.2	904.7	0.2492	5.1772		13.1	14.8	16.3							
	11.8	1078.9	0.2227	5.5460			14.2	15.5							
	12.3	1364.6	0.1999	5.9071			13.6	14.8							
	11.9	1516.9	0.1771	6.2890				14.2							
	14.0	5.3	46.2												
5.3		55.7	0.0000	5.3000	5.3	5.3									RD-1000 = 13.8
6.8		185.9	0.2288	3.6725	8.8	10.9									
7.7		328.6	0.2196	3.7480	8.7	10.7									
9.5		480.0	0.2647	3.3232	9.2	11.7									
11.8		633.8	0.3261	2.6737		13.0									
12.5		779.9	0.3444	2.4591		13.4									
15.0	3.4	46.2													RD-500 = 6.4
	3.9	55.7	0.7485	-1.8868	15.1	22.0	27.3								RD-1000 = 8.1
	4.8	185.9	0.1813	2.3476	6.4	8.1	9.4								RD-1500 = 9.5
	5.5	328.6	0.1711	2.4317	6.3	7.8	9.1								
	6.1	480.0	0.1673	2.4677	6.2	7.8	8.9								
	7.4	633.8	0.1917	2.2090		8.3	9.6								
	7.5	779.9	0.1901	2.2274		8.2	9.6								
	7.6	904.7	0.1832	2.3144		8.1	9.4								
	8.1	1078.9	0.1793	2.3889			9.3								
	9.4	1364.6	0.1855	2.2729			9.5								
21.0	3.0	345.3													RD-1000 = 4.3
	3.6	550.9	0.1227	0.7194		4.6	5.5	6.2	7.4	8.5	9.4	13.0			RD-1500 = 5.2
	3.4	674.5	0.0636	1.8914		3.9	4.4	4.7	5.4	5.9	6.4	8.3			RD-2000 = 5.9
	3.5	914.8	0.0385	2.4290		3.6	3.9	4.2	4.5	4.9	5.2	6.3			RD-3000 = 7.2
	3.4	919.4	0.0292	2.6278		3.6	3.8	3.9	4.2	4.5	4.7	5.6			RD-4000 = 8.2
	4.2	1131.9	0.0551	2.0257			4.2	4.5	5.0	5.5	5.9	7.5			RD-5000 = 9.1
	4.2	1332.8	0.0609	1.8850			4.2	4.6	5.2	5.7	6.2	8.0			RD-10000 = 12.8
	5.6	1536.2	0.0991	0.9184				5.3	6.3	7.2	7.9	10.8			
	6.2	1949.7	0.1217	0.3061				5.8	7.0	8.0	8.9	12.5			
	6.5	2171.4	0.1316	0.0333					7.2	8.4	9.3	13.2			
	6.8	2414.0	0.1362	-0.0972					7.4	8.5	9.5	13.5			
	6.8	2603.3	0.1356	-0.0777					7.3	8.5	9.5	13.5			
	6.9	2818.2	0.1332	-0.0078					7.3	8.4	9.4	13.3			
	7.6	3051.5	0.1355	-0.0794						8.5	9.5	13.5			
	8.1	3270.9	0.1391	-0.1903						8.6	9.6	13.7			
	8.4	3528.5	0.1415	-0.2697						8.7	9.7	13.9			
	8.5	3808.0	0.1418	-0.2780						8.7	9.7	13.9			
	8.2	4054.0	0.1384	-0.1841							9.6	13.7			
	8.2	4257.3	0.1348	-0.0370							9.5	13.4			
	8.4	4534.5	0.1315	0.0782							9.4	13.2			
	8.8	4770.1	0.1299	0.1395							9.3	13.1			
	8.6	5019.6	0.1267	0.2573								12.9			
	9.0	5239.0	0.1250	0.3211								12.8			
	9.1	5495.6	0.1232	0.3905								12.7			
	10.2	5969.7	0.1243	0.3489								12.8			
22.1	2.2	19.6													RD-500 = 5.4
	3.5	186.0	0.1412	1.5743	4.7	6.0	7.0								RD-1000 = 7.1
	4.8	345.3	0.1783	1.3213	5.3	7.0	8.2								RD-1500 = 8.4
	5.6	550.9	0.1823	1.2851		7.0	8.3								
	5.9	674.5	0.1787	1.3224		7.0	8.2								
	6.4	914.8	0.1705	1.4264		6.8	8.0								

[illegible]

	8.8	19023.9	0.0445	2.3678										
25.1	1.9	19.6												
	2.0	188.0	0.0109	1.8519	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4					RD-500 = 2.8
	2.1	345.3	0.0137	1.8324	2.1	2.3	2.4	2.4	2.6					RD-1000 = 4.0
	2.3	550.9	0.0199	1.7756		2.4	2.5	2.7	2.9					RD-1500 = 5.1
	2.5	874.5	0.0261	1.7108		2.5	2.7	2.9	3.1					RD-2000 = 6.1
	3.4	914.8	0.0485	1.4256		3.0	3.3	3.6	4.1					RD-3000 = 8.0
	3.0	919.4	0.0503	1.4028		3.0	3.4	3.7	4.2					
	4.0	1131.9	0.0651	1.1824			3.7	4.1	4.7					
	4.4	1332.8	0.0774	0.9808			4.0	4.4	5.2					
	5.7	1536.2	0.0990	0.5943				5.0	6.0					
	7.5	1949.7	0.1302	-0.0260				5.8	7.1					
	7.3	2171.4	0.1432	-0.2970					7.5					
25.2	4.7	2414.0												
	5.6	2603.3	0.4759	-18.6838					7.4	11.4				RD-3000 = 6.9
	6.1	2818.2	0.3523	-12.5282					6.8	9.8				RD-4000 = 10.8
	6.9	3051.5	0.3475	-12.2866						9.7				
	8.1	3270.9	0.3978	-14.8552						10.3				
	8.9	3528.5	0.4068	-15.3208						10.4				
25.3	4.2	3808.0												
	4.7	4054.0	0.2548	-11.5260						4.6	6.5	14.0		RD-4000 = 4.6
	5.4	4257.3	0.3357	-16.5649							7.2	17.0		RD-5000 = 5.7
	5.5	4534.5	0.2456	-10.8882							6.5	13.7		RD-10000 = 11.4
	5.3	4770.1	0.1619	-5.5721							5.9	10.6		
	5.5	5019.6	0.1308	-3.5762								9.5		
	5.4	5239.0	0.1023	-1.7313								8.5		
	6.2	5495.6	0.1182	-2.7696								9.1		
	7.5	5969.7	0.1630	-5.7350								10.6		
31.1	4.8	0.7												
	9.0	226.4	0.2955	4.5542	11.2	13.9	16.0	17.8	20.7					RD-500 = 9.7
	8.9	455.1	0.2163	4.8843	9.7	11.7	13.3	14.6	16.7					RD-1000 = 12.4
	9.9	954.0	0.1679	5.2919		10.6	11.8	12.8	14.5					RD-1500 = 14.7
	16.0	1573.1	0.2506	4.3195				15.5	18.0					RD-2000 = 16.7
	17.0	1884.9	0.2781	3.9763				16.3	19.1					RD-3000 = 20.5
	17.2	2094.0	0.2824	3.8833					19.4					
31.2	3.5	4528.8												
	5.4	7182.9	0.1088	-3.8248							3.9	7.1	9.5	RD-5000 = 3.7
	5.6	8962.2	0.0804	-1.7776								6.3	8.1	RD-10000 = 7.2
	6.9	10873.7	0.0869	-2.2757									8.4	RD-15000 = 10.6
	8.5	11648.5	0.1079	-3.9226									9.3	
	10.8	13053.1	0.1379	-6.3903									10.5	
32.1	3.9	0.7												
	7.1	226.4	0.2251	3.7127	8.7	10.8	12.4	13.8	16.0					RD-500 = 7.3
	6.9	455.1	0.1598	3.9851	7.6	9.0	10.2	11.1	12.7					RD-1000 = 8.7
	7.8	954.0	0.1272	4.2594		8.3	9.2	9.9	11.2					RD-1500 = 9.7
	9.4	1573.1	0.1292	4.2365				10.0	11.3					RD-2000 = 10.6
	10.9	1884.9	0.1441	4.0353				10.5	11.9					RD-3000 = 12.1
	11.0	2094.0	0.1481	3.9768					12.1					
32.2	5.5	5751.9												
	5.8	6681.6	0.0508	1.6437								6.7	7.9	RD-10000 = 8.8
	5.8	7182.9	0.0360	2.7886								6.4	7.2	RD-15000 = 13.5
	7.0	8962.2	0.0809	-0.7875								7.3	9.1	
	8.9	10873.7	0.1206	-4.0407									10.7	
	10.6	11648.5	0.1528	-6.7160									12.0	
	12.6	13053.1	0.1813	-9.1544									13.0	
33.0	2.2	0.7												
	3.3	226.4	0.0774	2.1356	3.9	4.6	5.1	5.6	6.4	7.0	7.6	9.9		RD-500 = 3.2
	3.1	455.1	0.0496	2.2514	3.4	3.8	4.2	4.5	5.0	5.4	5.8	7.2		RD-1000 = 3.8
	3.3	954.0	0.0355	2.3698		3.5	3.7	4.0	4.3	4.6	4.9	5.9		RD-1500 = 4.2
	3.4	1573.1	0.0278	2.4610				3.7	4.0	4.2	4.4	5.2		RD-2000 = 4.7
	4.2	1884.9	0.0353	2.3596				3.9	4.3	4.6	4.9	5.9		RD-3000 = 5.4
	3.9	2094.0	0.0345	2.3717					4.3	4.6	4.8	5.8		RD-4000 = 6.1
	5.8	2423.2	0.0502	2.1058					4.9	5.3	5.7	7.1		RD-5000 = 6.8
	6.0	3049.2	0.0597	1.9124						5.7	6.1	7.9		RD-10000 = 9.6
	5.7	3344.9	0.0621	1.8608						5.7	6.1	7.9		
	5.7	3826.5	0.0621	1.8607						5.8	6.2	8.1		
	6.4	4168.4	0.0650	1.7856						5.8	6.2	8.1		
	6.5	4528.8	0.0667	1.7404							6.2	8.1		
	6.9	4952.6	0.0688	1.6801							6.4	8.3		
	7.9	5751.9	0.0732	1.5414							6.5	8.6		
	8.0	6681.6	0.0752	1.4732								8.9		
	7.7	7182.9	0.0747	1.4927								9.0		
												9.0		

Rundlauf - Regression und Prognose für das Modell 1

Abschnitt Nr.	RD in mm	N in 1000	m	b	Prognose für									RD aus dem besten Modell
					RD-500	RD-1000	RD-1500	RD-2000	RD-3000	RD-4000	RD-5000	RD-10000	RD-15000	
11.0	5.9	48.2												RD-500 = 7.5 RD-1000 = 8.1 RD-1500 = 8.4 RD-2000 = 8.6
	6.1	55.7	0.1778	0.4749	9.0	10.2	11.0	11.5						
	6.7	185.9	0.0865	0.6303	7.3	7.8	8.0	8.2						
	7.1	328.6	0.0895	0.6250	7.4	7.8	8.1	8.3						
	7.4	480.0	0.0921	0.6202	7.4	7.9	8.2	8.4						
	8.1	633.8	0.1058	0.5940		8.2	8.5	8.8						
	7.9	779.9	0.1050	0.5956		8.1	8.5	8.8						
	8.3	904.7	0.1088	0.5880		8.2	8.6	8.9						
	8.4	1078.9	0.1104	0.5847			8.6	8.9						
	8.2	1364.6	0.1065	0.5930			8.5	8.8						
	7.9	1516.9	0.0997	0.6078				8.6						
12.0	6.7	46.2												RD-500 = 9.6 RD-1000 = 10.7 RD-1500 = 11.4 RD-2000 = 12.0
	7.0	55.7	0.2336	0.4373	11.7	13.7	15.1	16.2						
	7.6	185.9	0.0825	0.6944	8.3	8.8	9.0	9.3						
	8.9	328.6	0.1261	0.6189	9.1	9.9	10.4	10.8						
	9.8	480.0	0.1483	0.5760	9.5	10.5	11.1	11.6						
	9.8	633.8	0.1482	0.5761		10.5	11.1	11.6						
	10.9	779.9	0.1598	0.5532		10.8	11.5	12.0						
	10.8	904.7	0.1621	0.5488		10.8	11.6	12.1						
	11.1	1078.9	0.1633	0.5461			11.6	12.2						
	11.1	1364.6	0.1604	0.5525			11.5	12.1						
	11.1	1516.9	0.1569	0.5599				12.0						
13.0	6.5	46.2												RD-500 = 10.8 RD-1000 = 12.0 RD-1500 = 12.7 RD-2000 = 13.1
	7.1	55.7	0.4709	0.0292	20.0	27.7	33.5	38.3						
	10.0	328.6	0.2089	0.4753	10.9	12.6	13.8	14.6						
	10.9	480.0	0.2102	0.4730	11.0	12.7	13.8	14.7						
	11.8	633.8	0.2147	0.4648		12.8	14.0	14.9						
	12.0	779.9	0.2124	0.4691		12.8	13.9	14.8						
	12.2	904.7	0.2094	0.4750		12.7	13.8	14.7						
	11.8	1078.9	0.2000	0.4940			13.5	14.3						
	12.3	1364.6	0.1929	0.5090			13.2	14.0						
	11.9	1516.9	0.1837	0.5289				13.7						
14.0	5.3	46.2												RD-500 = 10.0 RD-1000 = 13.8
	5.3	55.7	0.0000	0.7243	5.3	5.3								
	6.8	185.9	0.1889	0.4026	8.2	9.3								
	7.7	328.6	0.1966	0.3890	8.3	9.5								
	9.5	480.0	0.2343	0.3194	8.9	10.5								
	11.8	633.8	0.2778	0.2363		11.7								
	12.5	779.9	0.2982	0.1961		12.3								
15.0	3.4	46.2												RD-500 = 6.4 RD-1000 = 8.1 RD-1500 = 9.5
	3.9	55.7	0.7317	-0.6864	19.4	32.3	43.4							
	4.8	185.9	0.2207	0.1834	6.0	7.0	7.7							
	5.5	328.6	0.2221	0.1810	6.0	7.0	7.7							
	6.1	480.0	0.2275	0.1709	6.1	7.1	7.8							
	7.4	633.8	0.2551	0.1183		7.6	8.5							
	7.5	779.9	0.2619	0.1049		7.8	8.6							
	7.6	904.7	0.2624	0.1039		7.8	8.7							
	8.1	1078.9	0.2646	0.0993			8.7							
	9.4	1364.6	0.2748	0.0774			8.9							
21.0	3.0	345.3												RD-1000 = 4.3 RD-1500 = 5.2 RD-2000 = 5.9 RD-3000 = 7.2 RD-4000 = 8.2 RD-5000 = 9.1 RD-10000 = 12.8
	3.6	550.9	0.3903	-0.5136		4.5	5.3	6.0	7.0	7.8	8.5	11.2		
	3.4	674.5	0.2225	-0.0797		3.9	4.2	4.5	4.9	5.3	5.5	6.5		
	3.5	914.8	0.1506	0.1105		3.6	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	5.2		
	3.4	919.4	0.1189	0.1943		3.6	3.7	3.9	4.1	4.2	4.3	4.7		
	4.2	1131.9	0.1958	-0.0136			4.1	4.3	4.6	4.9	5.1	5.9		
	4.2	1332.8	0.2204	-0.0810			4.2	4.4	4.8	5.2	5.4	6.3		
	5.6	1536.2	0.3241	-0.3686				5.0	5.7	6.3	6.8	8.5		
	6.2	1949.7	0.3941	-0.5657				5.4	6.4	7.1	7.8	10.3		
	6.5	2171.4	0.4318	-0.6725					6.7	7.6	8.4	11.3		
	6.8	2414.0	0.4539	-0.7354					7.0	7.9	8.8	12.0		
	6.8	2603.3	0.4613	-0.7568					7.0	8.0	8.9	12.3		
	6.9	2818.2	0.4628	-0.7612					7.0	8.1	8.9	12.3		
	7.6	3051.5	0.4724	-0.7690						8.2	9.1	12.6		
	8.1	3270.9	0.4833	-0.8208						8.3	9.3	13.0		
	8.4	3528.5	0.4915	-0.8449						8.4	9.4	13.2		
	8.5	3808.0	0.4951	-0.8555						8.5	9.5	13.3		
	8.2	4054.0	0.4913	-0.8442							9.4	13.2		
	8.2	4257.3	0.4861	-0.8288							9.3	13.0		
	8.4	4534.5	0.4814	-0.8146							9.2	12.9		
	8.8	4770.1	0.4793	-0.8082							9.2	12.8		
	8.6	5019.6	0.4740	-0.7923								12.7		
	9.0	5239.0	0.4714	-0.7843								12.6		
	9.1	5495.6	0.4685	-0.7753								12.5		
	10.2	5969.7	0.4707	-0.7821								12.6		
22.1	2.2	19.6												RD-500 = 5.4 RD-1000 = 7.1 RD-1500 = 8.4
	3.5	186.0	0.2065	0.0754	4.3	5.0	5.4							
	4.8	345.3	0.2545	0.0050	4.9	5.9	6.5							
	5.6	550.9	0.2741	-0.0269		6.2	7.0							
	5.9	674.5	0.2813	-0.0391		6.4	7.1							
	6.4	914.8	0.2847	-0.0456		6.4	7.2							

	6.6	919.4	0.2893	-0.0540		6.5	7.3										
	8.2	1131.9	0.3062	-0.0870			7.7										
22.2	6.6	1332.8															
	9.1	1536.2	2.2623	-6.2495			8.6	16.5	41.4	79.3						RD-1500 = 8.5	
	11.2	1949.7	1.3366	-3.3350				11.9	20.5	30.2						RD-2000 = 10.6	
	12.1	2171.4	1.1823	-2.8466					18.4	25.8						RD-3000 = 13.6	
	13.0	2414.0	1.0806	-2.5224					17.2	23.4						RD-4000 = 15.7	
	12.0	2603.3	0.9060	-1.9630					15.4	20.0							
	12.4	2818.2	0.7958	-1.6079					14.4	18.1							
	12.8	3051.5	0.7182	-1.3564						17.0							
	13.9	3270.9	0.6900	-1.2644						16.6							
	15.2	3528.5	0.6885	-1.2596						16.6							
	15.6	3808.0	0.6774	-1.2232						16.5							
23.0	2.3	19.6														RD-500 = 3.4	
	2.7	186.0	0.0713	0.2695	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.4	3.6				RD-1000 = 3.9	
	3.3	345.3	0.1113	0.2109	3.2	3.5	3.7	3.8	4.0	4.1	4.2	4.5				RD-1500 = 4.4	
	3.5	550.9	0.1234	0.1912		3.6	3.8	4.0	4.2	4.3	4.4	4.8				RD-2000 = 4.7	
	3.7	674.5	0.1324	0.1758		3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.6	5.1				RD-3000 = 5.4	
	3.7	914.8	0.1325	0.1756		3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.6	5.1				RD-4000 = 6.0	
	3.8	919.4	0.1349	0.1711		3.8	4.0	4.1	4.4	4.5	4.7	5.1				RD-5000 = 6.6	
	3.9	1131.9	0.1365	0.1680			4.0	4.2	4.4	4.6	4.7	5.2				RD-10000 = 9.1	
	3.8	1332.8	0.1338	0.1735			4.0	4.1	4.4	4.5	4.7	5.1					
	4.3	1536.2	0.1395	0.1615				4.2	4.4	4.6	4.8	5.2					
	5.3	1949.7	0.1570	0.1229				4.4	4.7	4.9	5.1	5.6					
	5.0	2171.4	0.1649	0.1050					4.8	5.0	5.2	5.8					
	5.3	2414.0	0.1736	0.0852					4.9	5.1	5.3	6.0					
	5.2	2603.3	0.1784	0.0738					4.9	5.2	5.4	6.1					
	5.4	2818.2	0.1835	0.0618					5.0	5.3	5.5	6.3					
	6.1	3051.5	0.1929	0.0394						5.4	5.7	6.5					
	5.7	3270.9	0.1969	0.0296						5.5	5.7	6.6					
	6.3	3528.5	0.2039	0.0123						5.6	5.8	6.7					
	6.2	3808.0	0.2086	0.0006						5.7	5.9	6.8					
	6.1	4054.0	0.2115	-0.0066							6.0	6.9					
	6.0	4257.3	0.2129	-0.0103							6.0	6.9					</

	8.8	19023.9	0.3284	-0.4787								7.8	
25.1	1.9	19.6											RD-500 = 2.8
	2.0	186.0	0.0228	0.2493	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1				RD-1000 = 4.0
	2.1	345.3	0.0317	0.2363	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2				RD-1500 = 5.1
	2.3	550.9	0.0483	0.2092		2.3	2.3	2.3	2.4				RD-2000 = 6.1
	2.5	874.5	0.0650	0.1805		2.4	2.4	2.5	2.6				RD-3000 = 8.0
	3.4	914.8	0.1093	0.0989		2.7	2.8	2.9	3.0				
	3.0	919.4	0.1209	0.0775		2.8	2.9	3.0	3.1				
	4.0	1131.9	0.1520	0.0166			3.2	3.3	3.5				
	4.4	1332.8	0.1800	-0.0404			3.4	3.6	3.9				
	5.7	1536.2	0.2178	-0.1200				4.0	4.3				
	7.5	1949.7	0.2646	-0.2236				4.5	5.0				
	7.3	2171.4	0.2957	-0.2936					5.4				
25.2	4.7	2414.0											
	5.6	2603.3	2.3196	-7.1745					7.8	15.2			RD-3000 = 6.9
	6.1	2818.2	1.6788	-4.9996					6.9	11.2			RD-4000 = 10.8
	6.9	3051.5	1.5789	-4.6596						10.7			
	8.1	3270.9	1.6890	-5.0354						11.2			
	8.9	3528.5	1.6595	-4.9343						11.0			
25.3	4.2	3808.0											RD-4000 = 4.6
	4.7	4054.0	1.7968	-5.8106						4.6	6.9	23.8	RD-5000 = 5.7
	5.4	4257.3	2.2325	-7.3742							7.7	36.0	RD-10000 = 11.4
	5.5	4534.5	1.6377	-5.2342							6.7	20.7	
	5.3	4770.1	1.1084	-3.3257							5.9	12.8	
	5.5	5019.6	0.9006	-2.5749								10.7	
	5.4	5239.0	0.7159	-1.9061								9.1	
	6.2	5495.6	0.7891	-2.1717								9.7	
	7.5	5969.7	0.9921	-2.9105								11.4	
31.1	4.8	0.7											RD-500 = 9.7
	9.0	226.4	0.1086	0.6986	9.8	10.6	11.1	11.4	11.9				RD-1000 = 12.4
	8.9	455.1	0.1004	0.6993	9.3	10.0	10.4	10.7	11.2				RD-1500 = 14.7
	9.9	954.0	0.0999	0.6995		10.0	10.4	10.7	11.1				RD-2000 = 16.7
	16.0	1573.1	0.1247	0.6818				12.4	13.0				RD-3000 = 20.5
	17.0	1884.9	0.1397	0.6696				13.5	14.3				
	17.2	2094.0	0.1487	0.6615					15.1				
31.2	3.5	4528.8											RD-5000 = 3.7
	5.4	7182.9	0.9401	-2.8930						3.8	7.4	10.8	RD-10000 = 7.2
	5.6	8962.2	0.7268	-2.1028							6.4	8.6	RD-15000 = 10.6
	6.9	10873.7	0.7425	-2.1617								8.7	
	8.5	11648.5	0.8426	-2.5388								9.5	
	10.8	13053.1	0.9651	-3.0051								10.6	
32.1	3.9	0.7											RD-500 = 7.3
	7.1	226.4	0.1035	0.6076	7.7	8.3	8.6	8.9	9.3				RD-1000 = 8.7
	6.9	455.1	0.0940	0.6084	7.3	7.8	8.1	8.3	8.6				RD-1500 = 9.7
	7.8	954.0	0.0946	0.6081		7.8	8.1	8.3	8.6				RD-2000 = 10.6
	9.4	1573.1	0.1030	0.6022				8.8	9.1				RD-3000 = 12.1
	10.9	1884.9	0.1134	0.5936				9.3	9.7				
	11.0	2094.0	0.1197	0.5879					10.1				
32.2	5.5	5751.9											
	5.8	6681.6	0.3545	-0.5923							6.7	7.7	RD-10000 = 8.8
	5.8	7182.9	0.2564	-0.2222							6.4	7.1	RD-15000 = 13.5
	7.0	8962.2	0.5466	-1.3256								9.1	
	8.9	10873.7	0.7634	-2.1540								10.8	
	10.6	11648.5	0.9149	-2.7351								12.2	
	12.6	13053.1	1.0247	-3.1582								13.2	
33.0	2.2	0.7											RD-500 = 3.2
	3.3	226.4	0.0700	0.3536	3.5	3.7	3.8	3.8	4.0	4.0	4.1	4.3	RD-1000 = 3.8
	3.1	455.1	0.0595	0.3545	3.3	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9	RD-1500 = 4.2
	3.3	954.0	0.0573	0.3555		3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	RD-2000 = 4.7
	3.4	1573.1	0.0563	0.3562		3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	RD-3000 = 5.4
	4.2	1884.9	0.0651	0.3489				3.7	3.8	3.8	3.9	4.1	RD-4000 = 6.1
	3.9	2094.0	0.0674	0.3469					3.8	3.9	3.9	4.1	RD-5000 = 6.8
	5.8	2423.2	0.0820	0.3320					4.1	4.2	4.3	4.6	RD-10000 = 9.6
	6.0	3049.2	0.0938	0.3179						4.5	4.6	4.9	
	5.7	3344.9	0.1008	0.3089						4.7	4.8	5.2	
	5.7	3826.5	0.1061	0.3016						4.8	4.9	5.3	
	6.4	4168.4	0.1129	0.2915							5.1	5.5	
	6.5	4528.8	0.1187	0.2827							5.3	5.7	
	6.9	4952.6	0.1246	0.2731							5.4	5.9	
	7.9	5751.9	0.1324	0.2595								6.2	
	8.0	6681.6	0.1391	0.2469								6.4	
	7.7	7182.9	0.1440	0.2376								6.5	

Rundlauf - Regression und Prognose für das Modell 6

Abschnitt Nr.	RD in mm	N in 1000	m	b	Prognose für									RD aus dem besten Modell
					RD-500	RD-1000	RD-1500	RD-2000	RD-3000	RD-4000	RD-5000	RD-10000	RD-15000	
11.0	5.9	46.2												RD-500 = 7.5
	6.1	55.7	2.4559	1.8121	8.4	9.2	9.6	9.9						RD-1000 = 8.1
	6.7	185.9	1.2598	3.8483	7.2	7.6	7.8	8.0						RD-1500 = 8.4
	7.1	328.6	1.3347	3.7150	7.3	7.7	8.0	8.1						RD-2000 = 8.6
	7.4	480.0	1.3998	3.5948	7.4	7.8	8.0	8.2						
	8.1	633.8	1.6637	3.0903		8.1	8.4	8.6						
	7.9	779.9	1.6631	3.0915		8.1	8.4	8.6						
	8.3	904.7	1.7476	2.9216		8.2	8.5	8.7						
	8.4	1078.9	1.7924	2.8290			8.5	8.7						
	8.2	1364.6	1.7350	2.9517			8.5	8.7						
	7.9	1516.9	1.6211	3.1988				8.6						
12.0	6.7	46.2												RD-500 = 9.6
	7.0	55.7	3.6839	0.5682	10.5	11.6	12.3	12.7						RD-1000 = 10.7
	7.6	185.9	1.3660	4.5139	8.2	8.6	8.9	9.0						RD-1500 = 11.4
	8.9	328.6	2.2408	2.9585	9.0	9.7	10.1	10.4						RD-2000 = 12.0
	9.8	480.0	2.7507	2.0157	9.4	10.3	10.8	11.1						
	9.8	633.8	2.7855	1.9492		10.3	10.8	11.1						
	10.9	779.9	3.1039	1.3233		10.6	11.2	11.6						
	10.8	904.7	3.1909	1.1485		10.7	11.3	11.7						
	11.1	1078.9	3.2598	1.0062			11.4	11.8						
	11.1	1364.6	3.2307	1.0684			11.3	11.7						
	11.1	1516.9	3.1818	1.1745				11.7						
13.0	6.5	46.2												RD-500 = 10.8
	7.1	55.7	7.3677	-5.7636	14.1	16.3	17.6	18.6						RD-1000 = 12.0
	10.0	328.6	3.9691	0.0248	10.7	11.9	12.6	13.1						RD-1500 = 12.7
	10.9	480.0	4.1204	-0.2424	10.9	12.1	12.8	13.4						RD-2000 = 13.1
	11.8	633.8	4.3446	-0.6545		12.4	13.1	13.7						
	12.0	779.9	4.3758	-0.7140		12.4	13.2	13.7						
	12.2	904.7	4.3693	-0.7013		12.4	13.2	13.7						
	11.8	1078.9	4.1854	-0.3287			13.0	13.5						
	12.3	1364.6	4.0736	-0.0924			12.8	13.4						
	11.9	1516.9	3.8837	0.3162				13.1						
14.0	5.3	46.2												RD-500 = 10.0
	5.3	55.7	0.0000	5.3000	5.3	5.3								RD-1000 = 13.8
	6.8	185.9	2.6185	0.8425	7.9	8.7								
	7.7	328.6	2.8652	0.4039	8.1	9.0								
	9.5	480.0	3.7302	-1.1951	8.9	10.0								
	11.8	633.8	4.8811	-3.3952		11.2								
	12.5	779.9	5.5140	-4.6394		11.9								
15.0	3.4	46.2												RD-500 = 6.4
	3.9	55.7	6.1398	-6.8197	9.8	11.6	12.7							RD-1000 = 8.1
	4.8	185.9	2.1021	0.0536	5.7	6.4	6.7							RD-1500 = 9.5
	5.5	328.6	2.2460	-0.2024	5.9	6.5	6.9							
	6.1	480.0	2.4175	-0.5193	6.0	6.7	7.2							
	7.4	633.8	2.9359	-1.5104		7.3	7.8							
	7.5	779.9	3.1208	-1.8737		7.5	8.0							
	7.6	904.7	3.1924	-2.0177		7.6	8.1							
	8.1	1078.9	3.3020	-2.2441			8.2							
	9.4	1364.6	3.6008	-2.6827			8.6							
21.0	3.0	345.3												RD-1000 = 4.3
	3.6	550.9	2.9576	-4.5070		4.4	4.9	5.3	5.8	6.1	6.4	7.3		RD-1500 = 5.2
	3.4	674.5	1.6521	-1.1319		3.8	4.1	4.3	4.6	4.8	5.0	5.5		RD-2000 = 5.9
	3.5	914.8	1.1183	0.2802		3.6	3.8	4.0	4.2	4.3	4.4	4.8		RD-3000 = 7.2
	3.4	919.4	0.8752	0.9235		3.5	3.7	3.8	4.0	4.1	4.2	4.4		RD-4000 = 8.2
	4.2	1131.9	1.5806	-0.9847			4.0	4.2	4.5	4.7	4.9	5.3		RD-5000 = 9.1
	4.2	1332.8	1.8215	-1.6451			4.1	4.4	4.7	4.9	5.1	5.6		RD-10000 = 12.8
	5.6	1536.2	2.9988	-4.9083				5.0	5.5	5.9	6.2	7.1		
	6.2	1949.7	3.9178	-7.4955				5.4	6.1	6.6	7.0	8.2		
	6.5	2171.4	4.4657	-9.0482					6.5	7.0	7.5	8.8		
	6.8	2414.0	4.8350	-10.1025					6.7	7.3	7.8	9.2		
	6.8	2603.3	4.9982	-10.5707					6.8	7.4	7.9	9.4		
	6.9	2818.2	5.0815	-10.8112					6.9	7.5	8.0	9.5		
	7.6	3051.5	5.3117	-11.4806						7.7	8.2	9.8		
	8.1	3270.9	5.5787	-12.2613						7.8	8.4	10.1		
	8.4	3528.5	5.8117	-12.9469						8.0	8.6	10.3		
	8.5	3808.0	5.9690	-13.4128						8.1	8.7	10.5		
	8.2	4054.0	5.9866	-13.4651							8.7	10.5		
	8.2	4257.3	5.9739	-13.4272							8.7	10.5		
	8.4	4534.5	5.9707	-13.4175							8.7	10.5		
	8.8	4770.1	6.0166	-13.5564							8.7	10.5		
	8.8	5019.6	5.9981	-13.5002								10.5		
	9.0	5239.0	6.0285	-13.5928								10.5		
	9.1	5495.6	6.0504	-13.6597								10.5		
	10.2	5969.7	6.1990	-14.1181								10.7		
22.1	2.2	19.6												RD-500 = 5.4
	3.5	186.0	1.3314	0.4785	4.1	4.5	4.7							RD-1000 = 7.1
	4.8	345.3	1.8850	-0.3334	4.8	5.3	5.7							RD-1500 = 8.4
	5.6	550.9	2.2145	-0.8700		5.8	6.2							
	5.9	674.5	2.3768	-1.1478		6.0	6.4							
	6.4	914.8	2.5193	-1.4105		6.1	6.6							

[illegible]

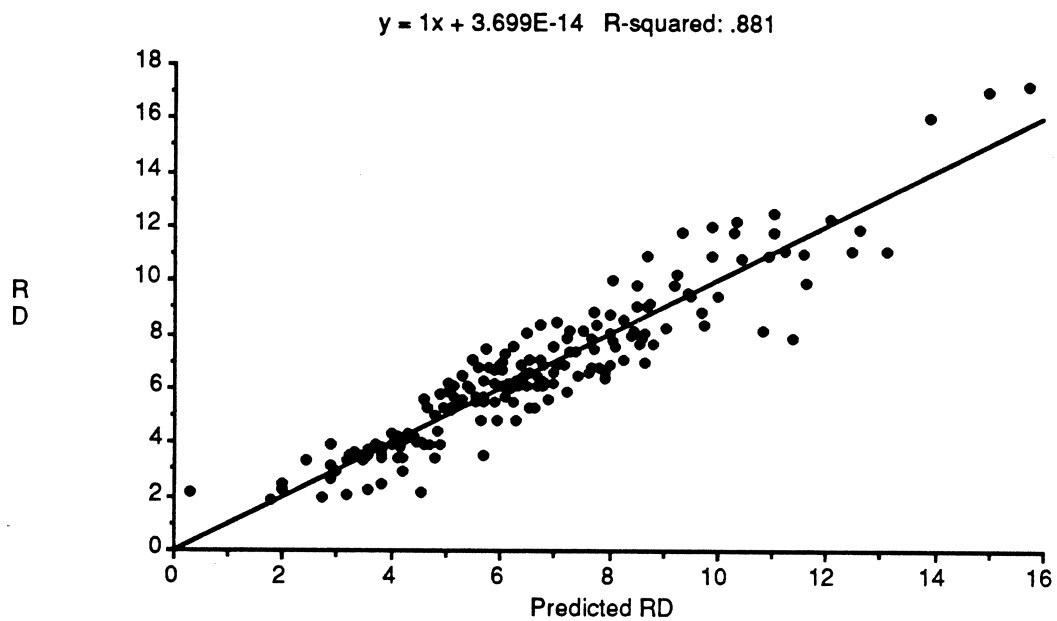
	8.8	19023.9	5.2561	-14.1445								7.8	
25.1	1.9	19.6											RD-500 = 2.8
	2.0	186.0	0.1024	1.7676	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1				RD-1000 = 4.0
	2.1	345.3	0.1450	1.7051	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2				RD-1500 = 5.1
	2.3	550.9	0.2299	1.5669		2.3	2.3	2.3	2.4				RD-2000 = 6.1
	2.5	674.5	0.3207	1.4114		2.4	2.4	2.5	2.5				RD-3000 = 8.0
	3.4	914.8	0.6114	0.8757		2.7	2.8	2.9	3.0				
	3.0	919.4	0.6782	0.7525		2.8	2.9	3.0	3.1				
	4.0	1131.9	0.9139	0.2912			3.2	3.3	3.5				
	4.4	1332.8	1.1448	-0.1796			3.5	3.6	3.8				
	5.7	1536.2	1.5236	-0.9777				4.1	4.3				
	7.5	1949.7	2.1064	-2.2655				4.7	5.1				
	7.3	2171.4	2.4934	-3.1372					5.5				
25.2	4.7	2414.0											
	5.6	2603.3	27.4364	-88.1100				7.3	10.7				RD-3000 = 6.9
	6.1	2818.2	20.7661	-65.4720				6.7	9.3				RD-4000 = 10.8
	6.9	3051.5	20.8758	-65.8457					9.4				
	8.1	3270.9	24.2510	-77.3734					10.0				
	8.9	3528.5	25.2817	-80.9054					10.2				
25.3	4.2	3808.0											RD-4000 = 4.6
	4.7	4054.0	18.3916	-61.6547					4.6	6.4	11.9		RD-5000 = 5.7
	5.4	4257.3	24.4831	-83.5169						7.0	14.4		RD-10000 = 11.4
	5.5	4534.5	18.2854	-61.2170						6.4	11.9		
	5.3	4770.1	12.2949	-39.6171						5.9	9.6		
	5.5	5019.6	10.0794	-31.6115							8.7		
	5.4	5239.0	8.0057	-24.1038							7.9		
	6.2	5495.6	9.2713	-28.6959							8.4		
	7.5	5969.7	12.8648	-41.7756							9.7		
31.1	4.8	0.7											RD-500 = 9.7
	9.0	226.4	1.6702	5.0668	9.6	10.1	10.4	10.6	10.9				RD-1000 = 12.4
	8.9	455.1	1.5384	5.0780	9.2	9.7	10.0	10.2	10.4				RD-1500 = 14.7
	9.9	954.0	1.5778	5.0604		9.8	10.1	10.3	10.5				RD-2000 = 16.7
	16.0	1573.1	2.3669	4.4989				12.3	12.7				RD-3000 = 20.5
	17.0	1884.9	2.8733	4.0829				13.6	14.1				
	17.2	2094.0	3.1885	3.8001					14.9				
31.2	3.5	4528.8											RD-5000 = 3.7
	5.4	7182.9	9.4848	-31.1761						3.9	6.8	8.4	RD-10000 = 7.2
	5.6	8962.2	7.4493	-23.6345							6.2	7.5	RD-15000 = 10.6
	6.9	10873.7	8.3845	-27.1423								7.9	
	8.5	11648.5	10.5446	-35.2861								8.7	
	10.8	13053.1	13.6981	-47.2857								9.9	
32.1	3.9	0.7											RD-500 = 7.3
	7.1	226.4	1.2726	4.1033	7.5	7.9	8.1	8.3	8.5				RD-1000 = 8.7
	6.9	455.1	1.1452	4.1141	7.2	7.5	7.8	7.9	8.1				RD-1500 = 9.7
	7.8	954.0	1.1905	4.0939		7.7	7.9	8.0	8.2				RD-2000 = 10.6
	9.4	1573.1	1.3913	3.9509				8.5	8.8				RD-3000 = 12.1
	10.9	1884.9	1.6464	3.7414				9.2	9.5				
	11.0	2094.0	1.8043	3.5997					9.9				
32.2	5.5	5751.9											
	5.8	6681.6	4.6103	-11.8338							6.6	7.4	RD-10000 = 8.8
	5.8	7182.9	3.3353	-7.0196							6.3	6.9	RD-15000 = 13.5
	7.0	8962.2	7.8534	-24.1977								8.6	
	8.9	10873.7	12.2755	-41.1020								10.2	
	10.6	11648.5	15.8711	-54.8848								11.4	
	12.6	13053.1	19.2740	-67.9986								12.5	
33.0	2.2	0.7											RD-500 = 3.2
	3.3	226.4	0.4374	2.2699	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	RD-1000 = 3.8
	3.1	455.1	0.3651	2.2760	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	RD-1500 = 4.2
	3.3	954.0	0.3548	2.2807		3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	RD-2000 = 4.7
	3.4	1573.1	0.3527	2.2821		3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	RD-3000 = 5.4
	4.2	1884.9	0.4340	2.2152				3.6	3.7	3.8	3.8	4.0	RD-4000 = 6.1
	3.9	2094.0	0.4555	2.1960					3.8	3.8	3.9	4.0	RD-5000 = 6.8
	5.8	2423.2	0.6156	2.0333					4.2	4.3	4.3	4.5	RD-10000 = 9.6
	6.0	3049.2	0.7489	1.8728						4.6	4.6	4.9	
	5.7	3344.9	0.8269	1.7730						4.8	4.8	5.1	
	5.7	3826.5	0.8882	1.6905						4.9	5.0	5.2	
	6.4	4188.4	0.9714	1.5654							5.2	5.5	
	6.5	4528.8	1.0448	1.4524							5.3	5.6	
	6.9	4952.8	1.1246	1.3231							5.5	5.8	
	7.9	5751.9	1.2414	1.1188								6.1	
	8.0	6681.6	1.3466	0.9225								6.3	
	7.7	7182.9	1.4209	0.7797								6.5	

Berechnungen für Langzeitbeobachtungen mit Modell ⑥

Strasse Nr.	Jahr	N In 1000	Regression Nr.	m	b	T gemessen	T berechnet mit Regression		
							Nr. 1	Nr.2	Nr. 3
4	1969	448				1.4			
	1971	1099	1	7.4512	-18.3578	4.3			
	1973	2034	2	8.0257	-19.9460	6.7	6.3		
	1977	3552	3	6.4042	-15.2953	6.8	8.1	8.5	
	1981	5603	4	6.0689	-14.3043	8.2	9.6	10.1	8.7
5	1969	448				1.4			
	1971	1099	1	9.5067	-23.8083	5.1			
	1973	2034	2	5.0670	-11.5356	4.5	7.6		
	1977	3552	3	4.5529	-10.0611	5.9	9.9	6.5	
	1981	5603	4	4.7468	-10.6342	7.3	11.8	7.5	7
8	1969	448				1.5			
	1971	1099	1	7.1943	-17.5765	4.3			
	1973	2034	2	4.4758	-10.0620	4.3	6.2		
	1977	3552	3	3.6144	-7.5912	4.9	8	5.8	
	1981	5603	4	2.9856	-5.7329	5.0	9.4	6.7	6
9	1969	448				1.5			
	1971	1099	1	8.2220	-20.3017	4.7			
	1973	2034	2	4.5500	-10.1519	4.3	6.9		
	1977	3552	3	3.5272	-7.2177	4.9	8.9	6.0	
	1981	5603	4	2.8677	-5.2686	5.0	10.5	6.9	6
10 a	1969	344				1.5			
	1971	930	1	7.8739	-18.4748	4.9			
	1973	1713	2	8.1502	-19.2086	7.2	7		
10 b	1977	2475				5.7			
	1981	3554	1	4.4554	-9.4198	6.4			
	1983	4140	2	4.1060	-8.2215	6.6	6.7		
11 a	1969	344				3.0			
	1971	930	1	11.8108	-26.9623	8.1			
	1973	1713	2	12.9380	-29.9558	12.1	11.2		
11 b	1977	2475				5.8			
	1981	3554	1	5.7284	-13.6397	6.7			
	1983	4140	2	6.5366	-16.4116	7.3	7.1		
12 a	1969	344				2.8			
	1971	930	1	11.3477	-25.9873	7.7			
	1973	1713	2	13.5410	-31.8123	12.4	10.7		
12 b	1977	2475				5.6			
	1981	3554	1	8.2743	-22.4796	6.9			
	1983	4140	2	6.6299	-16.8402	7.0	7.4		
13	1969	344				2.5			
	1971	930	1	8.1055	-18.0623	6.0			
	1973	1713	2	12.7081	-30.2860	11.7	8.1		
14	1969	344				2.6			
	1971	930	1	9.2634	-20.8998	6.6			
	1973	1713	2	16.5783	-40.3270	14.7	9.1		
18 a	1969	184				1.5			
	1971	526	1	8.7886	-18.4128	5.5			
	1973	1055	2	9.0842	-19.1209	8.4	8.2		
18 b	1977	1971				2.2			
	1981	3151	1	0.9817	-1.0343	2.4			
	1983	3693	2	1.0732	-1.3397	2.5	2.5		
19 a	1969	184				1.8			
	1971	526	1	9.2280	-19.1085	6.0			
	1973	1055	2	8.8762	-18.2657	8.5	8.8		
19 b	1977	1971				2.3			
	1981	3151	1	5.8900	-17.1060	3.5			
	1983	3693	2	5.3064	-15.1591	3.7	3.9		
21	1966	206				1.0			
	1969	542	1	3.5744	-7.2718	2.5			
	1971	888	2	7.5610	-16.9204	6.2	3.3		
22 a	1966	206				1.0			
	1969	542	1	4.2893	-8.9262	2.8			
	1971	888	2	7.5235	-16.7538	6.1	3.7		

22 b	1973	1357				3.1			
	1977	2154	1	23.4278	-70.2900	7.8			
	1981	3185	2	13.5297	-38.6591	8.0	11.8		
23 a	1966	206				1.0			
	1969	542	1	4.5276	-9.4777	2.9			
	1971	888	2	9.8673	-22.4010	7.8	3.9		
23 b	1973	1357				3.8			
	1977	2154	1	20.9355	-61.7826	8.0			
	1981	3185	2	12.4080	-34.5314	8.3	11.6		
24	1977	1049				1.0			
	1981	3468	1	0.3851	-0.1635	1.2			
	1983	4788	2	0.7672	-1.3525	1.6	1.3		
25	1977	1049				1.0			
	1981	3468	1	0.5777	-0.7452	1.3			
	1983	4788	2	0.8196	-1.4980	1.6	1.4		
26	1971	1625				5.1			
	1073	2747	1	5.2622	-11.7960	6.3			
	1977	4549	2	2.9242	-4.1140	6.4	7.5		
	1981	6968	3	2.7552	-3.5469	7.0	8.4	7.1	
	1983	8288	4	3.5169	-6.1294	8.1	8.8	7.3	7.2
27	1971	1625				4.7			
	1073	2747	1	3.9466	-7.9720	5.6			
	1977	4549	2	7.8026	-20.6421	8.2	6.5		
	1981	6968	3	8.5595	-23.1808	9.9	7.2	9.3	
	1983	8288	4	9.3122	-25.7329	11.2	7.5	9.9	10.4

Rundlauf - Regression für das Modell f (N, E, SN)



Simple - Y : RD X : Predicted RD

DF:	R-squared:	Std. Err.:	Coef. Var.:
178	.881	.981	14.853

Beta Coefficient Table

Parameter:	Value:	Std. Err.:	Variance:	T-Value:
INTERCEPT	3.699E-14	.197	.039	1.878E-13
SLOPE	1	.028	.001	36.154

Analysis of Variance Table

Source	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
REGRESSION	1	1258.727	1258.727	1307.137
RESIDUAL	177	170.445	.963	$p \leq .0001$
TOTAL	178	1429.172		

Residual Information Table

SS[e(i)-e(i-1)]:	$e \geq 0$:	$e < 0$:	DW test:
121.219	91	88	.711

Schriftenreihe des IVT

Herausgegeben vom und zu beziehen beim Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT an der ETH Zürich, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich.

Mit dieser Schriftenreihe werden die bis anhin separaten Reihen «Mitteilungen aus dem Institut für Strassen- Eisenbahn- und Felsbau» und «Lehrstuhl-Berichte» bzw. «IVT-Berichte» weitergeführt. Die bisher erschienen Schriften sind nachstehend aufgeführt.

Mitteilungen aus dem Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau an der ETH Zürich

Nr.		Nr.	
1	1943 Die Lüftung der Alpenstrassen (W. Wirz)	21	1972 Erfahrungen mit der Ebenheitsmessung nach der Winkelmessmethode (S. Huscsek)
2	1944 Die Reibungskennziffer als Kriterium zur Beurteilung von Strassenbelägen (Dr. E. Zipkes)	22	1970 Die Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Gesteinen im dreiachsigen Spannungszustand (Dr. K. Kovari, A. Tisa, E. Hasler)
3	1945 Beurteilung der Konstruktion, Rauigkeit und Verkehrssicherheit von Strassenbelägen unter Verwendung der Reibungskennziffer (Prof. E. Thomann und Dr. E. Zipkes)	23	1972 Abnützung von Strassenbelägen durch den Verkehr, unter besonderer Berücksichtigung von Spikesreifen (S. Sulger Büel)
4	1947 Beanspruchung von Strassenbelägen durch metallische Systeme (Dr. E. Zipkes)	24	1973 Schäden durch den Gebrauch von Spikesreifen (Dr. E. Zipkes und S. Sulger Büel)
5	1954 Die Leistungsfähigkeit von ungesteuerten Verkehrsknotenpunkten (Dr. H. Rapp)	25	1973 Der Rundlauf als Mittel der Oberbaudimensionierung — Vorstudien zu einem Forschungsprojekt (I. Scazziga)
6	1957 Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit von Überlandstrassen (M. Rotach)	26	1974 Höchstfestigkeit und Restfestigkeit von Gesteinen im Triaxialversuch (Dr. K. Kovari, A. Tisa)
7	1958 Das Motorrad im Überlandverkehr (M. Rotach)	27	1974 Haftvermögen von Spikesreifen auf eis- und schneefreier Strasse (S. Sulger Büel)
8	1960 Geschwindigkeiten auf zweispurigen Überlandstrassen (M. Rotach)	28	1974 Befahrbarkeitsmessungen auf Strassen nach der Winkelmessmethode — Neue Untersuchungen (S. Huscsek)
9	1960 Lastwagen auf Steigungen (M. Rotach)	29	1974 Strassenbau-Forschung in der Schweiz (Dr. E. Zipkes)
10	1960 Die Lüftung der Autotunnel (Prof. J. Ackeret, Dr. A. Haerter, Prof. M. Stahel)	30	1975 Der Einfluss der Rillierung von Strassenoberflächen auf die Unfallhäufigkeit (Dr. E. Zipkes)
11	1960 Fahrräder auf Zweispurstrassen (M. Rotach)	31	1975 Griffbarkeit und Verkehrssicherheit auf nasser Strasse (S. Huscsek)
12	1960 Untersuchungen über die Ventilation von Stollen (Prof. H. Gessner, Prof. M. Stahel, H. Bühler, P. Schärer, F. Rutishauser)	32	1976 Erhebungen über die Beanspruchung der Strasse durch schwere Motorwagen (I. Scazziga)
13	1961 Griffbarkeitsmessungen mit dem Rugosimètre (S. Bonomo)	33	1976 Geschichtliche Entwicklung der bituminösen Strassenbeläge (Dr. E. Zipkes)
14	1961 Das Äquivalent von Motorrädern (M. Rotach)	34	1976 Vergleich von Seilzaun und Doppelplanke anhand von Unfällen an Mittelschranken (M. Klingler, U. Seiler)
15	1961 Beschleunigungen von Personenwagen (C. Zuberbühler)	35	1977 Rollgeräusch und Strassenbelag — Fahrgeräusch, quantitative und qualitative Analyse — Kausalität (E. Eichenberger)
16	1967 Kenngrössen von Personenwagen (S. Sulger Büel)	36	1977 Flugbetriebsflächen — Grundlagen für die Dimensionierung und die Oberflächengestaltung (W. Busenhardt, I. Scazziga)
17	1968 Richtlinien für die Anordnung und Konstruktion von Leiteinrichtungen (P. Pingoud)		
18	1970 Neuere Leitschranken — Stand 1969 (P. Pingoud)		
19	1970 N1: Bern — Lenzburg — Unfälle an Mittelschranken, Seilzaun — Doppelplanke (P. Pingoud)		
20	1970 Die Lüftung der Tunnel während dem Ausbruch (Arbeitsgruppe für Lüftung im Tunnelbau)		

- | | | | | | |
|-----|------|---|-----|------|---|
| Nr. | | | Nr. | | |
| 37 | 1977 | Internationales Kolloquium über die plastische Verformbarkeit von Asphaltmischungen | 48 | 1982 | Verhalten des Strassenoberbaus unter wiederholter Belastung — Versuch Nr. 1 auf der ISETH-Rundlaufanlage (H. P. Rossner, I. Scazziga) |
| 38 | 1977 | Ebenheitsmessungen auf Strassen (S. Huschek, G. Bachner) | 49 | 1982 | ISETH-Strassenbau colloquien, Wintersemester 1981/82 |
| 39 | 1978 | Löftung im Untertagbau (Dr. A. Haerter, R. Burger) | 50 | 1982 | International Colloquium-Full Scale Pavement Tests, Colloque International-Essais routiers en vraie grandeur |
| 40 | 1978 | Beleuchtung und Unfallhäufigkeit in Strassentunneln (U. Graf und M. Ghielmetti) | 51 | 1982 | Morphologische Beurteilung verdichteter bituminöser Mischungen (Ch. Angst) |
| 41 | 1979 | Griffigkeitsmessungen mit dem Skidometer — weitere Ergebnisse (R. Pelloli) | 52 | 1983 | Simulation von Eisenbahnsystemen mit RWS-1 (P. Giger) |
| 42 | 1979 | Die Beurteilung des Verformungswiderstandes bituminöser Mischungen durch den Kriechversuch (S. Huschek, P. Staub) | 53 | 1983 | Beurteilung der Griffigkeit auf Fahrbahnen (F. Bühlmann) |
| 43 | 1979 | Anfahrversuche an Varianten der Seilleit-schranke System British Ropes (M. Klingler) | 54 | 1983 | Zum Verformungsverhalten von Asphaltbeton unter Druck (S. Huschek) |
| 44 | 1980 | Mechanische Eigenschaften von Filler-Bitumen-Gemischen/Einfluss der Verdichtungsart auf die mechanischen Eigenschaften von Asphaltprüfkörpern (S. Huschek, Ch. Angst) | 55 | 1985 | Einfluss der Witterung auf die Griffigkeit von Fahrbahnen, ein Beitrag zur Verkehrssicherheit auf überdeckten Strecken (F. Bühlmann) |
| 45 | 1980 | Beläge mit diskontinuierlichem Kornaufbau (Dr. E. Zipkes) | 56 | 1984 | Griffigkeit - Bremsspur - Kraftübertragung (Dr. E. Zipkes) |
| 46 | 1981 | Der Einfluss der Verdichtung auf die mechanischen Eigenschaften bituminöser Schichten (Ch. Angst) | 57 | 1984 | Reifengeräusch und Strassenbau, Internationales Seminar, Zürich, 9./10. Februar 1984 |
| 47 | 1981 | Numerische Erfassung rheologischer Probleme in der Felsmechanik (P. Fritz) | 58 | 1985 | Verhalten des Strassenoberbaues unter dynamischer Radlast (S. Huschek) |

Reihe abgeschlossen

Schriftenreihe «Lehrstuhl-Berichte» und «IVT-Berichte»

- | | | | |
|----------|--|----------|--|
| LSB 72/1 | Modelluntersuchungen an regionalen Güterverkehrspotentialen (M. Eggenschwiler) | IVT 81/1 | Beispiele von Wohnschutz-Massnahmen (Prof. M. Rotach, P. Bachmann, M. Stöcklin) |
| LSB 73/1 | Motorisierungsprognosen (F. Gerber, B. Ranft) | IVT 81/2 | Untersuchung der Gesetzmässigkeiten des Wochenendverkehrs mit verhaltensorientierten, disaggregierten Modellansätzen (G. Gottardi) |
| LSB 73/2 | Gesetzmässigkeiten im Verkehrsablauf von Grossparkierungsanlagen
1. Teilbericht VSS FA 8/67 | IVT 81/3 | Forschungen zum Wohnschutz (Prof. M. Rotach, P. Bachmann, J. M. Groh, K. Infanger) |
| LSB 74/1 | Landesplanerische Datenbank der Schweiz, Liniendatei (F. Karli, Prof. C. Hidber) | IVT 81/4 | Ausbaugrad und Verkehrssicherheit von Hochleistungsstrassen (Prof. K. Dietrich) |
| LSB 74/2 | Wurde als LS-Notiz 74/1 publiziert, «Aggregatzustände des Verkehrssystems» (R. Meyer, Prof. C. Hidber) | IVT 81/5 | Fahrplanabhängigkeit des Fahrgastzuflusses zu Haltestellen (H. Müller) |
| LSB 74/3 | Wurde als LS-Notiz 74/2 publiziert «Über demografische Determination des städt. Personenverkehrs» (F. Gerber) | IVT 82/1 | Auswirkungen der N6 mit Rawiltunnel auf 1800 m ü.M. auf den Autoverlad am Lötschberg (Prof. C. Hidber, M. Stöcklin, G. Abay) |
| LSB 74/4 | Regionale Potentiale des Güterbinnenverkehrs der Schweiz (F. Gerber, Prof. C. Hidber) | IVT 82/2 | Innerbetriebliche Gesetzmässigkeiten des öffentlichen Linienbetriebs (W. Berg) |
| LSB 74/5 | Regionale Verteilungsmodelle für den Güterbinnenverkehr der Schweiz, gegliedert nach Warengruppen | IVT 82/3 | Versuche mit Wohnschutz-Massnahmen (Prof. M. Rotach, J. M. Groh, K. Infanger, P. Bachmann) |
| IVT 76/1 | Radfahrer im Verkehr
Eine Literaturlauswertung (H. Werdin) | IVT 82/4 | Das Werk mit dieser Nummer wurde zurückgezogen |
| IVT 77/1 | Potential- und Verteilungsmodelle des schweiz. Binnengüterverkehrs nach Warengruppen und Regionen (F. Gerber, Prof. C. Hidber) | IVT 82/5 | Gesamtschweizerisches Modell des Wochenendverkehrs im Winter (Prof. C. Hidber, G. Gottardi, M. Stöcklin, H. Schwegler) |
| IVT 77/2 | Potential- und Verteilungsmodelle für den schweiz. Stückgutverkehr nach Regionen (F. Gerber, Prof. C. Hidber) | IVT 82/6 | Funktionale Gliederung und Optimierung von Strassennetzen (Prof. C. Hidber, Ruth Schmidiger) |
| IVT 78/1 | Zukunftsaussichten des Huckepackverkehrs in der Schweiz (Prof. H. Brändli, F. Reutimann) | IVT 83/1 | Projektierungsempfehlung zur Verkehrsberuhigung (Prof. M. Rotach, J. M. Groh, P. Bachmann) |
| IVT 78/2 | Landesplanerische Datenbank der Schweiz, Liniendatei — Schlussbericht (F. Karli, Prof. C. Hidber) | IVT 83/2 | Zwischentypen. Eine Untersuchung über mögliche Betriebsformen für Hochleistungsstrassen (Prof. K. Dietrich, E. Boppart, H. P. Lindenmann, P. Spacek) |
| IVT 78/3 | Einfluss des Anmarschweges auf die Benützung öffentlicher Verkehrsmittel (Prof. H. Brändli, R. Siegrist, R. Enz, W. Altherr) | IVT 84/1 | Theorie und Praxis der Kosten-Nutzen-Analyse im Verkehrswesen (Prof. C. Hidber, Prof. G. Hauser, E. Meier) |
| IVT 78/4 | Regionalisierung im öffentlichen Personenverkehr (Prof. H. Brändli, F. Kobi) | IVT 84/2 | Kosten-Nutzen-Analyse für Verkehrsinvestitionen (G. Abay) |
| IVT 78/5 | Definition und Typisierung von Wohngebieten (Prof. M. Rotach, P. Bachmann, C. Hächler) | IVT 84/3 | Kosten-Nutzen-Analyse der SBB-Flughafenlinie Zürich HB — Zürich Flughafen (Prof. C. Hidber, G. Abay, E. Meier) |
| IVT 78/6 | Verkehrskosten im Stadtverkehr bei unterschiedlicher Verkehrsteilung (B. Porro) | IVT 84/4 | Bewertung der geplanten S-Bahn-Station Universität aus vorhandenen Unterlagen (Prof. H. Brändli, Prof. K. Dietrich, Prof. C. Hidber, Prof. M. Rotach, E. Boppart, P. Schirato) |
| IVT 79/1 | Wohnschutz-Massnahmen (Prof. M. Rotach, P. Bachmann, C. Hächler) | IVT 84/5 | Geschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen und Gefällen (P. Spacek, Ph. Dügge) |
| IVT 79/2 | Aufbau von Strassennetzen (Prof. M. Rotach, H. Werdin) | IVT 84/6 | Die situative Geschwindigkeit, ein Massstab zur Beurteilung von Kurven (Dr. C. Friedinger) |
| IVT 79/3 | Baulich integrierte Stadtstrassen (BISS) (Prof. M. Rotach, R. Zeltner) | IVT 85/1 | Verkehrsangebot Schweiz 1970 — 85 auf Schiene, Strasse, Wasser, Luft und Rohrleitungen (Prof. C. Hidber, N. Bischofberger) |
| IVT 80/1 | Neue Betriebsformen für den öffentlichen Verkehr in ländlichen Räumen (Prof. H. Brändli, M. Muheim, F. Reutimann) | | |
| IVT 80/2 | Motorisierungsprognose 1985 — 2000 (Prof. C. Hidber, M. Stöcklin) | | |

Reihe abgeschlossen

«Schriftenreihe des IVT»

- | | | | | | |
|----|------|--|----|------|---|
| 59 | 1986 | Aufteilung von Erholungsaktivitäten im Raum und in der Zeit
(Dr. A. Deloukas) | 79 | 1989 | Bewertung der offiziellen NEAT-Varianten Alpentransversalen
(W. Schurter, N. Bischofberger) |
| 60 | 1986 | «Baulich integrierte Strassen»
(Prof. M. Rotach, F. Hoppler, M. Burgherr, M. Grieder) | 80 | 1989 | DQM-2
Ein Gerät zur dynamischen Querprofilmessung auf Strassen
(U. Scheifele) |
| 61 | 1986 | Unterhaltskosten von Trolley- und Diesebussen in der Schweiz
(Prof. H. Brändli, B. Albrecht, H. Müller, E. Schmid) | 81 | 1989 | Neuverkehr infolge Ausbau und Veränderung des Verkehrssystems
(Dr. E. Meier) |
| 62 | 1986 | Eichung und Validation eines Umliegungsmodelles für den Strassengüterverkehr
(E. Meier) | 82 | 1989 | Entwicklung von Verhaltensmodellen als Grundlage eines programmierten Erhaltungskonzeptes
Teil 1: Modelle für bleibende Verformungen
(J.-D. Zufferey, D. Monsch, I. Scazziga) |
| 63 | 1986 | Fahrpläne für die Zürcher S-Bahn
(G. Rey) | 83 | 1989 | Moderne EDV-Anwendungen zur Verkehrsbeeinflussung
(Prof. C. Hidber, W. Schurter) |
| 64 | 1987 | Quergefälle in Geraden und Kurven
(P. Spacek) | 84 | 1989 | Berufspendlerverkehr 1950 — 1990
Entwicklung des Berufspendlerverkehrs der schweizerischen Agglomerationen
(Prof. C. Hidber, N. Bischofberger) |
| 65 | 1987 | Simulation von Eisenbahnsystemen mit RWS-1 (zweite, überarbeitete Auflage)
(P. Giger) | | | |
| 66 | 1986 | Siedlung — Verkehrsangebot — Verkehrsnachfrage
(Prof. M. Rotach, F. Hoppler, H. Bruderer, M. Mötteli) | | | |
| 67 | 1987 | N 13, Au — Haag
Auswirkungen der Sofortmassnahmen vom Sommer 1984 auf das Unfallgeschehen
(Prof. K. Dietrich, P. Spacek) | | | |
| 68 | 1987 | Entwicklung des Schweizerischen Personenverkehrs 1960 — 1990
(Prof. C. Hidber, J.-P. Widmer) | | | |
| 69 | 1988 | mac Trac-interaktives Programm für Zuglaufrechnungen, Benutzerhandbuch
(P. Brunner) | | | |
| 70 | 1988 | Mehrdimensionale Bewertungsverfahren und UVP im Verkehr
(Prof. C. Hidber, Prof. G. Hauser, P. Schirato) | | | |
| 71 | 1988 | Ein Beitrag zur Umlegung: Ausgewählte Probleme und Lösungsansätze — Eine Untersuchung im Rahmen des Projektes «Marcus Aurelius», Bericht III
(Prof. C. Hidber, M. Keller) | | | |
| 72 | 1988 | Flexible Betriebsweise
Die Kombination von Linien- und Bedarfsbetrieb auf einer Buslinie
(Prof. H. Brändli, B. Albrecht, K. Bareiss) | | | |
| 73 | 1988 | Von der Bahn 2000 zum System öV 2000
(Prof. H. Brändli, B. Albrecht, W. Glünkin) | | | |
| 74 | 1988 | Planung des öffentlichen Verkehrs in nichtstädtischen Gebieten
(Prof. H. Brändli, H. Amacker) | | | |
| 75 | 1989 | Simulation of Railway Networks with RWS-1 (P. Giger) | | | |
| 76 | 1989 | Einfluss des Mischprozesses auf die Qualität bituminöser Mischungen
(M. Kronig) | | | |
| 77 | 1989 | Regionale Arbeitsmobilität
(W. Dietrich) | | | |
| 78 | 1989 | Zur Bewertung der Wirkung sicherheitsorientierter Massnahmen im Eisenbahnbetrieb
(R. Röttinger) | | | |
| — | | Behinderte im Strassenverkehr
Arbeitsbericht
(G. Oswald) | | | |