

Anwendungsgrenzen und Präzision des Spurbildungsversuches mit Vollgummirad für Walzasphalthe

FA 7.206

Forschungsstelle: Institut Dr.-Ing. Gauer, Ingenieurgesellschaft mbH für bautechnische Prüfungen, Regenstau

Bearbeiter: Schmalz, M. / Bösel, P.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: März 2008

1 Einführung

1.1 Ausgangssituation

Seit 1997 gibt es in Deutschland die TP A-StB Teil: Spurbildungsversuch – Bestimmung der Spurrinnentiefe im Wasserbad (FGSV, 1997). Nach dieser Vorschrift wird seit nunmehr neun Jahren die Wärmestandfestigkeit von Asphalten mit einem Stahlrad im Wasserbad geprüft. Seitdem hat sich der Versuch weitgehend bewährt. Eine Unterscheidung in "gut" und "schlecht" ist möglich, jedoch ist eine weitergehende Auswertung der Prüfergebnisse nicht möglich.

Im Zuge der Einführung der Europäischen Normung sind die Spurbildungsversuche nach der DIN EN 12697 Prüfverfahren für Heiasphalt – Teil 22: Spurbildungstest (Deutsches Institut für Normung e.V., 2004) durchzuführen. Zum Antragszeitpunkt zeichnete sich ab, dass mit Einführung der Europäischen Normung die Spurbildung nur noch im Luftbad und mit dem Gummirad geprüft werden darf. Die einzige Variable, die noch national festgelegt werden kann, ist die Prüftemperatur, bei der der Versuch durchgeführt wird. Hier werden über die Anforderungsnormen für den Asphalt die Temperaturen 40, 50 und 60 °C vorgegeben.

Die Ergebnisse der im Institut Dr.-Ing. Gauer bearbeiteten Forschungsarbeit FA 7.180 "Optimierung der Prüfbedingungen des Spurbildungsversuches" (Gauer, P. u. a., 2001) haben gezeigt, dass das Prüfverfahren der TP A-StB durch eine Modifikation der Prüfbedingungen, nämlich das Stahlrad durch ein Gummirad zu ersetzen und die Prüfungen im Luft- statt im Wasserbad durchzuführen, verbessert werden kann und dann eine genauere, verhaltensorientierte Beurteilung der zu prüfenden Asphalte ermöglicht.

1.2 Ziel der Forschungsarbeit

Gesamtziel des Forschungsauftrages ist es, Bedingungen für den Spurbildungsversuch, insbesondere die Prüftemperatur, festzulegen, um eine verhaltensorientierte Bewertung der Standfestigkeit von Asphalten zu ermöglichen.

Daneben sollte ein Bewertungshintergrund zur Interpretation der Ergebnisse des Spurbildungsversuchs geschaffen und außerdem die Präzision des Verfahrens bestimmt werden.

1.3 Methodik des Vorgehens

Zur Festlegung der Prüfbedingungen wurden zunächst zwölf Asphaltvarianten bei zwei verschiedenen Temperaturen (50 und 60°C) mit dem Gummirad und ein Teil dieser Asphaltvarianten entsprechend der Bedingungen der TP A-StB (FGSV, 1997) mit dem Stahlrad im Wasserbad geprüft.

In der zweiten Phase wurde der Einfluss der Platteneinspannung auf das Prüfergebnis untersucht.

In der dritten Phase sollten in einem Ringversuch die Praktikabilität und die Präzision des Verfahrens bestimmt werden. Am Ringversuch nahmen zehn Prüfgeräte teil.

2 Voruntersuchung verschiedener Asphaltvarianten

2.1 Versuchsergebnisse

Im Bild 1 sind die Spurtiefen am Ende der Versuche nach 20 000 Überrollungen über den jeweiligen Prüfbedingungen, Wasser 50 °C, Luft 50 °C und Luft 60 °C, aufgetragen. Der angegebene Wert ist der Mittelwert aus zwei Prüfergebnissen.

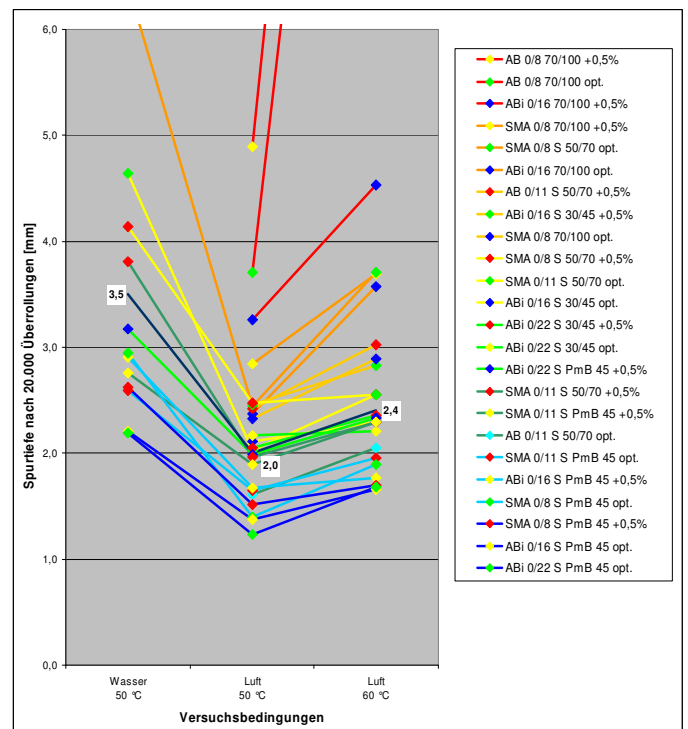


Bild 1: Spurtiefen aller untersuchten Asphaltvarianten bei verschiedenen Prüfbedingungen (opt = optimaler Bindemittelgehalt gem. Eignungsprüfung, +0,5 = um 0,5 M.-% erhöhter Bindemittelgehalt, -0,5 = um 0,5 M.-% verringerter Bindemittelgehalt)

2.2 Interpretation der Versuchsergebnisse

Aus den absoluten Spurtiefen in Bild 1 lässt sich ableiten, dass sich bei der Prüfung im Wasserbad bei 50 °C und im Luftbad bei 50 °C und bei 60 °C jeweils ähnliche und plausible Reihungen der Asphaltvarianten ergeben. Die geringsten Spurtiefen zeigen die S-Beläge mit polymermodifiziertem Bindemittel. Die höchsten Spurtiefen wurden bei den Mischgutsorten mit dem Bitumen 70/100 gemessen. Überraschend war das "gute" Abschneiden des Asphaltbetons 0/11 S mit Bitumen 50/70. Das "schlechte" Abschneiden des SMA 0/8 S mit Bitumen 50/70 bei optimalem Bindemittelgehalt lässt vermuten, dass hier ein Ausreißer vorliegt.

Bei der Prüfung mit dem Stahlrad im Wasserbad ergaben sich erwartungsgemäß die größten, bei der Prüfung im Luftbad die geringsten Spurtiefen. Die Spurtiefen bei der Prüfung im Luftbad bei 60 °C lagen dazwischen. Die oft bei der Prüfung nach den TP A-StB (FGSV, 1997) als Grenzwert festgelegte Spur-

tiefe von 3,5 mm entspricht einer Spurtiefe mit dem Gummirad im Luftbad bei 50 °C von 2,0 mm bzw. 2,4 mm bei 60 °C. Dieses Standfestigkeitsniveau ist im Bild 1 durch die schwarze Linie dargestellt.

Die Darstellung in Bild 2 zeigt, dass die relative Spanne bei den Asphalten mit Polymerbitumen unabhängig von den Prüfbedingungen ungefähr gleich ist.

Bei der Versuchsauswertung wurden Differenzen zwischen den Ergebnissen der Spurbildung bei der asphalt-labor Arno J. Hinrichsen GmbH & Co., Schwerin und den Ergebnissen der Spurbildung bei Institut Dr.-Ing. Gauer festgestellt. Da überwiegend positive Werte erhalten wurden, sind die vom asphalt-labor gemessenen Spurtiefen in der Regel größer als die vom Institut Dr.-Ing. Gauer festgestellten. Die Differenz nimmt mit zunehmender Spurtiefe zu. Als eine mögliche Ursache ist die Art der Fixierung der Platten in der Form zu vermuten. Im asphalt-labor wurden die Platten in die Form eingespannt, indem die Seitenteile der Stahlform mit einer gewissen Vorspannkraft angeschraubt wurden. Im Institut Dr.-Ing. Gauer wurden die Platten in einem Gipsbett fixiert.

Zur Klärung des Einflusses der Fixierung der Asphaltplatten wurden zusätzliche Untersuchungen durchgeführt. Dabei sollte geklärt werden, ob die unterschiedlichen Ergebnisse beim Spurbildungsversuch aus der unterschiedlichen Einspannung der Platten resultieren.

Daneben sollte untersucht werden, ob die Platten in den zum Einklemmen vorgesehenen Formen so fixiert werden können, dass die Ergebnisse beim Spurbildungsversuch mit denen entsprechend der TP A-StB (FGSV, 1997) im Gipsbett gelagerten Platten vergleichbar sind.

2.3 Interpretation der Versuchsergebnisse zur Probeneinspannung

Aus Bild 2 kann entnommen werden, dass – außer beim Splittmastixasphalt – höhere Spurrinnen gemessen werden, wenn die Probe nicht an den Seiten eingegipst war. Ein Unterschied zwischen den ganzen eingegipsten Platten und den beschnittenen und eingegipsten Platten ist nicht erkennbar.

Damit ist nachgewiesen, dass die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Prüfstellen bei den Versuchen der ersten Phase durch die Art der Platteneinspannung verursacht worden sind.

Aufgrund dieser Ergebnisse wird empfohlen, Spurbildungsversuche ausschließlich mit am Boden und seitlich eingegipsten Platten durchzuführen.

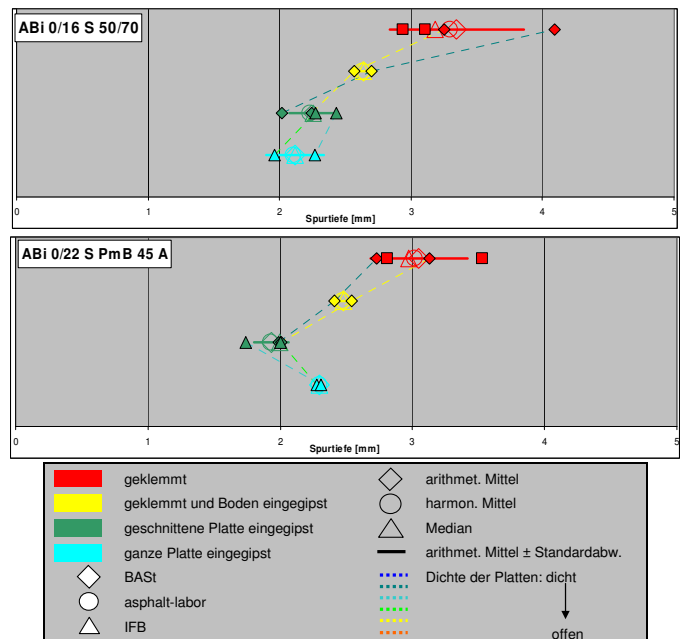


Bild 2: Spurtiefen aller berücksichtigten Platten nach 20 000 Überrollungen

3 Ringversuch

3.1 Untersuchungsziel

Im Rahmen der Ringuntersuchung wurden von acht RAP-Strapfstellten vier Asphaltvarianten unter Einhaltung der in den Vorversuchen ermittelten Randbedingungen untersucht. Daneben wurden noch zwei weitere Prüfgeräte unter den gleichen Bedingungen in die Untersuchungen mit einbezogen. Ziel sollte die Ermittlung der Praktikabilität und, wenn möglich, der Präzision des Verfahrens "Spurbildung mit Gummirad in Luft" sein.

3.2 Vorgehen

Die ausgewählten Asphalte wurden an einer Mischanlage großtechnisch hergestellt und an die Prüfstellten versandt. Die Prüfstellten hatten die Aufgabe, gemäß einer beigelegten Anleitung aus dem gelieferten Mischgut Platten mit dem Walzsektorverdichter herzustellen und den Spurbildungstest durchzuführen.

Da nicht alle Prüfstellten über den Walzsektorverdichter verfügten, wurden die Platten für die Prüfstellten 1, 2, 9 und 10 im Institut Dr.-Ing. Gauer hergestellt.

Berichtet wurden die Dichten bzw. die Verdichtungsgrade der im Walzsektorverdichter hergestellten Proben sowie die Spurrinntiefen über die Zahl der Überrollungen.

3.3 Ergebnisse des Ringversuchs

In den Tabellen 1 und 2 sind die an den Platten ermittelten Verdichtungsgrade und die beim Spurbildungstest erreichten maximalen Spurtiefen zusammengestellt. In den Bildern 3 und 4 sind die Ergebnisse grafisch dargestellt.

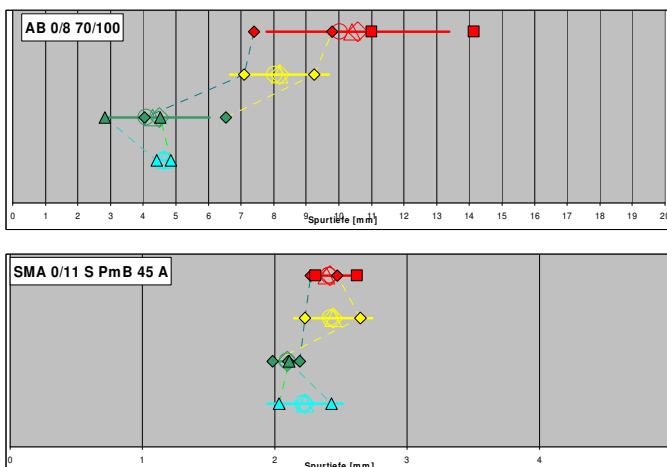


Tabelle 1: Verdichtungsgrade der Probepplatten beim Ringversuch

Prüfstelle Nr.	Verdichtungsgrad Probepplatten [%]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AB 0/8 70/100										
11	99,4	99,0	100,6	100,6	100,8	101,1	99,4	100,8	99,5	99,4
12	99,4	99,5	101,5	100,4	100,5	101,1	100,1	101,0	99,0	99,4
13	99,2	99,2	101,4	100,8	100,8	101,2	99,1	101,1	99,2	99,5
14	99,3	99,4	101,5	100,9	100,8	101,2	98,6	101,1	99,2	99,6
Mittelwert AB 0/8	99,3	99,3	101,3	100,7	100,7	101,1	99,3	101,0	99,2	99,5
SMA 0/8 70/100										
21	100,3	100,4	99,9	99,9	99,7	99,9	100,0	100,2	100,1	100,5
22	100,3	100,2	99,5	100,0	99,9	99,9	99,7	100,1	100,2	100,0
23	100,2	100,3	99,4	99,7	99,7	99,5	99,9	100,2	100,2	100,3
24	100,1	100,1	99,5	99,7	99,8	99,5	99,8	100,1	100,2	100,3
Mittelwert SMA 0/8	100,2	100,2	99,6	99,8	99,8	99,7	99,8	100,1	100,2	100,3
SMA 0/8 S PmB 45										
31	100,2	100,1	100,4	100,0	99,6	99,4	99,6	100,0	100,2	100,2
32	100,3	100,1	100,2	99,8	100,3	99,4	99,5	100,1	100,2	100,3
33	100,6	100,1	99,7	99,8	100,3	99,5	99,7	100,0	100,2	100,3
34	100,4	100,2	99,5	99,9	100,1	99,5	99,6	100,1	100,2	100,1
Mittelwert SMA 0/8 S	100,4	100,1	100,0	99,9	100,1	99,5	99,6	100,0	100,2	100,2
ABi 0/16 S PmB 45										
41	100,2	100,4	99,5	100,2	100,2	99,5	99,1	98,9	100,0	99,9
42	100,1	99,8	98,6	99,8	101,0	99,5	99,3	99,2	100,0	100,1
43	100,2	100,4	99,3	100,0	100,7	100,3	99,4	99,5	100,0	100,0
44	100,0	100,1	98,9	99,8	101,0	100,3	99,8	99,7	100,7	100,0
Mittelwert ABi 0/16 S	100,1	100,2	99,1	100,0	100,8	99,9	99,4	99,3	100,2	100,0

Tabelle 2: Endspurtiefen beim Ringversuch

Prüfstelle Nr.	Spurtiefe nach 20.000 Überrollungen [mm]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AB 0/8 70/100										
11	6,0	5,1	14,1	2,8	5,5	4,4	5,7	8,4	8,9	9,2
12	7,6	11,0	15,9	4,9	4,8	2,4	4,8	11,1	9,0	11,8
13	10,9	7,2	17,6	3,1	4,8	3,9	4,6	8,8	5,7	12,0
14	11,7	9,1	11,7	4,1	5,4	3,4	5,8	10,5	5,6	10,0
Mittelwert AB 0/8	9,0	8,1	14,8	3,7	5,1	3,5	5,2	9,7	7,3	10,8
SMA 0/8 70/100										
21	9,0	6,6	6,6	4,7	5,6	5,6	6,8	8,4	9,0	7,4
22	6,8	7,4	7,0	5,2	5,8	4,8	7,0	8,0	6,9	7,4
23	5,9	7,2	5,7	4,6	5,9	7,7	6,3	7,7	8,6	6,7
24	7,4	9,6	6,7	4,9	5,2	7,7	5,2	9,4	7,0	7,4
Mittelwert SMA 0/8	7,2	7,7	6,5	4,8	5,6	6,4	6,3	8,4	7,9	7,2
SMA 0/8 S PmB 45										
31	3,2	2,6	3,8	2,2	1,9	2,4	3,3	3,4	2,7	3,0
32	3,0	2,2	4,5	3,1	3,0	2,4	3,2	3,4	2,7	5,2
33	4,0	2,5	3,5	2,3	2,1	4,4	3,1	3,1	3,3	5,9
34	3,1	3,1	3,3	3,0	1,8	4,6	3,7	3,3	3,9	2,9
Mittelwert SMA 0/8 S	3,3	2,6	3,8	2,6	2,2	3,5	3,3	3,3	3,2	4,2
ABi 0/16 S PmB 45										
41	1,4	1,6	1,4	1,1	0,9	1,7	1,5	2,4	1,6	1,8
42	1,6	1,0	1,5	1,2	0,9	2,1	1,5	1,7	1,2	1,9
43	1,3	1,8	1,4	0,9	1,0	1,8	1,3	2,5	1,6	1,8
44	1,3	1,5	1,6	1,3	0,8	1,9	1,3	1,8	1,3	2,0
Mittelwert ABi 0/16 S	1,4	1,5	1,5	1,1	0,9	1,9	1,4	2,1	1,4	1,9

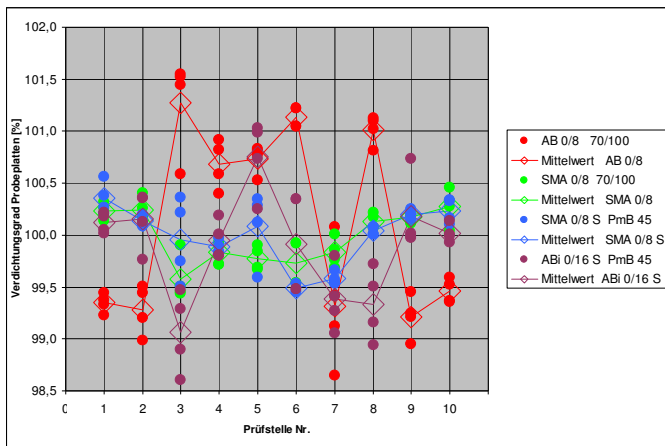


Bild 3: Verdichtungsgrade der Probeplatten beim Ringversuch

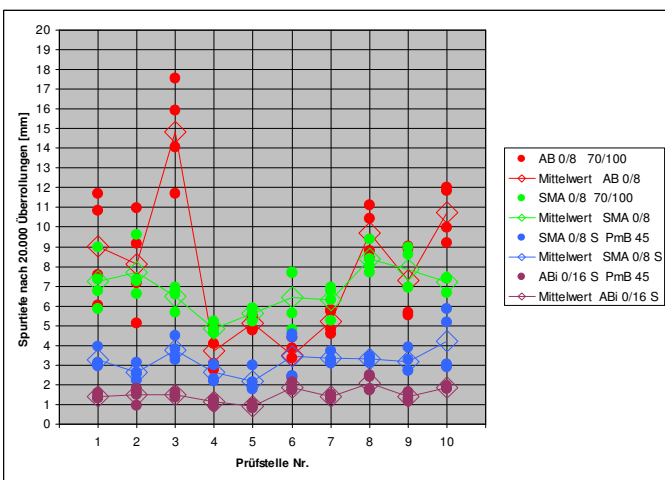


Bild 4: Endspurtiefen beim Ringversuch

3.4 Phänomenologische Interpretation der Ergebnisse des Ringversuchs

Vergleicht man die Endspurtiefen miteinander, so fällt auf, dass bei allen Prüfstellen, bis auf zwei Ausnahmen (Prüfstellen 4 und 7), die gleiche Reihung der Ergebnisse ermittelt wurde. Auffällig ist jedoch, dass bei fünf von zehn Prüfstellen eine größere Spreizung der Ergebnisse gelungen ist.

Es stellt sich die Frage, ob die Prüfungen, bei denen keine so große Spreizung bzw. von der erwarteten Reihung abweichende Ergebnisse erzielt wurden, mit den anderen Prüfergebnissen vergleichbar sind, es sich also um die versuchsbedingte Streuung der Ergebnisse handelt oder ob die Möglichkeit besteht, dass die Ergebnisse unter abweichenden Bedingungen ermittelt wurden.

Üblicherweise werden die Ergebnisse von Ringversuchen unter Anwendung des "Merkblatt[s] über die Statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teile 1 bis 4" (FGSV 1978-1982) ausgewertet. Darin heißt es in Abschnitt 6.1 "Allgemeines":

Besteht Grund, daran zu zweifeln, dass eine Prüfung vorschriftsmäßig durchgeführt worden ist, müssen die Einzelwerte bzw. Ergebnisse ohne Rücksicht auf ihre Größe verworfen werden. Die nachstehenden Regeln [Anm: Betreffend die Beurteilung der Ergebnisse] gelten nur für solche Fälle, in denen kein Grund besteht, an der vorschriftsmäßigen Durchführung zu zweifeln.

Im vorliegenden Fall gibt es zwei Bereiche, die einen Einfluss auf das Prüfergebnis haben. Dies sind zum einen die Herstellung der Probekörper im Walzsektorverdichter und zum anderen die Prüfung der Asphaltplatten mit dem Spurbildungsgerät.

Sowohl für die Plattenherstellung als auch für die Prüfung wurde eine Arbeitsanweisung erstellt und mit dem Asphaltmischgut an die teilnehmenden Prüfstellen versandt. Somit waren die grundsätzlichen Voraussetzungen für eine vergleichbare Versuchsdurchführung gegeben. Dennoch zeigen die Ergebnisse des Ringversuchs Phänomene, die mit üblichen versuchsbedingten Streuungen nicht ausreichend erklärt werden können, zumal für die Art der Versuchsdurchführung in einigen der Prüfstellen keine Erfahrungen vorlagen.

Für eine aussagekräftige Anwendung mit den üblichen statistischen Methoden hätte für die vorliegenden Ergebnisse entschieden werden müssen, ob die Prüfungen tatsächlich unter den gleichen Bedingungen durchgeführt worden sind und wenn nicht, welche der Vorgaben nicht eingehalten wurden oder werden konnten.

Eine Wiederholung des Ringversuchs war allerdings nicht möglich.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse kann das Ziel, nämlich die Bestimmung der Präzision des Verfahrens, nicht erreicht werden. Werden alle Messergebnisse in die Auswertung mit einbezogen, so ergeben sich unplausible Streumaße für die Wiederholbarkeit und die Vergleichbarkeit. Bei Elimination der mutmaßlich nicht regelgerecht ermittelten Prüfergebnisse ergeben sich gute Korrelationskoeffizienten, die aber aufgrund der zu geringen Zahl der Ergebnisse nicht als statistisch gesichert angesehen werden können.

Die weitere Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgt daher auf hypothetischer Basis. Die aus den folgenden statistischen Auswertungen gezogenen Schlussfolgerungen und Empfehlungen sind nicht gesichert. Aufgrund der während der Forschungsarbeit gesammelten Erkenntnisse kann jedoch mit großer Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass sich die Empfehlungen als Basis für die Anwendung und die weiterführende Erfahrungssammlung mit dem Spurbildungsversuch eignen.

3.5 Fehlerhypothesen

In den folgenden Abschnitten werden Hypothesen hinsichtlich der Frage aufgestellt, ob beim Spurbildungs-Ringversuch Probenvorbereitung und Prüfung unter den gleichen Bedingungen durchgeführt wurden, bzw. welche Faktoren das Ergebnis beeinflusst haben könnten.

Folgende Hypothesen sind denkbar:

Hypothese 1

"Wenn die Temperierung exakt ist, ergeben die Ergebnisse der Spurbildungsversuche eine Reihung der Asphalte in Abhängigkeit ihrer Verformungsstabilität. Der Asphaltbeton mit Bitumen 70/100 muss dann (mit Abstand) die höchsten, der Asphaltbinder mit PmB 45 die niedrigsten Spurrinntiefen aufweisen."

Diese These wird gestützt durch die Tatsachen, dass

- a) das erwartete Ergebnis bei fünf von zehn Prüfstellen erhalten wurde (Bild 4) und
- b) es sich dabei um die Prüfstellen 1, 2, 8 und 10 handelt. Diese Prüfstellen haben aus Untersuchungen in den Phasen 1 und 2 Erfahrung mit der Versuchsdurchführung und der Vortemperierung in Luft.

Tendenziell zeigen sich bei diesen Prüfstellen größere Spurrinntentiefen als bei den anderen Prüfstellen.

Hypothese 2

"Es gab Probleme mit der Temperierung der Proben vor und während des Versuchs."

Diese These wird gestützt durch die Tatsachen, dass

- a) die Einhaltung der räumlichen Temperaturkonstanz bei Temperierung mit dem Medium Luft erheblich schwieriger ist als mit dem Medium Wasser,
- b) einige Geräte zum Start des Versuchs geöffnet werden müssen (!),
- c) bei einigen Geräten die Kontrolle der Temperatur mutmaßlich an der falschen Stelle erfolgt und
- d) die Temperaturregelung eventuell über eine zu große Dämpfung erfolgt (Temperaturfühler in einer Parallelprobe).

Hypothese 3

"Die Raumdichte bzw. der Verdichtungsgrad haben einen Einfluss auf das Ergebnis des Spurbildungstests."

Diese These wird gestützt durch die Auffälligkeit, dass die Spurrinnen bei AB 0/8 bei Prüfstelle 3 überdurchschnittlich groß sind. Als Ursache könnte angenommen werden, dass dieser Asphaltbeton mit 101,5 % sehr hohe Verdichtungsgrade aufweist. Dabei wird unterstellt, dass diese Prüfstelle keine Probleme mit der Temperierung der Proben hatte.

Hypothese 4

"Die Herstellung von Asphaltplatten im Walzsektorverdichter unterliegt größeren Streuungen als bisher vermutet wurde."

Diese Erkenntnis ist insofern überraschend, weil das Institut Dr.-Ing. Gauer, wie auch alle anderen Straßenbau-Laboratorien, davon ausgegangen ist, dass die Geräte und die Arbeitsanleitung für die Herstellung von walzsektorverdichteten Asphaltplatten eine einheitliche Probenherstellung garantieren. Dies ist offensichtlich nicht der Fall. Bei näherer Betrachtung der Sachlage zeigt sich, dass es in Deutschland bisher keinen Ringversuch zur Ermittlung der Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit der Probekörperherstellung mit dem Walzsektorverdichter gab. Man ging offensichtlich davon aus, dass die Geräte, die alle von einem Hersteller geliefert wurden, grundsätzlich identisch sind und diese Annahme keiner Überprüfung bedarf. Des Weiteren ging man offensichtlich davon aus, dass die Arbeitsanleitung die Vorbereitung des Mischgutes, den Einfüll- und Verdichtungsvorgang so ausführlich und in so engen Grenzen beschreibt, dass in verschiedenen Prüfstellen vergleichbare Ergebnisse erzielt werden können.

Diese These wird gestützt durch die geringe Streuung der Ergebnisse der Raumdichtebestimmung der in einer Prüfstelle hergestellten Asphaltplatten (Bild 3). Offensichtlich ist die Wiederholbarkeit jedoch wesentlich besser als die Vergleichbarkeit.

Das Problem ist insofern von grundlegender Bedeutung, weil nicht ausgeschlossen werden kann, dass auch andere dynamische Prüfverfahren (Druckschwellversuch, dynamischer Spaltzugversuch) mit Proben aus walzsektorverdichteten Asphaltplatten durchgeführt werden.

Hypothese 5

"Bei exakter Durchführung der Versuche ergeben sich Wiederhol- und Vergleichspräzisionen, die eine Beurteilung der

Wärmestandfestigkeit von verschiedenen Asphalten weit über das bisherige Maß hinaus erlauben."

Diese These wird gestützt durch die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Prüfergebnisse unter Weglassung der aufgrund der Hypothese 1 als "Ausreißer" vermuteten Prüfstellen. Diese Hypothese erfordert eine eingehende Erörterung. Diese erfolgt im nachfolgenden Abschnitt 3.6.

3.6 Statistische Auswertung der Ergebnisse des Ringversuchs

3.6.1 Allgemeines

Unter Berücksichtigung der Hypothesen wurden verschiedene statistische Auswertungen unternommen. Hierbei wurde prinzipiell das "Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teile 1 bis 4 (FGSV, 1978-1982) angewandt.

Wie schon dargestellt, kann aus der statistischen Auswertung nicht die Präzision des Verfahrens abgeleitet werden. Unter Einbeziehung aller Ergebnisse des Ringversuchs sind die Streumaße so groß, dass sich keine gesicherten Aussagen ergeben; bei Weglassung der hypothetischen Ausreißer ergeben sich zwar plausible Vergleichbarkeiten und Wiederholbarkeiten, diese sind jedoch aufgrund der geringen Zahl der in die Auswertung einbezogenen Ergebnisse statistisch nicht gesichert.

Dennoch ergeben die Ergebnisse der statistischen Auswertung nicht nur Hinweise auf die mögliche Präzision des Verfahrens, sie weisen auch den Weg, wie durch weitere Untersuchungen die Präzision des Spurbildungstests auf ein prüftechnisch befriedigendes Maß gesteigert werden kann.

3.6.2 Auswertung mit den Ergebnissen aller zehn Prüfgeräte

In einem ersten Schritt wurde die statistische Auswertung nach dem Merkblatt mit den Ergebnissen aller zehn Prüfstellen durchgeführt.

Dabei wird, entsprechend der eingesetzten vier unterschiedlichen Asphalte, von vier Messniveaus ausgegangen. Für jedes Messniveau wurden ein Mittelwert (x_i) sowie eine Standardabweichung unter Wiederholbedingungen s_r und eine Standardabweichung unter Vergleichsbedingungen s_R berechnet. Multipliziert man die jeweiligen Standardabweichungen mit dem Wert 2,77, ergeben sich die Zahlenwerte für die Wiederholbarkeit r bzw. die Vergleichbarkeit R . Diese Werte stellen die zulässigen Spannweiten zweier Ergebnisse dar, die unter den jeweiligen Wiederhol- bzw. Vergleichbedingungen ermittelt wurden.

Aufgrund der Ergebnisse und der physikalischen Zusammenhänge ist anzunehmen, dass die Standardabweichungen, und damit die Präzision des Verfahrens, vom Zahlenwert x , also von der Spurtiefe abhängen. Dies bedeutet, dass bei größerer Spurtiefe größere Versuchsstreuungen auftreten als bei kleinen Werten für die Spurtiefe. Diese, in der Prüftechnik häufig auftretende Abhängigkeit, findet sich z. B. bei der Bestimmung der Viskosität und der Nadelpenetration von Bitumen. Die Präzision wird in diesen Fällen als Prozentsatz vom Mittelwert der Ergebnisse angegeben.

Zur Prüfung der Abhängigkeit wird die jeweilige Standardabweichung über dem Mittelwert des Messniveaus aufgetragen. Wenn keine außergewöhnlichen Faktoren, wie z. B. Stripping bei Temperierung mit Wasser, das Ergebnis beeinflussen, wird im untersuchten Verformungsbereich ein linearer Zusammenhang zwischen Messniveau und Standardabweichung erwartet.

Die durchgeführte Auswertung mit den Ergebnissen aller zehn Prüfgeräte zeigt, dass sich keine linearen Abhängigkeiten ergeben.

Interpretation:

Aufgrund der Inhomogenität der Grundgesamtheit ergeben sich unplausible Streumaße für Wiederholbarkeit s_r und Vergleichbarkeit s_R .

Die nicht vorhandene Abhängigkeit der Standardabweichung s_R vom Zahlenwert und damit vom Messniveau ist ein Indiz für die These, dass bei einigen Prüfstellen die Randbedingungen der Versuche nicht vergleichbar waren. Die resultierenden Streuungen sind zu groß, der Vertrauensbereich der Regressionsgeraden schließt den Wert Null ein. Dies bedeutet, dass die Regression nicht gesichert und damit nicht existent ist. Damit wäre ein mittleres Streumaß anzusetzen, welches bei den niedrigen Messniveaus in der Größenordnung der Ergebnisse liegt (ca. 1,6). Dies ist bei den niedrigen Messniveaus jedoch höchst unwahrscheinlich.

3.6.3 Auswertung mit ausgewählten Ergebnissen, Variante 1

In einem zweiten Schritt wurde die statistische Auswertung mit allen Ergebnissen der Prüfstellen 1, 2, 3, 8, 9 und 10 durchgeführt. Bei den Prüfstellen 4, 5, 6 und 7 wurden die Messniveaus 1 und 2 (hohe Erwartungswerte = tiefe Spurrinnen) nicht in die Auswertung einbezogen. Diese Auswertung erfolgte unter Zugrundelegung der Hypothese 2. Bild 4 zeigt, dass bei diesen Prüfstellen sowohl bei dem SMA 0/8 als auch dem Asphaltbeton 0/8, die beide mit dem "weichen" Bitumen 70/100 hergestellt wurden, im Vergleich zu den Asphalten mit "hartem" PmB 45 sehr niedrige Spurrinntiefen gemessen wurden.

Für jedes der vier Messniveaus wurden wieder ein Mittelwert (x_i) sowie eine Standardabweichung unter Wiederholbedingungen s_r und eine Standardabweichung unter Vergleichsbedingungen s_R berechnet.

Interpretation:

Werden die unplausiblen Ergebnisse der Messniveaus 1 und 2 nicht in die Auswertung einbezogen, ergeben sich geringere Streuungen. Das Ergebnis zeigt die erwartete Tendenz, jedoch ohne tatsächlich zu befriedigen: Entweder sind die Streuungen im zweiten Messniveau zu gering, oder im ersten zu hoch. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse lässt eher vermuten, dass die Ergebnisse für das Messniveau 1 (hohe Erwartungswerte = tiefe Spurrinnen) zu große Schwankungen aufweisen.

3.6.4 Auswertung mit ausgewählten Ergebnissen, Variante 2

In einem dritten Schritt wurde die statistische Auswertung mit allen Ergebnissen der Prüfgeräte, jedoch ohne das Messniveau 1 (hohe Erwartungswerte = tiefe Spurrinnen) durchgeführt.

Diese Art der Auswertung kann begründet werden mit der praktischen Erfahrung, dass bei Spurtiefen über 20 % der Plattendicke strukturelle Schädigungen das Ergebnis verfälschen könnten. Charakteristisch für diese Art der Spurbildung ist, dass sich die Spurrinne nicht überwiegend durch einen Materialfluss im Asphalt einstellt, sondern sich das Belastungsrad regelrecht in die Platte einfräst. Dieser Verformungsmechanismus läuft, ähnlich wie der Strippingeffekt bei Prüfung in Wasser, unkontrolliert ab und führt zu unsystematischen und eher zufälligen Ergebnissen.

Die überdurchschnittlich hohen Streuungen bei dem "weichen" Asphaltbeton 0/8 mit Bitumen 70/100 resultieren nach Beobachtungen im Laboratorium aus den nicht mehr asphalt-

typischen Verformungen, die keine Folge von Fließvorgängen, sondern eher das Resultat einer Strukturzerstörung zu sein scheinen.

Der Übergang vom Fließen zur Strukturzerstörung findet in etwa statt, wenn der Wert der Spurtiefe den Korndurchmesser des Größtkorns erreicht hat. Bei 4 cm dicken Platten ist dies nach etwa 8 mm der Fall. Aufgrund dieser Beobachtungen wird vorgeschlagen, den Spurbildungsversuch nach Erreichen einer Spurtiefe von 20 % der Plattendicke abbrechen.

Interpretation:

Die Regressionsgeraden zeigen gute Korrelationskoeffizienten, d. h., es scheint einen linearen Zusammenhang zwischen der Standardabweichung und dem Messniveau zu geben. Wegen der geringen Zahl der in die statistische Auswertung einbezogenen Messniveaus ($n = 3$) ist die Regression jedoch nicht gesichert.

Das Ergebnis der Regression kann gedeutet werden als ein Hinweis auf eine gute Vergleichbarkeit in den praxisrelevanten Messniveaus 2, 3 und 4 mit sehr niedrigen bis mittleren Erwartungswerten für standfeste Asphalte.

Die Erfahrungen bei der Versuchsdurchführung und die Ergebnisse des Ringversuchs erlauben eine Abschätzung der Präzision des Verfahrens. Unter der Annahme, die Präzision sei linear abhängig von der Prüfgröße, wird vorgeschlagen, die Präzision als Mittelwert aus den prozentualen Werten für die Wiederhol- und Vergleichbarkeit der Messniveaus 2, 3 und 4 (sehr niedrige, niedrige und mittlere Erwartungswerte) anzunehmen. Es ergeben sich die in Tabelle 3 in der unteren Zeile angegebenen prozentualen Werte.

Tabelle 3: Mittelwerte x_i und Standardabweichungen s_r und s_R sowie Wiederholbarkeit r und Vergleichbarkeit R für alle Prüfgeräte ohne Messniveau 1 (hohe Erwartungswerte)

Mess-niveau	x_i mm	s_r	s_R	Wiederholbarkeit r		Vergleichbarkeit R	
				mm	% vom Mittelwert	mm	% vom Mittelwert
2	6,82	0,77	1,21	2,1	31	3,4	50
3	3,20	0,57	0,72	1,6	49	2,0	63
4	1,51	0,11	0,37	0,3	0	1,0	66
Mittelwerte					33,3		59,7

3.6.5 Kritische Spannweite, Präzision und Anforderungen

Aus den Untersuchungsergebnissen und den unter hypothetischen Annahmen durchgeführten statistischen Auswertungen lassen sich vorläufige Angaben für die zulässige Spannweite, die Präzision und ein Anforderungswert ziehen.

Als Ergebnis der Prüfung gilt der Mittelwert aus zwei Einzelmessungen. Zur Bildung des Mittelwertes sollten nur Werte herangezogen werden, die sich um nicht mehr als die vorläufige zulässige Spannweite des Verfahrens gemäß Tabelle 4 voneinander unterscheiden. Die zulässige Spannweite des Verfahrens wurde noch nicht mit der nach dem Merkblatt für die statistische Auswertung von Prüfergebnissen notwendigen statistischen Sicherheit ermittelt. Die vorgeschlagenen Werte sind als vorläufig zu betrachten.

Tabelle 4: Zulässige Spannweite zwischen kleinstem und größtem Wert der Einzelmessungen

Mittelwert der Spurtiefe	Zulässige Spanne
mm	mm
0 bis 2,0	0,65
2,1 bis 4,0	1,9
4,1 bis 6,0	2,3
6,1 bis 8,0	5,2

4 Folgerungen für die Praxis

Seit 1997 gibt es in Deutschland die TP A-StB Teil: Spurbildungsversuch – Bestimmung der Spurrinntiefe im Wasserbad (FGSV, 1997). Nach dieser Vorschrift wird seit nunmehr neun Jahren die Wärmestandfestigkeit von Asphalten mit einem Stahlrad im Wasserbad geprüft. Seitdem hat sich der Versuch weitgehend bewährt. Eine Unterscheidung in "gut" und "schlecht" ist möglich, eine weitergehende Auswertung der Prüfergebnisse jedoch nicht.

Im Zuge der Einführung der Europäischen Normung sind die Spurbildungsversuche nach der DIN EN 12697 Prüfverfahren für Heiasphalt – Teil 22: Spurbildungstest (Deutsches Institut für Normung e.V., 2004) durchzuführen. Zum Antragszeitpunkt zeichnete sich ab, dass mit Einführung der Europäischen Normung die Spurbildung nur noch im Luftbad und mit dem Gummirad geprüft werden darf. Die einzige Variable, die noch national festgelegt werden kann, ist die Prüftemperatur, bei der der Versuch durchgeführt wird. Hier werden über die Anforderungsnormen für den Asphalt die Temperaturen 40, 50 und 60 °C vorgegeben.

Die Ergebnisse der im Institut Dr.-Ing. Gauer bearbeiteten Forschungsarbeit FA 7.180 "Optimierung der Prüfbedingungen des Spurbildungsversuches" (Gauer, P. u. a., 2001) bestätigen die Versuchsbedingungen "Luft und Gummirad". Die Aussagekraft des Spurbildungsversuchs kann verbessert werden und eine genauere, verhaltensorientierte Beurteilung von Asphalt ist möglich.

Gesamtziel des Forschungsauftrags ist es, Bedingungen für den Spurbildungsversuch, festzulegen, um eine verhaltensorientierte Bewertung der Standfestigkeit von Asphalten zu ermöglichen. Außerdem sollte ein Bewertungshintergrund zur Interpretation der Ergebnisse des Spurbildungsversuchs geschaffen und die Präzision des Verfahrens bestimmt werden.

Dazu wurden zunächst **Vorversuche** an zwölf Asphalten unterschiedlicher Zusammensetzung in zwei Laboratorien durchgeführt. Die Asphalte sollten das gesamte mögliche Ergebnisspektrum abdecken. Eingesetzt wurden Asphaltbetone, Asphaltbinder und Splittmastixasphalte, jeweils mit Destillationsbitumen und Polymermodifizierten Bitumen. Außerdem wurde die Bindemittelmenge in zwei Stufen variiert.

Die Ergebnisse der Voruntersuchungen haben gezeigt, dass sich bei der Prüfung im Wasserbad bei 50 und im Luftbad bei 50 und bei 60 °C jeweils plausible Reihungen der Asphaltvarianten ergeben. Die geringsten Spurtiefen zeigen die S-Beläge mit Polymermodifiziertem Bindemittel. Die höchsten Spurtiefen wurden bei den Mischgutsorten mit dem Bitumen 70/100 gemessen.

Aufgrund einer beobachteten systematischen Abweichung der Ergebnisse eines Labors von den Ergebnissen des zweiten Labors konnten weitere Aussagen, z. B. zur Vergleichbarkeit von Ergebnissen mit Stahlrad in Wasser mit den Ergebnissen,

welche mit Gummirad in Luft ermittelt wurden, nur qualitativ getroffen werden. Um das Forschungsziel nicht zu gefährden, mussten zunächst die Bedingungen der Versuchsdurchführung einem genauen Vergleich unterzogen werden. Dabei wurde eine unterschiedliche Einspannung der Proben als möglicher Grund für die Abweichungen erkannt.

Daraufhin wurde das Forschungsprogramm um eine Untersuchung der Auswirkungen der Einspannung der Proben erweitert. Vier verschiedene Asphaltarten wurden in drei Laboratorien unter Beteiligung der BAST mit vier verschiedenen Einspannmethode n vergleichend geprüft. Insgesamt wurden 64 Versuche durchgeführt.

Durch die **Zusatzuntersuchungen** konnte nachgewiesen werden, dass bei Asphaltplatten, die nicht am Boden und seitlich unverschieblich im Gipsbett fixiert sind, sondern nur eingespannt oder am Boden eingegipst und an den Seiten eingespannt sind, größere Spurtiefen erzielt werden.

Aufgrund der Ergebnisse wird empfohlen, Spurbildungsversuche ausschließlich mit am Boden und seitlich eingegipsten Platten durchzuführen.

Mit den in den Vorversuchen und den zusätzlichen Untersuchungen festgelegten Bedingungen wurde ein **Ringversuch** zur Bestimmung der Präzision des Verfahrens durchgeführt.

Insgesamt nahmen acht Prüfstellen am Ringversuch teil. Zusätzlich wurden kostenneutral noch zwei weitere Spurbildungsgeräte in die Untersuchungen einbezogen.

Insgesamt wurden 160 Asphaltplatten aus vier Mischgutsorten mit sechs verschiedenen Walzsektorverdichtern hergestellt und in zehn verschiedenen Spurbildungsgeräten bei 60 °C geprüft.

Die Ergebnisse des Ringversuchs gaben Anlass, an der Qualität der Durchführung zu zweifeln.

Zwar wurde bei allen Prüfstellen, bis auf zwei Ausnahmen, die gleiche Reihung der Ergebnisse ermittelt, auffällig war jedoch, dass bei fünf von zehn Prüfstellen eine größere Spreizung der Ergebnisse gelang.

Es stellte sich die Frage, ob die Prüfungen, bei denen keine so große Spreizung bzw. von der erwarteten Reihung abweichende Ergebnisse erzielt wurden, mit den anderen Prüfergebnissen vergleichbar sind, es sich also um die versuchsbedingte Streuung der Ergebnisse handelt, oder ob die Möglichkeit bestand, dass die Ergebnisse unter abweichenden Bedingungen ermittelt wurden. Abweichende Bedingungen sind am wahrscheinlichsten bei der Herstellung der Probekörper im Walzsektorverdichter und bei Temperierung während der Prüfung der Asphaltplatten mit dem Spurbildungsgerät.

Das Ergebnis der statistischen Auswertungen, die unter der Einschränkung, dass eine Wiederholung des Ringversuchs nicht möglich war, durchgeführt wurden, führt zu folgenden Vorschlägen:

Zulässige Spannweite zweier Einzelergebnisse des Verfahrens gemäß Tabelle 4.

Als vorläufige Präzision für die Prüfung der Spurrinntiefe mit dem Temperiermedium Luft bei 60 °C an einer in die Form eingegipsten Asphaltprobe können angesetzt werden:

Wiederholbarkeit r = 30 % vom Mittelwert aus zwei Ergebnissen

Vergleichbarkeit R = 60 % vom Mittelwert aus zwei Ergebnissen

Vorläufige maximale Anforderungswerte für wärmestandfeste **Asphaltbinderschichten** im Spurbildungsversuch mit Gummirad, bei 60 °C, Lufttemperierung:

2 mm bzw. 3,3 % der Plattendicke (60 mm)

Vorläufige maximale Anforderungswerte für wärmestandfeste **Splittmastixasphaltdeckschichten** im Spurbildungsversuch mit Gummirad, bei 60 °C, Lufttemperierung:

4 mm bzw. 10 % der Plattendicke (40 mm)

Außerdem wird vorgeschlagen, den Spurbildungsversuch nach Erreichen einer Spurtiefe von 20 % der Plattendicke abbrechen. Asphalte, bei denen bei 60 °C Prüftemperatur Spurtiefen von mehr als 20 % der Plattendicke erreicht werden, sollten als nicht standfest eingestuft werden.

5 Literatur

- Deutsches Institut für Normung (DIN) e.v. (2004): DIN EN 12697: Asphalt-Prüfverfahren für Heiasphalt – Teil 22: Spurbildungstest, Deutsche Fassung EN 12697-22:2003, April 2004, Berlin.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (1978): Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 1: Grundlagen, Ausgabe 1978, Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (1978): Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 2: Behandlung von abweichenden Mewerten (Ausreißern), Ausgabe 1978, Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (1979): Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 3: Planung und Durchführung von Ringversuchen, Ausgabe 1979, Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (1982): Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 4: Auswertung von Ringversuchen und Errechnung von Prüffehlern, Ausgabe 1982, Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (1997): Technische Prüfvorschriften für Asphalt im Straßenbau (TP A-StB) – Teil: Spurbildungsversuch – Bestimmung der Spurrinntiefe im Wasserbad, Ausgabe 1997, Köln.
- Gauer, P.; Hausinger, N. (2001): Optimierung der Prüfbedingungen des Spurbildungsversuches, Forschungsbericht, FA 7.180, Oktober 2001, Regenstau.