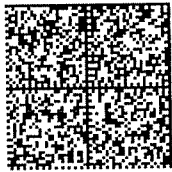
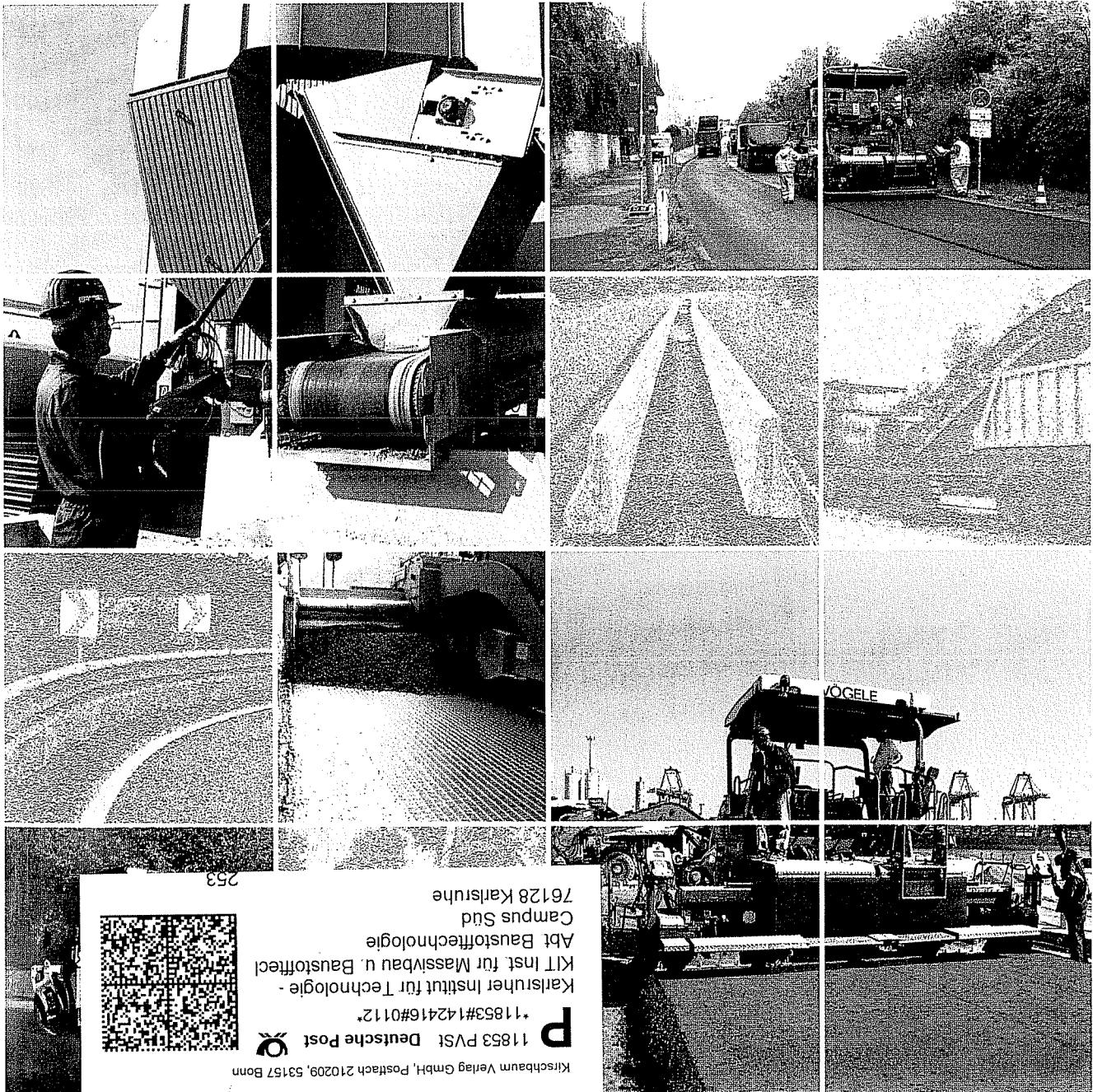


# Straße und Autobahn



Kirschbaum Verlag GmbH, Postfach 210209, 53157 Bonn  
 11853 PVSt Deutsche Post  
 \*11853#142416#0112\*  
 Karlsruhe Institut für Technologie -  
 KIT Inst für Massivbau u. Baustofftech  
 Abt Baustofftechnologie  
 Campus Süd  
 76128 Karlsruhe

253



**Asphaltstraßen**  
 Untersuchungen  
 zur strukturellen  
 Substanz

**Dimensionierung**  
 Beanspruchung in  
 der Überbauung  
 von Fahrbahnen

**Straßenbau-**  
 verwaltungen  
 Straßenbau  
 in Bayern



# Untersuchungen zur strukturellen Substanz von Asphaltbefestigungen

Carsten Karcher, Manfred N. Partl, Plamena Plachkova, Martin Arraigada und Martin Umminger

Verfasseranschriften  
Dr.-Ing. C. Karcher,  
Dipl.-Ing. P. Plachkova,  
Dipl.-Ing. M. Umminger,  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen (ISE),  
Kaiserstraße 12,  
76131 Karlsruhe,  
carsten.karcher@kit.edu;  
Prof. Dr. M. N. Partl,  
Dipl.-Ing. M. Arraigada,  
Eidgenössische Materialprüfanstalt Dübendorf (Empa),  
Ueberlandstrasse 129,  
8600 Dübendorf/Schweiz,  
manfred.partl@empa.ch

Veränderungen der strukturellen Substanz von vorhandenen Straßenkonstruktionen aus Asphalt bewerten zu können wird immer wichtiger. Daher wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes an der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf/Schweiz (Empa) vier Testfelder in Asphaltbauweise angelegt und diese mit einem Mobile Load Simulator MLS10 mehrere hunderttausend Mal beansprucht. Parallel dazu wurden regelmäßig verschiedene zerstörungsfreie Messverfahren eingesetzt, um Veränderungen in der Konstruktion infolge der Belastung darstellen zu können. Die Auswertung und Interpretation der zerstörungsfrei ermittelten Daten sowie der Ergebnisse von Laboruntersuchungen an entnommenen Proben sind im obigen Sinne von großem Interesse. Dazu werden ausgewählte Untersuchungsergebnisse, Erkenntnisse sowie Bewertungsmöglichkeiten und Lösungsansätze gegeben.

The evaluation of the structural properties of existing asphalt pavements is getting more and more important. Therefore four testing fields have been built and stressed several hundred thousand times by the Mobile Load Simulator MLS10 in a research project of the Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Empa). In parallel different non-destructive tests have been applied regularly to describe changes in the pavement due to these stresses. The calculation and interpretation of the corresponding data as well as the results of laboratory tests of withdrawn samples are of great interest in the sense above. Therefore selected results, findings and assessments as well as possible solutions are given.

## 1 Einführung

Die Bewertung der strukturellen Substanz von vorhandenen Straßenkonstruktionen aus Asphalt ist für die nächsten Jahre eine der vordringlichen Aufgaben der Forschung in der Straßenbautechnik. Dazu bedarf es zuverlässiger und aussagekräftiger Prüfverfahren und Methoden. Die zeitgeraffte Beanspruchung von realen Straßenkonstruktionen mit entsprechenden Geräten wie Impulsgebern oder „Full-Scale“ Schwerverkehrs-Überrollsimulatoren bei gleichzeitiger Anwendung von vorhandenen Prüfverfahren bietet dazu eine Möglichkeit zur Erarbeitung von Bewertungshintergründen.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes an der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf/Schweiz (Empa) wurden Testfelder in Asphaltbauweise angelegt und diese mit einem Mobile Load Simulator MLS10 mehrere hunderttausend Mal beansprucht. Parallel dazu wurden regelmäßig verschiedene zerstörungsfreie Messverfahren angewendet, um Veränderungen in der Konstruktion infolge der Belastung darstellen zu können. Bei gemeinsamen zusätzlichen Unter-

suchungen wurden durch das Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen (ISE) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) an drei Zeitpunkten Tragfähigkeitsmessungen mit dem Falling Weight Deflectometer (FWD) durchgeführt und am Ende der Belastungszeit im und neben dem belasteten Bereich Bohrkerne für weitere asphalttechnologische Untersuchungen entnommen. Des Weiteren waren durch die Empa in jedem Testfeld Temperatursensoren in den jeweiligen Schichtmitten sowie Dehnungsmesssensoren (DMS) in Längs- und Querrichtung eingebaut, um die Dehnungen infolge der Überrollbelastung aufzuzeichnen. Die Auswertung und Interpretation der zerstörungsfrei ermittelten Daten sowie der Ergebnisse der Laboruntersuchungen sind im obigen Sinne von großem Interesse. Ausgewählte Untersuchungsergebnisse, Erkenntnisse sowie Bewertungsmöglichkeiten und -grundlagen werden im Weiteren gegeben.

## 2 Schwerverkehrslastsimulation mittels Mobile Load Simulator MLS10

Mit der Hilfe von Accelerated Pavement

Testing (APT) können die Beanspruchungen, die eine Straße über Jahre oder Jahrzehnte erfährt, in kurzer Zeit aufgebracht und deren Auswirkungen untersucht werden. Man unterscheidet mobile und stationären APT Anlagen sowie zwischen „Full-Scale“ Schwerverkehrslastsimulatoren den kleinen „Small Scale“ Verkehrslastsimulatoren (z. B. MMLS-Model Mobile Load Simulator). Der Mobile Load Simulator „MLS10“ (Bild 1) ist ein mobiler APT Schwerverkehrslastsimulator. Im Inneren des MLS10 werden vier Räder über ein Schienensystem in eine Richtung mit Hilfe von 24 Linear-Induktionsmotoren angetrieben. Die Last der Räder im MLS10 beträgt jeweils maximal 65 kN und simuliert eine halbe Lkw-Achslast (nach Schweizer Norm) mit einer Geschwindigkeit von 22 km/h (Bild 1). Somit können innerhalb von einer Stunde 6.000 Überrollungen erfolgen. Die Belastungsstrecke der Räder, die die Fahrbahn zusätzlich durch Querverschub beanspruchen können, beträgt 4,2 m. Die volle Belastung wirkt jedoch über ca. 3,4 m lange Strecke. Die Auswertung und Interpretation der APT-Versuche kann während, zwischen und nach den Versuchen erfolgen. Einzelheiten finden sich in [11, 12].

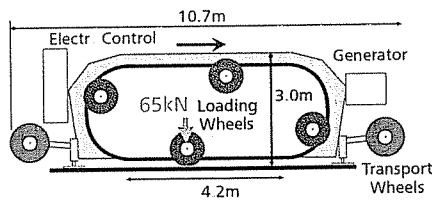
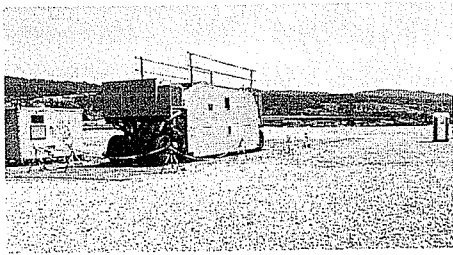


Bild 1: Mobile Load Simulator „MLS10“, Ansicht (links) und Schema (rechts)

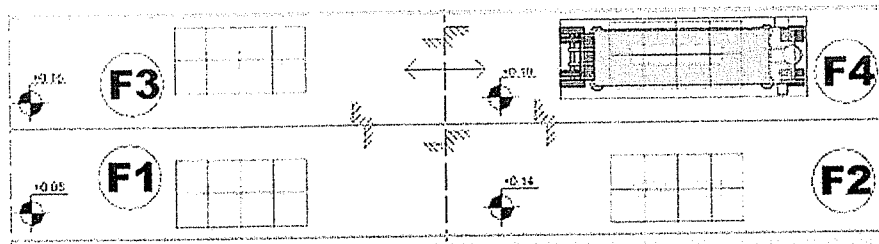


Bild 2: Schematische Anordnung der Testfelder F1 bis F4 (Untersuchte Felder: F1 und F4)

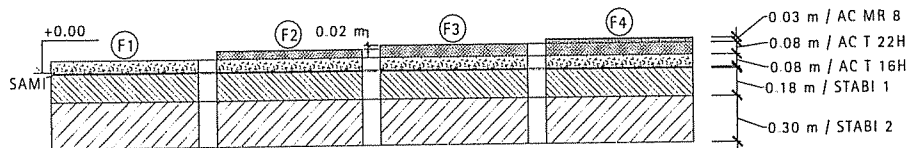


Bild 3: Aufbau der Testfelder F1 bis F4 (Untersuchte Felder: F1 und F4)

### 3 Beschreibung der Versuchsfelder

Die vier Testfelder wurden südwestlich von Zürich, neben der neuen Nationalstraße N 20, „Westumfahrung Zürich“, im September 2008 gebaut und ca. 1 Jahr später wieder abgerissen.

Die Anordnung der Testfelder sowie deren Aufbau sind im Bild 2 bzw. im Bild 3 dargestellt. Diese entsprechen dem Oberbautyp „Asphaltbetonbelag auf hydraulisch stabilisierten Schichten“.

Die Testfelder bestanden aus einer bis zu drei Schichten Asphaltbeton (AC), die auf zwei hydraulisch stabilisierten Schichten (STAB 1 und 2) und dem anstehenden Untergrund fundiert waren. Zwischen den hydraulisch stabilisierten Schichten und

dem Asphaltbeton wurde eine „SAMI“-Schicht (Stress Absorbing Membrane Interlayer) eingebaut. Die Asphalt-schichten entsprachen jeweils den Anforderungen des Kantons Zürich. Das hier beschriebene Untersuchungsprogramm wurde an Feld 1 und Feld 4 durchgeführt.

Der Aufbau des Feldes 4 war dem Oberbautyp 5 Schweizer Norm (SN) 640324a [6], Verkehrslastklasse T6 (höchste Verkehrsklasse) und Tragfähigkeitsklasse S1 (geringste Tragfähigkeit des Unterbaus bzw. Untergrundes), ähnlich. Die hierzu verwendeten Materialien und die Schichtgeometrien entsprechen dem Aufbau der benachbarten Nationalstraße A 4. Dieser ist insgesamt um 7 cm mächtiger als der stabilste Aufbau nach Schweizer Norm

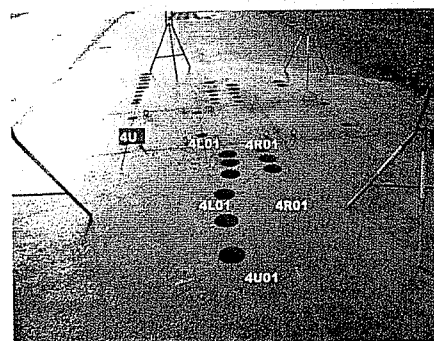
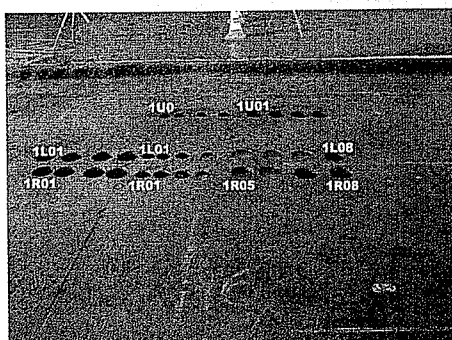


Bild 4: Bohrkernentnahmestellen im Testfeld 1 (links) und Testfeld 4 (rechts)

(SN) 640324a (Oberbautyp 5) [6] und um 27 cm mächtiger als der entsprechende Aufbau der Schichten nach den RStO 01 (Tafel 1, Zeile 2.1, Bauklasse SV) [7]. Insbesondere die Dicke der hydraulisch stabilisierten Schichten ist wesentlich größer als nach den RStO 01. Der Aufbau in Feld 1 entsprach dem des Feldes 4 ohne die Binder- und die Deckschicht (Bild 4). Insgesamt war von einem höchst steifen Aufbau der Gesamtkonstruktion auszugehen.

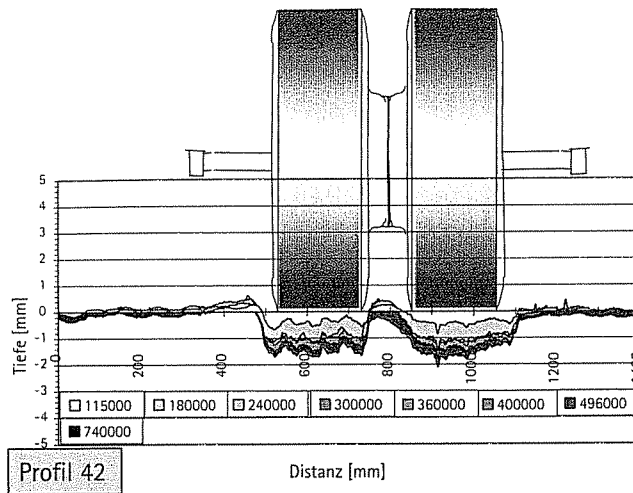
### 4 Untersuchungsprogramm

#### 4.1 Zeitgeraffte Beanspruchung und begleitende zerstörungsfreie Untersuchungen

Die Testfelder wurden von November 2008 bis September 2009 durch den MLS10 beansprucht. In diesem Zeitraum wurden auf den Testfeldern 1 und 4 entsprechend 439.000 und 740.000 Überrollungen erreicht. Die aktuelle Oberflächenbeschaffenheit in der Belastungsspur wurde täglich vor Belastungsbeginn mit einem Laserprofilometer erfasst. Mit Hilfe eines PSPA (Portable Seismic Pavement Analyzer) wurde darüber hinaus die aktuelle Schichtsteifigkeit in der Belastungsspur gemessen. Zusätzlich waren in jedem Testfeld Dehnungsmesssensoren (DMS) in Längs- und Querrichtung eingebaut, um die Dehnungen infolge der Belastung aufzuzeichnen. Diese befanden sich an der Unterseite der Deck- bzw. Binderschicht. Fest installierte Temperatursensoren waren in den jeweiligen Schichtmitten eingebaut. Des Weiteren wurden Beschleunigungssensoren an den Unterseiten der Deck- und Binderschichten eingebaut. In Feld 1 befand sich der Beschleunigungssensor im oberen Drittel der Asphalttragschicht.

Die Tragfähigkeitsmessungen mit dem Falling Weight Deflectometer (FWD) erfolgten an drei Messterminen an den Testfeldern 1 und 4. Die dazugehörigen klimatischen Randbedingungen und die Anzahl der Lastüberrollungen durch den MLS10 sind zusammenfassend in der Tabelle 1 aufgelistet. Die FWD-Messungen erfolgten nach einem festgelegten Schema, so dass auf jedem Testfeld fünf Messlinien von A bis E mit bis zu neun Messpunkten aufgenommen wurden. Jedes der Testfelder wurde in den Messlinien B und C, in etwa zwischen dem 3. und 6. Messpunkt, durch den MLS10 beansprucht. Im Rahmen der Untersuchungen wurden die Deflexionen bei der Standardbelastung von 50 kN so-

Bild 5: Entwicklung der Spurrinnentiefe im Feld 4 in Funktion der Überrollungen



wie einer weiteren Belastung von 90 kN erfasst.

#### 4.2 Zerstörende Untersuchungen/Bohrkernentnahmen

Mit dem Ziel, die einzelnen Schichten genauer zu untersuchen, wurden Bohrkerne aus den Testfeldern 1 und 4 entnommen. Insgesamt sind am ISE 33 Bohrkerne mit dem Spaltzug-Schwellversuch untersucht worden. Die Untersuchungen umfassten das Bestimmen der Ermüdungskurven der Asphalttragschichten sowie der Steifigkeiten aller Asphaltsschichten als sogenannte Masterkurve nach der AL Sp-Asphalt 09 [1]. Die 22 Bohrkerne aus Testfeld 4 wurden im Oktober 2009 an der Stirnseite (Bild 4) des Feldes entnommen und sind nicht durch den MLS10 beansprucht worden. In Testfeld 1 wurden Anfang Novem-

ber 2009, nach Abschluss der Überrollungen, 11 Bohrkerne in der Belastungsspur des MLS10 entnommen. Dabei stammen 6 Bohrkerne aus der linken und 5 Bohrkerne aus der rechten Belastungsspur der Zwillingsbereifung des MLS10.

### 5 Ausgewählte Untersuchungsergebnisse

#### 5.1 Bleibende Verformungen in situ

Die tägliche Messung der Spurrinnentiefe durch die Empa erfolgte mit einem Laserprofilometer in der Belastungsspur an drei Messlinien jedes Testfeldes immer am selben Ort. So konnte über die Zeit hinweg die Spurbildung infolge der Belastung beobachtet werden (Bild 5). Diese betrug nach 740.000 Achsübergängen ca. 2 mm.

#### 5.2 Tragfähigkeitsmessungen

Das zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Verkehrsflächen vom ISE eingesetzte FWD des Typs „Phönix PRI 2100“ ist ein dynamisch wirkendes Messsystem. Der Kraftimpuls wird durch ein Fallgewicht erzeugt, das am Messpunkt aus definierter Höhe herabfällt. Die Größe des Kraftimpulses ergibt sich aus der Anzahl der eingesetzten Massesegmente sowie der stufenlos wählbaren Fallhöhe. Je nach Konstruktion können auf die Fahrbahnoberfläche wirkende Kräfte (Belastungen) bis zu einem Maximum von ca. 250 kN aufgebracht werden. Im Straßenbau wird in aller Regel mit einer Standardbelastung von 50 kN gearbeitet. Die Impulsdauer des jeweiligen Kraftimpulses ist über Gummipuffer, Fallhöhe und Massesegmente systemabhängig und soll standardmäßig zwischen ca. 20 und 30 ms betragen. Die durch die dynamische Belastung verursachte Reaktion bzw. Deflexion an der Fahrbahnoberfläche wird mit 9 Messwertaufnehmern (Geofonen) erfasst. Die an jedem Messpunkt anfallenden Messgrößen wie zeitlicher Kraftverlauf, Maximalkraft, Impulsdauer, Deflexionen an allen Geofonpunkten, Temperaturen (Luft, Straßenoberfläche) und Stationierung werden für die weitere Auswertung gespeichert. Aufbau, Wirkungsweise und Anwendungsmöglichkeiten des Gerätes wurden vielfach beschrieben (z.B. [2, 3, 5]). Die Auswertung und Bewertung der Ergebnisse kann z.B. nach Arbeitspapier „Tragfähigkeit, Teil C2“ [4] der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

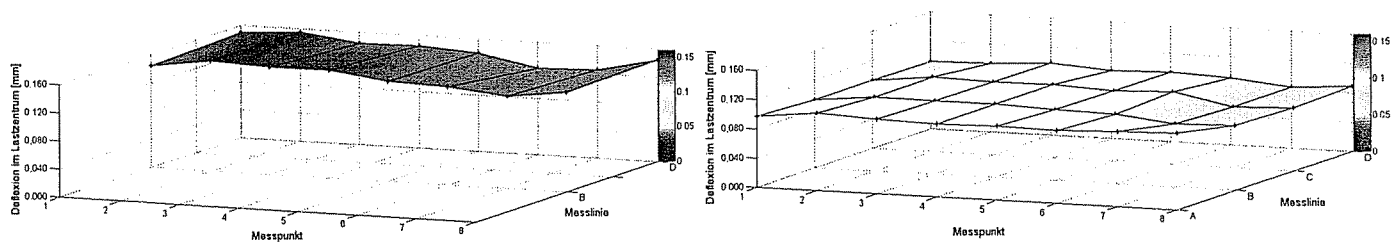


Bild 6: Die gemessenen maximalen Deflexionen D0 auf dem Testfeld F1 beim ersten (links) bzw. beim zweiten Messtermin (rechts) mit F = 90 kN

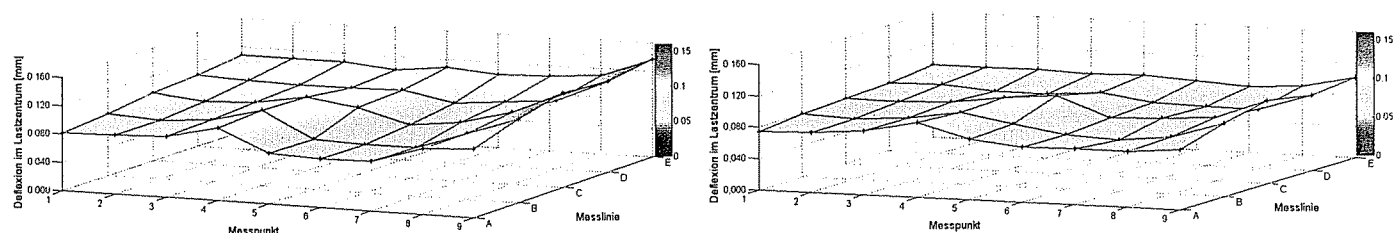


Bild 7: Die gemessenen maximalen Deflexionen D0 auf dem Testfeld F4 beim ersten (links) bzw. beim zweiten Messtermin (rechts) mit F = 90 kN



(zurzeit noch in Bearbeitung) oder [5] erfolgen.

Bei der Analyse der Tragfähigkeitsmessergebnisse müssen zunächst die klimatischen Randbedingungen berücksichtigt werden. Eine Erhöhung der Temperatur in den Asphaltsschichten führt zu größeren Deflexionen und tendenziell zu größeren Streuungen in den Messwerten. Um die Tragfähigkeit eines Straßenkörpers zu beurteilen, bzw. verschiedene Messergebnisse vergleichen zu können, können die Deflexionen auf die Standardoberbautemperatur von 20°C umgerechnet werden. Zu dieser Thematik gibt es international verschiedene Ansätze (z.B. [5, 8, 9]). Die meisten Ansätze beziehen sich auf eine Temperaturkorrektur der Deflexionen hinsichtlich bestimmter Straßenaufbauten mit meist wesentlich dünnen Asphaltsschichten oder ausschließlich auf die Anpassung der Deflexion im Lastzentrum. Da der Straßenaufbau und die Untergrundeigenschaften oft verschieden sind, ist es schwierig, alle Faktoren in einem Modell zu berücksichtigen. Aufgrund der besonderen Bauweise (8 bis 19 cm dicke bituminös gebundene Schichten auf 48 cm dicken hydraulisch gebundenen Schichten)

Tabelle 1: Anzahl der Überrollungen durch den MLS10 und Wetterbedingungen bei den FWD-Messungen

| Messtermin | Testfeld | Überrollungen [-] | Lufttemperatur [°C] | Oberflächen-temperatur [°C] | Asphalttemperatur bei -4 cm [°C] | Witterung |
|------------|----------|-------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------|
| Juni 2009  | 1        | 0                 | 30,5                | 34,1                        | 32,7                             | Sonnig    |
| Sept. 2009 | 1        | 188.000           | 18,1                | 21,4                        | 23,6                             | Bewölkt   |
| Okt. 2009  | 1        | 439.000           | 11,7                | 12,0                        | 11,5                             | Bewölkt   |
| Juni 2009  | 4        | 353.000           | 34,3                | 34,8                        | 36,5                             | Sonnig    |
| Sept. 2009 | 4        | 396.000           | 20,5                | 23,4                        | 26,1                             | Bewölkt   |
| Okt. 2009  | 4        | 550.000           | 10,3                | 10,5                        | 9,5                              | Bewölkt   |

ten) kann im vorliegenden Fall keine der bekannten Methoden zur Temperaturkorrektur sinngemäß angewendet werden. Eine Berücksichtigung des Temperatureinflusses kann somit nur qualitativ in die Bewertung einfließen.

Grundsätzlich können für eine erste Einschätzung der Tragfähigkeit die Deflexionsmulden selbst und die maximalen Deflexionen D0 (im Lastzentrum) herangezogen werden. Somit können erste Erkenntnisse über die Größenordnung und die Streuung der Ergebnisse bzw. über die Homogenität der Fläche bezüglich der Tragfähigkeitseigenschaften gewonnen werden. Exemplarisch sind in den Bildern 6 und 7 die maximalen Deflexionen dargestellt, die auf den Testfeldern 1 und 4

bei einer Belastung von 90 kN beim 1. und 2. Messtermin gemessen worden sind. Beide Abbildungen zeigen die gleiche Tendenz der Messwerte. Die Anzahl der Überrollungen zu den beiden Zeitpunkten ist entweder null oder relativ gering, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die unterschiedlichen Messwertniveaus innerhalb der Testfelder baubedingt entstanden sind. Zum ersten Messtermin sind diese durch die größeren Streuungen besser zu erkennen, und die Werte liegen tendenziell höher, was auf die sehr hohen Temperaturen (vgl. Tabelle 1) während der Messung zurückgeführt werden kann. Im Allgemeinen gilt es jedoch, dass die im Testfeld 4 gemessenen Deflexionen, auch bei 36,5°C und einer Last von 90 kN, so gering sind,

Erfahrung · Kompetenz · Flexibilität · Innovation

**VOLKMANN & ROSSBACH** GmbH Co. KG  
 Höhe Straße 9-17 · D-56410 Montabaur  
 Tel.: +49 (0) 2602 135-0 · Fax: -490  
[www.volkman-rossbach.de](http://www.volkman-rossbach.de)

**Stahlschutzwände von VR:**

- MINI-GUARD®, Aufhaltestufe T1 bis T3
- VARIO-GUARD®, Aufhaltestufe T3 bis H2
- GuardVOX®, Aufhaltestufe T3, H1
- MAXI-WALL®, Aufhaltestufe H2
- SOLO-GUARD®, Aufhaltestufe H1
- VARIO-GATE®, Aufhaltestufe H2

**Rückhaltesysteme von VR:**

- Standardsysteme gemäß RAL / T1-SP
- EASYRAIL®, Aufhaltestufe N2, H1
- SAFETY-RAIL®, Aufhaltestufe H2
- SUPER-RAIL®, Aufhaltestufe H2, H4b
- MAXI-RAIL®, Aufhaltestufe H4b
- BRIDGE-GUARD®, Aufhaltestufe H4b

**Übergänge von VR:**

- BeSiCONNECT EDSP, Aufhaltestufe H2
- BeSiCONNECT SR, Aufhaltestufe H2
- BeSiCONNECT ECO, Aufhaltestufe H2

**Fahrbahnmarkierung von VR:**

- Heiß- und Kaltplastik
- Kaltspritz- und Farbmarkierungen
- Kalt- und Heißplastikagglomerate
- Markierungsfolien- Nägel

**Weitere Produktbereiche von VR:**

- Motorrad-Unterfahrerschutz
- Amphibienschutz
- Anpralldämpfer (VECU-STOP®)
- Telematik-Park/Delek
- Anfahrerschutz
- Stahl-Tragkonstruktion für Solaranlagen

**haben Sicherheit - weltweit!**

**SUPERRAIL ECO** DOPPEL

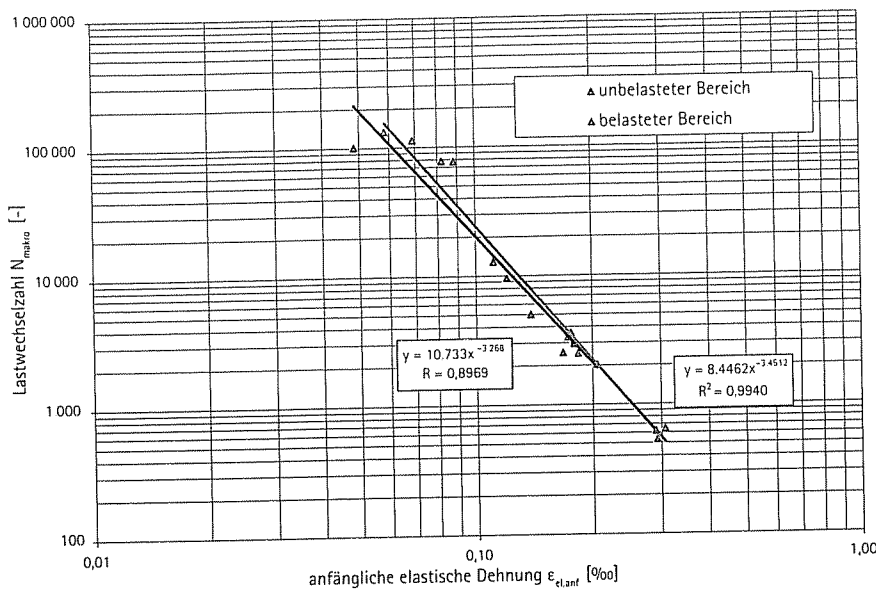


Bild 8: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschicht im belasteten und unbelasteten Bereich der Konstruktion

dass die Tragfähigkeit als sehr gut einzustufen ist. Im Vergleich dazu sind die Deflexionen im Testfeld 1 auf einem höheren Niveau und repräsentieren geringere Tragfähigkeiten. Grund hierfür ist der schwächere Aufbau in diesem Testfeld.

Eine vergleichende Bewertung der bei einer Standardbelastung von 50 kN erzeugten Deflexionsmulden und eine weitere Einschätzung der Tragfähigkeitseigenschaften von Asphaltkonstruktionen kann anhand der Tragfähigkeitszahl  $T_z$  vorgenommen werden [4, 5]. Damit können für flexible Straßenbefestigungen die kurzzeitigen Verformungseigenschaften der gebundenen Schichten (Krümmungsradius  $R_0$  im Lastzentrum) und der Unterlage (maximale Deflexion  $D_0$ ) durch eine einzige Größe erfasst werden. Die untersuchte Straßenbefestigung ist umso

tragfähiger, je höher die Tragfähigkeitszahl  $T_z$  ist.

Zur quantitativen Beurteilung der Tragfähigkeit der Unterlage einer Straßenbefestigung kann nach [10] die Deflexion am Geofon, der 1800 mm vom Lastzentrum entfernt ist, herangezogen werden. Diese ist weitgehend unabhängig von der Temperatur und den Schichtdicken des Oberbaues. Weiterhin kann daraus mit Hilfe einer Mehrschichtenrechnung ein sogenannter Bettungsmodul  $E_0$  [MN/m<sup>2</sup>] berechnet werden.

Auf Basis dieser Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass infolge der relativ niedrigen Anzahl an Überrollungen bei dem vorliegenden steifen Aufbau der Testfelder keine Strukturänderungen bzw. Verschlechterung der Tragfähigkeitseigenschaften erfolgt sind. Gleichzeitig konnten

unterschiedliche Tragfähigkeitseigenschaften innerhalb sowie zwischen den Testfeldern ausgearbeitet werden. Der Einfluss der Temperatur auf die Tragfähigkeit war ebenso deutlich zu erkennen.

### 5.3 Materialanalysen

Für die Untersuchungen der Ermüdungs- und Steifigkeitseigenschaften des Asphaltes im Labor stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, einer davon ist der Spaltzugschwellversuch (SZV) nach AL-Sp-Asphalt 09 [1]. Dabei wird ein auf der Mantelfläche liegender zylindrischer Probekörper durch eine dynamische Belastung über Lastverteilungstreifen auf der Mantelfläche beansprucht und die dabei auftretenden Verformungen in horizontaler Richtung gemessen. Es bildet sich ein zweiachsiger Spannungszustand im Probekörper aus. Die maßgebende Materialermüdung erfolgt durch die horizontal gerichtete Zugspannung im mittleren Bereich der vertikalen Probekörperachse.

Die Ergebnisse des Spaltzug-Schwellversuches in Bezug auf das Ermüdungsverhalten sind abhängig von der Prüftemperatur, dem verwendeten Material des Probekörpers, den aufgetragenen Spannungen und den dadurch entstandenen anfänglichen elastischen Dehnungen. Die Belastung erfolgt als kraftgeregelte, harmonische Sinusschwellbelastung ohne Lastpausen. Die Belastungsfrequenz beträgt i.d.R. 10 Hz. Eine Veränderung der Konstruktion in Form von Ermüdung der Asphaltsschichten sollte in den Ermüdungsfunktionen zu erkennen sein. Der gleiche Verlauf der beiden Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschicht im belasteten und unbelasteten Bereich de

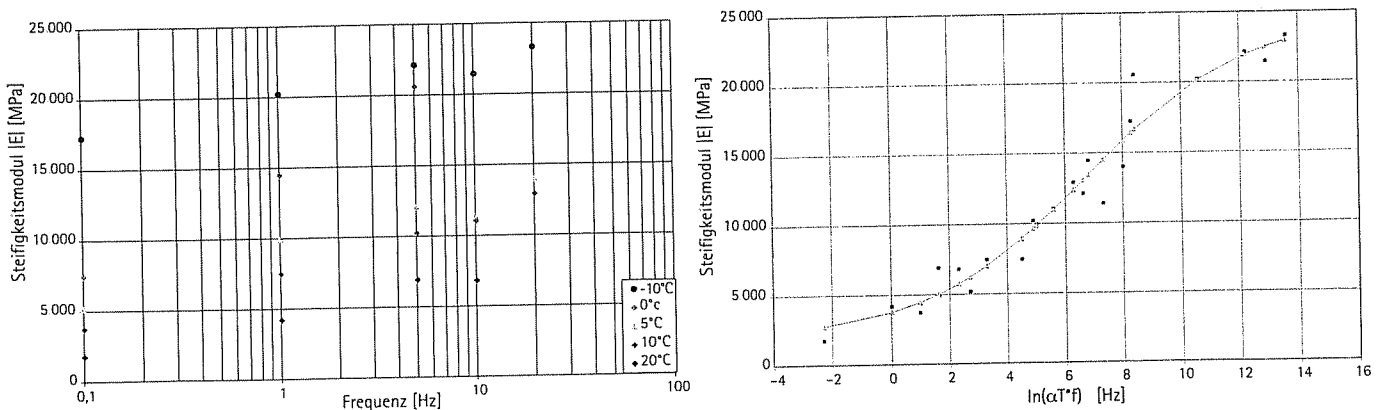


Bild 9: Isothermen für Steifigkeitsmoduli bei vier Temperaturen (links) und Masterkurve durch Verschiebung der Isothermen (rechts); Asphalttragschicht; Referenztemperatur  $T_0 = 20$  °C



Konstruktion bei 20 °C zeigt jedoch, dass die Beanspruchung durch den MLS10 keine signifikanten Veränderungen in Bezug auf die Ermüdungseigenschaften der Tragschichten verursacht hat (Bild 8).

Die Bestimmung der Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion zur Beschreibung des Steifigkeitsverhaltens erfolgt bei verschiedenen Prüftemperaturen anhand von Multistage-Versuchen mit Variation der Prüffrequenz. Während der Belastung der Multistage-Versuche darf keine Schädigung an den Probekörpern auftreten. Die Funktion der Steifigkeits-Temperaturfunktion wird mit mindestens vier Prüftemperaturen zwischen -10 ° und 20 °C bei je unterschiedlichen Lastwechselzahlen je Prüftemperatur gemäß [1] durch eine Regressionsfunktion ermittelt. Die Hauptkurve (Masterkurve) eines Asphaltes stellt Steifigkeitsmoduli für alle interessierenden Kombinationen aus Temperatur- und Belastungsfrequenz dar. Mit dem Zeit-Temperatur-Superpositionsprinzip kann die Äquivalenz zwischen Prüftemperatur und Belastungsfrequenz, bezogen auf die Steifigkeit, hergestellt werden. Das Zeit-Temperatur-Superpositionsprinzip kann mathematisch durch die WLF-Gleichung von Williams-Landel-Ferry oder mit der Arrhenius-Gleichung ausgedrückt werden. Die Steifigkeitsmodul-Frequenzfunktion wird als sog. Masterkurve für eine gewählte Referenztemperatur dargestellt. Die Berechnung der Masterkurve erfolgt auf Grundlage der Isothermen messbaren frequenzabhängigen Steifigkeitsmoduls durch entsprechende horizontale Verschiebung entlang der Frequenzachse. Der für eine Prüftemperatur ermittelte Abschnitt einer Isotherme muss zur Ermittlung der Masterkurve mit dem Faktor  $aT$  in Richtung der Frequenzachse horizontal verschoben werden, bis sich für die Referenztemperatur  $T_0$  (hier: 20 °C) eine kontinuierliche Masterkurve (Bild 9) ergibt. Der Faktor  $aT$  kann [1] dann mit Hilfe der Arrhenius- oder mit der WLF-Gleichung berechnet werden.

## 6 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

Ziel dieser gemeinsamen Untersuchungen war, die Veränderungen in der Konstruktion infolge einer zeitgerafften Beanspruchung zu untersuchen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes an der Empa wurden Testfelder in Asphaltbauweise angelegt und diese mit einem MLS beansprucht.

Hierzu wurden zerstörungsfreie Prüfverfahren wie Tragfähigkeits- und Ebenheitsmessungen und zerstörende Prüfverfahren durch Entnahme von Bohrkernen und anschließenden Untersuchungen zum Ermüdungsverhalten und E-Modul-Bestimmung im Labor durchgeführt. Dabei hat sich gezeigt, dass auch nach 740.000 Überrollungen mit dem MLS10 für den vorliegenden Aufbau eine praktisch unveränderte hohe Stabilität vorliegt. Verglichen mit früheren Untersuchungen mit dem MLS10 [12, 13] kann somit gefolgert werden, dass sich die gewählte Dimensionierung erfolgreich war und der Belag eine gute Qualität aufweist. Dass keine Veränderungen in der Konstruktion zu beobachten waren, konnte unter anderem durch die minimale Spurrinnentiefe von ca. 2 mm am Ende des Versuchsprogramms bestätigt werden. Durch die FWD-Messungen konnte ebenfalls keine Verringerung der Tragfähigkeit infolge der Beanspruchung festgestellt werden. Gleichzeitig konnten jedoch mit diesem Verfahren Schwachstellen in der Konstruktion infolge des Einbaus lokalisiert werden sowie Änderungen der Tragfähigkeit in Abhängigkeit der Temperatur und des Aufbaus (Schichtdicken) in den beiden Testfeldern ausgearbeitet werden. Bei den Ermüdungsversuchen konnten keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Eigenschaften der Probekörper aus den belasteten bzw. unbelasteten Bereichen festgestellt werden. Im Hinblick auf eine weiterführende Verwendung der Ergebnisse für die rechnerische Dimensionierung bzw. die Berechnung der Restnutzungsdauer der Befestigung hat sich gezeigt, dass die Aufstellung der Temperatur-Steifigkeitsfunktionen nach [1] sinnvoll ist, um weitere relevante Kenngrößen der Konstruktion zu erhalten. Diese Informationen können dann mit den Ergebnissen der zerstörungsfreien Tragfähigkeitsmessungen (z.B. mit den daraus errechneten Schichtmoduli) kombiniert werden, um ein möglichst realitätsnahes Modell der gesamten Straßenbefestigung für rechnerische Verfahren aufstellen zu können.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das hier vorgestellte Untersuchungsprogramm als eine zuverlässige Methode für die Lösung aktueller Fragestellungen bezüglich der Änderung der strukturellen Substanz von Asphaltbefestigungen betrachtet werden kann. Die einzelnen Messverfahren (zerstörungsfreie und zerstörende) in ihrer Kombination ergänzen

sich und führen zu einer umfassenden Bewertung der gesamten Konstruktion, von Bereichen oder einzelnen Schichten davon.

### Literaturverzeichnis

- 1 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Steifigkeits- und Ermüdungsverhaltens von Asphalten mit dem Spaltzug-Schwellversuch als Eingangsgröße in die Dimensionierung von Asphaltbefestigungen (AL-Sp-Asphalt 09), Köln, 2009.
- 2 Beckedahl, H.; Hürtgen, H.; Straube, E. (1996): Begleitende Forschung zur Einführung des Falling Weight Deflectometer (FWD) in der Bundesrepublik Deutschland; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, H. 733, Bonn, 1996.
- 3 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Arbeitspapier Tragfähigkeit, Teil B 2.1: „Falling Weight Deflectometer (FWD): Gerätebeschreibung, Messdurchführung – Asphaltbauweisen“, Köln, 2008.
- 4 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Arbeitspapier Tragfähigkeit, Teil C 2: „Falling Weight Deflectometer (FWD): Auswertung und Bewertung – Asphaltbauweisen“, Entwurf des Arbeitskreises 4.4.1 vom Mai 2010.
- 5 Jendia, S.: Tragfähigkeit von bituminösen Straßenbefestigungen. Veröffentlichungen des Institutes für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH), Heft 45, 1995.
- 6 Vereinigung Schweizerischer Straßenfachleute (VSS): Schweizer Norm (SN) 640324a: Dimensionierung Straßenoberbau, Zürich, 1997.
- 7 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 01), Köln, 2001.
- 8 Jansen, D.: Temperaturkorrektur von mit dem Falling Weight Deflectometer gemessenen Deflexionen auf Asphaltbefestigungen, Universität Duisburg-Essen, Institut für Straßenbau und Verkehrswesen, Heft 2, 2009.
- 9 Kim, Y.R.; Hibbs, B.O.; Lee, Y.-C.: Temperature Correction of Deflections and Backcalculated Asphalt Concrete Moduli, TRR 1473, S. 55–62, 500 Fifth St. NW, USA-Washington, D.C. 20001, 1995.
- 10 Straube, E.; Jansen, D.; Grätz, B.; Hothan, J.; Karcher, C.; Lorenzl, H.; Weingart, W.: Bewertung der Tragfähigkeit der Unterlage einer Asphaltbefestigung mit Tragschichten ohne Bindemittel durch FWD-Messungen, Straße und Autobahn, Heft 1, 2010.
- 11 Arraigada, M.; Kalogeropoulos, A.; Hugenschmidt, J.; Partl, M.N.; Caprez, M.; Rabaiotti, C.: Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Großversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Straßenbelägen. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Straßen. ASTRA 2004/018, Report Nr. 1261, Juni (2009)
- 12 Rabaiotti, C.; Partl, M.N.; Caprez, M.: APT device evaluation for road research in Switzerland: test campaign on a Swiss Highway with the MLS10. Proceedings of 3<sup>rd</sup> Int. Conf. on Accelerated Pavement Testing, APT08, Madrid October, (2008)