

TU

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

Standardisierung der Durchführung und Auswertung von Messungen mit dem Fallgewichtsdeflektometer (FWD)

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-
Ingenieurs unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ronald Blab
Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung,

eingereicht an der Technischen Universität Wien,
Fakultät für Bauingenieurwesen,
von

LANDERL Katharina
E610/9826362
Gernotgasse 7/16, A-1150 Wien

Wien, Juni 2008

Danksagungen

Besonderen Dank möchte ich Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ronald Blab für die ausgezeichnete Betreuung meiner Diplomarbeit aussprechen. Ohne seine zahlreichen Anregungen und fachlichen Hilfestellungen wäre das Verfassen dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Herzlich möchte ich mich auch bei meinen Kollegen im Labor des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung bedanken, die mir stets mit hilfreicher Hand und guten Ratschlägen zur Seite gestanden sind.

Meinen besonderen Dank möchte ich Herrn Ing. Harald Aigner von der Firma Nievolt Labor Ges.m.b.H. aussprechen, der mir mit seinen umfangreichen Kenntnissen über FWD-Messungen eine sehr große Hilfe war.

Mein Dank gilt auch meinen Freunden und meiner Familie, ohne deren mentale und auch finanzielle Unterstützung der Abschluss dieses Studiums nicht möglich gewesen wäre.

Zuletzt möchte ich mich noch bei meinem Freund, Tobias Gerlach, bedanken, der mir in der Endphase des Studiums und im Rahmen der Erstellung dieser Arbeit eine große Stütze war.

Landerl Katharina

Kurzfassung

Landerl Katharina: Standardisierung der Durchführung und Auswertung von FWD-Messungen

Die Erfassung der Tragfähigkeit von Straßenkonstruktionen spielt im Rahmen der Straßenerhaltung sowohl für die Bewertung von bestehenden Strecken, als auch für die Prognose ihres zukünftigen Tragverhaltens eine große Rolle.

Anhand von mit dem Fallgewichtsdeflektometer (FWD) durchgeführten Tragfähigkeitsmessungen kann der strukturelle Zustand der Oberbaukonstruktion abgeschätzt und bewertet werden. In einem weiteren Schritt können anhand der ermittelten Strukturdaten sowie der vorhandenen bzw. prognostizierten Verkehrsbelastung die Restlebensdauer der untersuchten Straßenkonstruktion abgeschätzt sowie eventuell erforderliche Verstärkungsmaßnahmen ermittelt werden.

Das Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität verfügt seit August 2006 über eines der vier in Österreich zugelassenen FWDs, dem Dynatest FWD Test System 8002.

Im Zuge dieser Arbeit wurde das Gerät auf den neuesten Stand der Technik gebracht und in Betrieb genommen. Es wurden mehrere Messkampagnen auf Asphalt- und Betonfahrbahnen durchgeführt und ausgewertet, sowie eine Arbeitsanweisung für die Durchführung von FWD-Messungen erstellt.

Basierend auf den in der Messpraxis gewonnenen Erkenntnissen, sowie der im Rahmen der COST Aktion 336 entwickelten einheitlichen Vorgehensweise zur Bestimmung der Tragfähigkeit mit dem FWD, bildet diese Arbeit eine Grundlage für die standardisierte Durchführung und Auswertung von FWD-Messungen auf Asphalt- und Betonfahrbahnen.

Summary

Landerl Katharina: Standardisation of performance and interpretation of FWD-measurements

In context on road maintenance and overlay design the measurement of pavement bearing capacity is of high importance. It is necessary to assess both the structural data and to forecast load bearing capacity of road pavements.

On the basis of measurements with the Falling Weight Deflektometer (FWD) the structural condition of road pavements can be measured and evaluated. Consequently, residual pavement life time and a necessary overly can be determined on the basis of the FWD data in combination with predicted traffic load

The institute for road construction and road maintenance at Technical University Vienna operates since August 2006 one of the four in Austria licensed FWD, the Dynatest FWD Test System 8002.

In the course of this thesis the equipment was upgraded to the state of art and put into operation. Several measurements were performed on asphalt and concrete pavements and a work instruction for execution of FWD-measurements was written.

On the basis of practical experience and during the COST Action 336 developed uniform proceedings for measuring bearing capacity this thesis provides a basic for standardized performing and interpretation of FWD-measurement on asphalt and concrete pavements.

INHALTSVERZEICHNIS

1. AUFGABENSTELLUNG/ZIELSETZUNG	3
2. MESSUNGEN MIT DEM FALLING WEIGHT DEFLEKTOMETER (FWD).....	4
2.1 Entwicklung des Falling Weight Deflektometer (FWD)	4
2.2 Beschreibung der Funktionsweise	6
2.3 Bestandteile des Fallgewichtsdeflektometers	7
2.4 Theoretische Grundlagen des FWD-Verfahren [4]	8
2.5 Tragfähigkeitsmessungen mit dem FWD	9
2.6 Weitere Messsysteme zur Erfassung der Tragfähigkeit.....	10
2.6.1 Benkelman-Balken	10
2.6.2 Deflektograph LACROIX	11
2.6.3 Optische Deflektionsmessung	13
2.6.4 Vergleich des FWDs mit den anderen Messverfahren	13
2.7 Anforderungen an die FWD Komponenten.....	14
2.7.1 Lastimpuls.....	15
2.7.2 Lastplatte.....	15
2.7.3 Deflektionsaufnehmer.....	16
2.8 Kalibrierverfahren.....	18
2.8.1 Kalibrieranweisung zur Überprüfung der Position der Deflektionsaufnehmer.....	20
2.8.2 Kalibrieranweisung zur Kurzzeit-Wiederholbarkeitsüberprüfung	20
2.8.3 Kalibrieranweisung zur Langzeitwiederholbarkeitsprüfung	21
2.8.4 Relative Kalibrierung der FWD-Deflektionsaufnehmer.....	21
2.8.5 Referenzkalibrierung des FWD-Temperaturmessgerätes	22
2.8.6 Referenzkalibrierung des FWD-Distanzmessgerätes	22
2.8.7 Verfahren auf Kalibrierstellenebene	22
3. TRAGFÄHIGKEITSBEWERTUNG VON ASPHALTSTRASSEN	24
3.1 Einleitung	24
3.2 Erforderliche Daten für die Vorbereitung der FWD-Messung.....	25
3.2.1 Straßenaufbau	25
3.2.2 Lage von Bohrkernentnahmen	26
3.2.3 Genauigkeit von Schichtdickenmessungen [1].....	27
3.3 Festlegung der Messpunkte	27
3.3.1 Wahl des Fahrstreifens	27
3.3.2 Wahl der Längslinie	28
3.3.3 Anzahl und Abstand der Messpunkte	28
3.4 Temperaturmessungen	29
3.4.1 Grenzen für die Asphaltstichttemperatur	30
3.4.2 Oberflächen- und Lufttemperaturmessung	30
3.4.3 Bohrlochtemperaturmessung	30
3.5 Wahl der Versuchslast.....	32
3.6 Durchführung der FWD Messung	34
3.6.1 Kriterien für ein genaues Messergebnis	34
3.6.2 Dokumentation.....	35
3.7 Aufbereitung der Messdaten	36
3.7.1 Aufbereitung der Temperaturwerte.....	36
3.7.2 Umrechnung der Deflektionen auf Standardlast.....	36
3.7.3 Umrechnung der Deflektionen auf die Versuchsollast.....	38
3.7.4 Umrechnung der Deflektionen auf die Bezugstemperatur	38
3.7.5 Unterteilung in homogene Abschnitte.....	41
3.8 Rückrechnung der Schichtsteifigkeiten aus den gemessenen Deflektionen	42
3.8.1 Eingabeparameter	42
3.8.2 Verwendung von Oberflächenmodule zur Abschätzung der Schichtsteifigkeiten	45
3.8.3 Theoretische Grundlagen für die Rückrechnung von Schichtsteifigkeiten	46
3.8.4 Rückrechnung durch Deflektionsmuldenanpassung	47
3.8.5 Umrechnung der Schichtsteifigkeiten auf Bezugstemperatur.....	47

3.8.6	Bestimmung der Asphaltsteifigkeiten mit dem Nottingham Asphalt Tester (NAT) zur verbesserten Auswertung von FWD-Messungen	50
3.8.7	Graphische Darstellung der rückgerechneten Schichtsteifigkeiten	52
3.9	Bemessung von Oberbauverstärkungen auf der Basis von FWD-Messungen	53
3.9.1	Bestimmung der kritischen Spannungen und Dehnungen aus den rückgerechneten Schichtsteifigkeiten	53
3.9.2	Bestimmung der kritischen Spannungen und Dehnungen direkt aus den gemessenen Deflektionen	54
4.	TRAGFÄHIGKEITSBEWERTUNG VON BETONDECKEN	55
4.1	Einleitung	55
4.2	Erforderliche Daten Für die Vorbereitung der FWD-Messung	55
4.3	Festlegung der Messpunkte	55
4.3.1	Wahl des Fahrstreifens	55
4.3.2	Wahl der Längslinie	55
4.3.3	Unterscheidung der Lastfälle	56
4.3.4	Anzahl und Abstand der Messpunkte	56
4.3.5	Anordnung der Geophone	57
4.4	Bewertung des Tragverhaltens nach Großmann	57
4.4.1	Tragfähigkeitsmessung mit dem Benkelman-Balken	58
4.4.2	Verfahren für die Messanordnung zur Erfassung des Lastfalls „Plattenrand“	59
4.4.3	Kennwerte und Indikatoren	60
4.4.4	Auswertung der Messdaten	61
4.4.5	Kennwerte zur Beschreibung der Tragfähigkeit	63
4.4.6	Bildung homogener Abschnitte	64
4.4.7	Warn- und Schwellenwerte der Zustandsgrößen s_{D1} und s_{rF}	64
4.4.8	Bewertung der Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Liegezeit (Bewertungs-Zeit Diagramm)	65
4.4.9	Bewertung der Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Beanspruchung (Bewertungs-Beanspruchungs-Diagramm)	66
4.4.10	Prognostizierung des Tragverhaltens	68
4.5	Beurteilung der Bettungsverhältnisse im Querfugenbereich	68
5.	ZUSAMMENFASSUNG	72
	LITERATURVERZEICHNIS	73
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	75
	TABELLENVERZEICHNIS	78
	ANHANG A: ARBEITSANWEISUNG 610	I
	ANHANG B: ARBEITSANWEISUNG 611	II

1. AUFGABENSTELLUNG/ZIELSETZUNG

Seit August 2006 ist das Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, der Technischen Universität Wien im Besitz eines der vier in Österreich zugelassenen Fallgewichtsdeflektometer (FWD), dem Dynatest 8002 FWD Test System (siehe Abbildung 1).

Diese Diplomarbeit soll als Basis für die zukünftige Durchführung und Auswertung von FWD-Messungen sowohl auf flexiblen (Asphalt) als auch auf starren (Beton) Oberbaukonstruktionen dienen.

Die Grundlage für diese Arbeit bildet der Endbericht der COST Aktion 336 „Fallgewichtsdeflektionsmessung zur Tragfähigkeitsbestimmung“ [1], an dessen Entstehung 22 europäische Nationen beteiligt waren und dessen Ziel eine Standardisierung der FWD-Messung innerhalb Europas war.

Es flossen jedoch auch umfangreiche eigene, in der Messpraxis gewonnenen, Erkenntnisse in die Arbeit ein.

Da die Ausstattung des vom Arsenal Research übernommene FWDs nicht mehr dem Stand der Technik entsprach, war eine weitere Aufgabenstellung die Aufrüstung und Wartung des Geräts zu veranlassen sowie durch den Hersteller, die Firma Dynatest durchführen zu lassen.

Zusätzlich sollte im Rahmen dieser Diplomarbeit eine Arbeitsanweisung für die Vorbereitung und Durchführung von Messungen mit dem institutseigenen FWD erstellt werden.



Abbildung 1: Dynatest 8002 FWD Test System des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien

2. MESSUNGEN MIT DEM FALLING WEIGHT DEFLEKTOMETER (FWD)

2.1 Entwicklung des Falling Weight Deflektometer (FWD)

Die ursprüngliche Idee, ein Fallgewichtsdeflektometer zu entwickeln, entstand in Frankreich. Die Entwicklung wurde aber zugunsten der Weiterentwicklung des auf dem Prinzip des Benkelman-Balkens basierenden Deflektographen LACROIX eingestellt [1].

Basierend auf den in Frankreich durchgeführten Untersuchungen, wurde im Jahr 1964 in Dänemark vom Nationalen Straßenbaulaboratorium der erste Versuch gemacht, ein FWD zu konstruieren und herzustellen. Anfängliche Untersuchungen zeigten jedoch, dass das Gerät nicht so effektiv wie das in Frankreich entwickelte war. Nach Modifikationen, basierend auf den Informationen aus Frankreich, wurde schließlich an der Technischen Universität von Dänemark ein neues Gerät konstruiert, mit welchem das Ziel, einen halbsinusförmigen Belastungsimpuls zu erhalten, fast erreicht wurde. Dieses erste FWD war jedoch sehr schwierig zu handhaben.

Dennoch schaffte es das dänische Unternehmen A/S Phønix eine kleine Serie von Fallgewichtsgeräten zu konstruieren, bei welchen später die S-förmigen Federn durch drei Gummipuffer ersetzt wurden (siehe Abbildung 2).

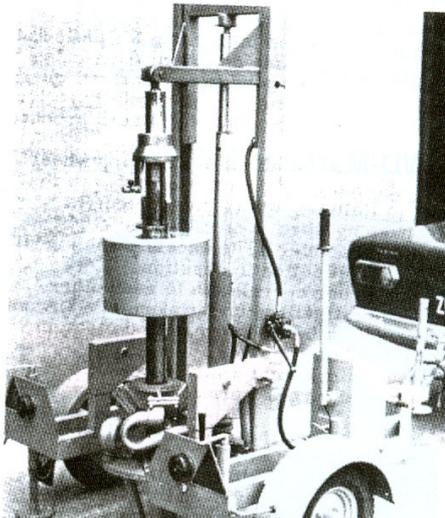


Abbildung 2: Phønix FWD-Anhänger mit S-förmigen Federn [1]

1976 wurde die Firma Dynatest als Ergebnis einer Kooperation des dänischen Straßeninstituts und der Technischen Universität von Dänemark gegründet [1].

Etwa zeitgleich begann auch die Firma KUAB in Schweden mit der Herstellung von FWDs.

In den 80er Jahren begannen vor allem in Dänemark mehrere Firmen damit FWDs für die eigene Verwendung zu bauen. Daraus resultierte eine große Vielfalt an Geräten, sowie an Interpretationsmethoden der gemessenen Deflektionen.

Um diese unterschiedlichen Geräte und deren Auswertungsverfahren zu harmonisieren, gründete CROW im Jahr 1988 das Studienkomitee „Fallgewichtsdeflektionsmessungen“.

Aus diesem resultierte 1995 eine holländische Richtlinie für FWD-Messungen und deren Interpretation sowie die Durchführung einer Reihe von Vergleichsmessungen in den Niederlanden. Dies hatte weiterführend die Entstehung von holländischen Richtlinien für die Kalibrierung von FWDs zur Folge.

Im Jahr 1987 begann in den Vereinigten Staaten, die Firma Foundation Mechanics, Inc. JILS mit der Herstellung von FWDs.

In Japan wurden durch die Firma Komatso ebenfalls einige FWDs erzeugt.

Die Marktanteile der jeweiligen Hersteller können folgender Graphik entnommen werden [1].

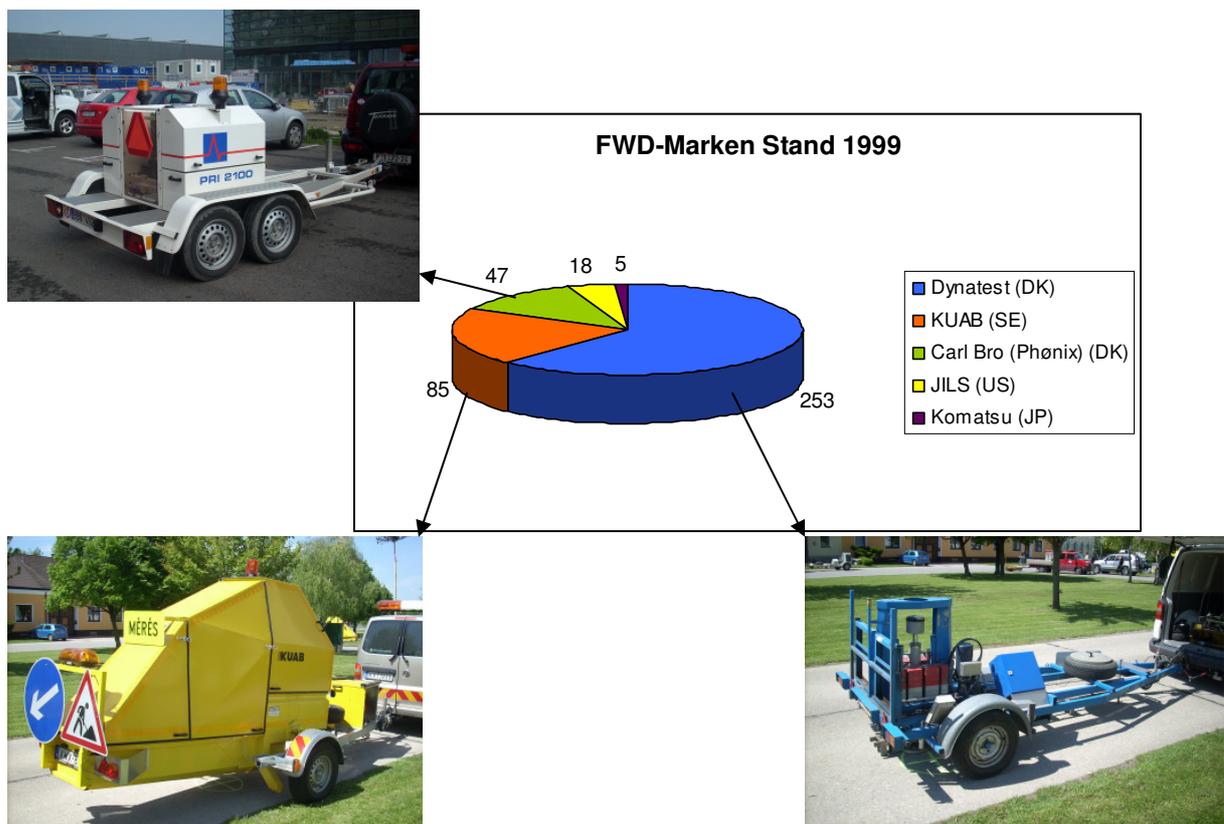


Abbildung 3: Verteilung der 1999 in Verwendung stehender FWDs [1]

Sowohl die Firma Dynatest als auch das amerikanische Unternehmen JILS bieten neben den „normalen“ FWD-Anhängern auch ein neues Modell an, in dem das Fallgewichtsdeflektometer in das Zugfahrzeug integriert ist.



Abbildung 4: In Zugfahrzeug integriertes FWD der Firmen Dynatest (linkes Bild) und der Firma JILS (rechtes Bild) [3][8]

In Österreich sind zurzeit vier Geräte der Firma Dynatest im Einsatz, wobei es sich dabei um ein schweres Fallgewichtsdeflektometer (HWD) und vier leichte Fallgewichtsdeflektometer (FWD) handelt.

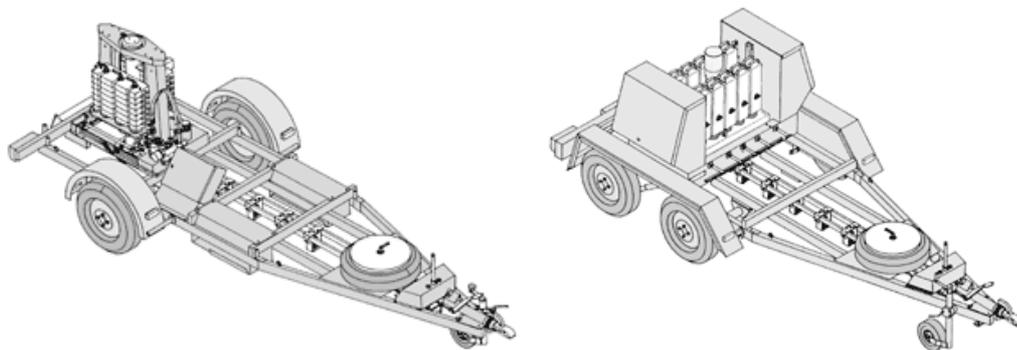


Abbildung 5: Dynatest FWD (linkes Bild) und HWD (rechtes Bild) [3]

2.2 Beschreibung der Funktionsweise

Das Funktionsprinzip des Fallgewichtsdeflektometers besteht darin, dass ein Lastimpuls auf die Straßenoberfläche aufgebracht wird und die daraus resultierende elastische Einsenkung gemessen wird.

Der Lastimpuls wird durch das Fallenlassen eines Gewichts aus einer bestimmten Höhe auf ein Federsystem bestehend aus Gummipuffern erzeugt, welche diesen über eine kreisförmige Lastplatte mit einem Radius von 30 cm in die Straßenkonstruktion einleiten (siehe Abbildung 6)

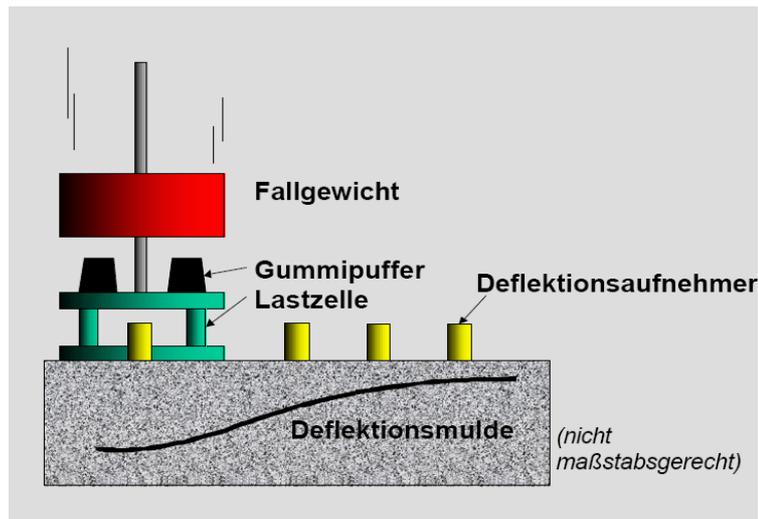


Abbildung 6: Funktionsprinzip FWD [1]

Die Größe der aufgetragenen Belastung hängt von der Fallhöhe sowie der Masse des Fallgewichts ab und kann mit diesen beiden Variablen gesteuert werden.

Der Maximalwert der elastischen Einsenkung (Deflektion) wird mittels eines im Lastzentrum und einer Anzahl von radial dazu angeordneter Deflektionsaufnehmern gemessen. Verbindet man die Messwerte der einzelnen Aufnehmer erhält man daraus die so genannte Deflektionsmulde.

In Abhängigkeit von der Größe des aufgetragenen Lastimpulses geben die gemessenen Deflektionen Auskunft über den strukturellen Zustand der Straßenkonstruktion.

Die Standardbelastung von 50 kN mit einer Belastungsdauer von ca. 25 ms entspricht in etwa der Belastung durch einen mit 50 km/h fahrenden Schwerverkehr.

2.3 Bestandteile des Fallgewichtsdeflektometers

Die einzelnen Bestandteile des FWDs sind in Abbildung 7 dargestellt. Der Aufbau kann je nach Hersteller jedoch ein wenig variieren.

Die Größe des Fallgewichts ist variabel und beträgt beim Dynatest 8002 zwischen 50 kg und 350 kg.

Das Anheben und Absenken der Lastplatte sowie das Auslösen des Fallgewichts erfolgt mittels eines 12V Wechselstrom gespeisten Hydrauliksystems, welches über einen mit dem FWD Prozessor verbundenen PC gesteuert wird.

Die Aufzeichnung der Deflektionen erfolgt durch 9 bis 15 an einem absenkbaaren Arm befestigten Geophonen.

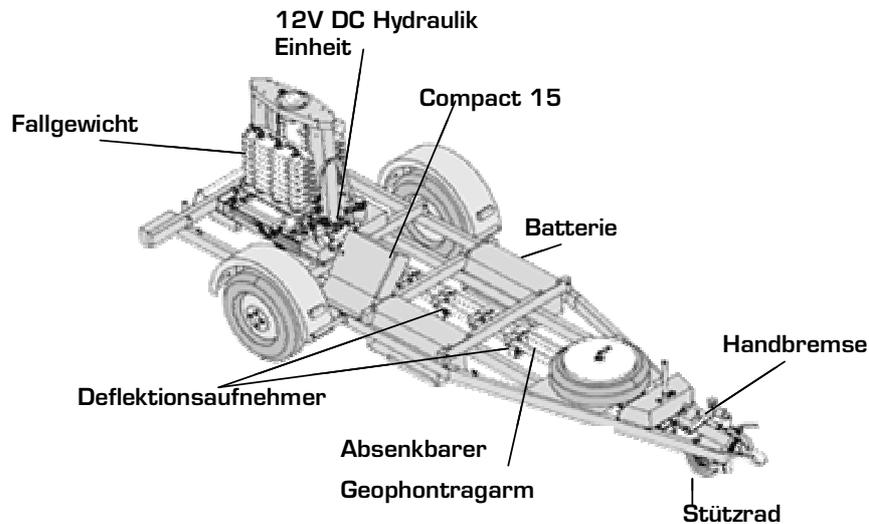


Abbildung 7: Aufbau eines Dynatest 8002 FWDs [3]

Am Gerät sind weitere Pufferbatterien installiert um Schwankungen im Stromfluss auszugleichen und die Funktion bei Ausfall der Stromversorgung durch das Zugfahrzeug zu gewährleisten.

Am FWD sind weiter ein Infrarotoberflächentempersensor sowie ein Lufttempersensor für die kontinuierliche Aufzeichnung der Temperaturdaten angebracht.

Der FWD-Anhänger wird mittels einer Standardanhängerkupplung an ein entsprechend ausgerüstetes Zugfahrzeug angehängt.

Die einzelnen Bestandteile des FWDs sowie die Spezifikationen des Zugfahrzeugs können der beiliegenden Arbeitsanweisung „AA610-Tragfähigkeitsmessungen mit dem FWD“, welche im Rahmen der gegenständlichen Arbeit erstellt wurde, entnommen werden.

2.4 Theoretische Grundlagen des FWD-Verfahren [4]

Beim FWD-Verfahren wird das dynamische Verhalten der Straßenbefestigung durch ein schwingungsfähiges System A, B, C beschrieben.

Die Modellierung dieses Systems ist in Abbildung 8 dargestellt.

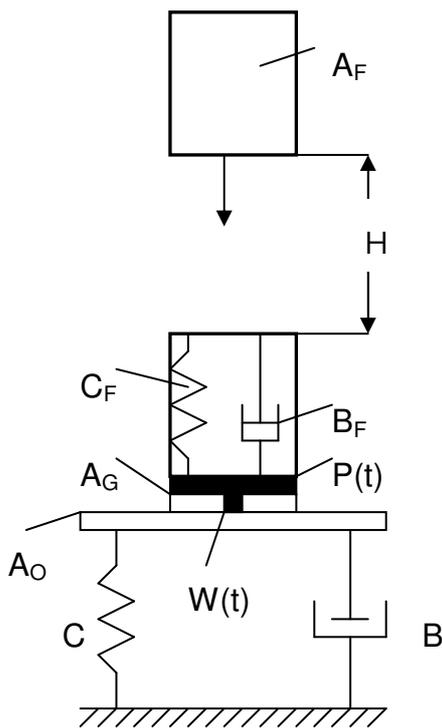


Abbildung 8: Modell des FWD-Verfahrens [4]

Die Masse A besteht hier aus der mitschwingenden Masse A_D und der Geschirrmasse A_G des Gerätes.

Der Impuls $P(t)$ wird in einem Feder-Dämpfer-System C_F, B_F erzeugt, auf das die Masse A_F fällt.

$P(t)$ wird mit Hilfe einer Kraftmessdose gemessen und über die Grundplatte in die Fahrbahnoberfläche eingeleitet.

Die Messung der Bewegung $w(t)$ erfolgt durch ein im Plattenzentrum angebrachtes Geophon.

Die Masse A_G besteht aus den Massen der Grundplatte, der Kraftmessdose und anderen Geräteteilen unterhalb der Feder C_F und dem Dämpfer B_F .

Die mathematische Beschreibung des Modells führt auf zwei gekoppelte Differentialgleichungen. Aus der Lösung dieses Gleichungssystems erhält man $P(t)$ und $w(t)$.

Zur Berechnung von $P(t)$ und $w(t)$ müssen die Fallmasse A_F und die Geschirrmasse A_G bekannt sein.

2.5 Tragfähigkeitsmessungen mit dem FWD

„Das Fallgewichtsdeflektometer (FWD) ist eines jener Werkzeuge, die dem Straßenbauingenieur zur Verfügung stehen, um den strukturellen Zustand von Straßenkonstruktionen zu beschreiben und zu verstehen.“ [1]

Das FWD ist ein dynamisches Messsystem zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Straßenkonstruktionen.

Anhand der gemessenen Deflektionen können mittels geeigneter Methoden die Steifigkeitsmodule der unterschiedlichen Schichten der Straßenkonstruktion rückgerechnet werden.

Mit Hilfe dieser Steifigkeitsmodule können in einem weiteren Schritt die kritischen Spannungen ermittelt werden. In Abhängigkeit von der auftretenden bzw. prognostizierten Verkehrsbelastung kann nun mit Hilfe der berechneten Parameter die Restlebensdauer der Straßenkonstruktion abgeschätzt, sowie falls dies erforderlich, geeignete Maßnahmen zur Oberbauverstärkung getroffen werden.

Anwendungsgebiet von FWD-Messungen

- flexible oder halbflexible Oberbauten (Asphaltdecken)
- starre Oberbauten (Betondecken)
- ungebundene Schichten (untere/obere ungebundene Tragschichten,..)

Im Rahmen dieser Arbeit werden jedoch nur Tragfähigkeitsmessungen und deren Auswertung auf Asphaltkonstruktionen und Betondecken behandelt.

Grundsätzlich ermöglichen Tragfähigkeitsmessungen [2]:

- den relativen Vergleich der Tragfähigkeit verschiedener Messstrecken
- das Erkennen von visuell nicht feststellbaren Strukturschäden
- die Erfassung des Tragverhaltens über größere Zeitspannen
- in Verbindung mit weiteren Ursachen das Erkennen bzw. Feststellen von Schadensursachen
- eine Abschätzung des strukturellen Straßenzustands unter Anwendung ergänzender Auswertemethoden
- die Auswahl geeigneter Maßnahmen im Rahmen der Erhaltungsplanung

2.6 Weitere Messsysteme zur Erfassung der Tragfähigkeit

Es gibt eine Anzahl von Messsystemen um die Tragfähigkeit von Straßenkonstruktionen zu erfassen. Man kann hierbei zwischen statischen, quasistatischen und dynamischen Verfahren unterscheiden.

In folgendem Abschnitt werden zwei weitere Systeme zur Tragfähigkeitserfassung vorgestellt, der Benkelman-Balken als Vertreter der statischen und der Deflektograph LACROIX als ein quasistatisches System [7].

Als ein weiterer Punkt werden einige Untersuchungsergebnisse bezüglich der Korrelation der unterschiedlichen Messverfahren untereinander angegeben.

2.6.1 Benkelman-Balken

Ein aufgrund technischer Einfachheit und geringer Beschaffungskosten weit verbreitetes Verfahren zur Bestimmung der Deflektion wird mit dem Benkelman-Balken realisiert.

Dieser besteht aus einer Messbasis, die als fahrbares Traggestell, das über drei Stützfüße auf der Fahrbahnoberfläche aufsteht und einem hebelartigen Tastarm, der in seinem Drittelpunkt gelenkig gelagert ist.

Der Tastarm überträgt die Vertikalbewegungen des Messpunktes, der sich zu Beginn der Messung zwischen den Zwillingsschneidreifen des Belastungsreifens befindet, auf eine Messuhr.

Die Entfernung von der Tastarmspitze zum nächstgelegenen Aufstandspunkt der Messbasis beträgt ca. 270 cm, um den Einfluss der Setzungsmulde auf den Messwert möglichst gering zu halten.

Die erste Messung erfolgt nach dem Abklingen der Setzung im belasteten Zustand, die zweite erfolgt nach dem Vorfahren des Belastungsfahrzeuges um mindestens acht Meter bzw. nach weitestgehender Beendigung des Kriechvorganges nach Entlastung.

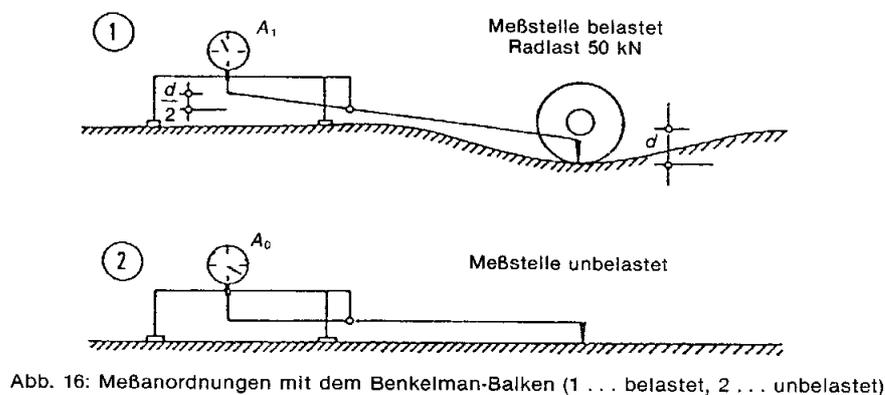


Abb. 16: Meßanordnungen mit dem Benkelman-Balken (1 ... belastet, 2 ... unbelastet)

Abbildung 9: Messprinzip Benkelman-Balken [9]

Ziel ist es, die Verformung der Oberfläche zu messen, um daraus Rückschlüsse zur Tragfähigkeit der Konstruktion zu ziehen.

Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Verformungsmulde in der Regel über die Standfüße des Benkelman-Balkens hinausreicht und es dadurch zu einem „Hineinkippen“ des Balkens in die Mulde kommt. Dies führt dazu, dass kleinere Deflektionen gemessen werden als tatsächlich vorliegen [17]

2.6.2 Deflektograph LACROIX

Der in Frankreich konzipierte Deflektograph Lacroix stellt eine Weiterentwicklung des Benkelman-Balkens dar und gehört zu den quasi-statischen Messverfahren.

Das Gerät besteht aus einem Bezugsrahmen, der vom Belastungsfahrzeug abgesenkt wird, und zwei Messarmen, die gelenkig mit dem Bezugsrahmen verbunden sind.

Dieser Rahmen liegt in drei Punkten auf der Straße auf, welche die Bezugsebene bestimmen und als Nullpunkt der Einsenkung angenommen werden.



Abbildung 10: Deflektograph LACROIX: Messwagen (links) und Messbalken in Aufnahmestellung (rechts) [5]

Die Messung besteht aus drei Phasen und wird mit einer Radlast von 45 bis 60 kN ausgeführt. Der Ablauf lässt sich wie folgt zusammenfassen [9]:

Phase 1:

Bezugsrahmen und Messarme liegen auf der Straße vor dem hinteren Zwillingreifen, wobei jeder der zwei Messarme genau zwischen einem Zwillingreifen außerhalb der Setzungsmulde angeordnet ist.

Phase 2:

Die Reifen bewegen sich mit konstanter Geschwindigkeit von ca. 2,5 – 3,0 km/h auf den Messarm zu, welcher so in den Einflussbereich der Setzungsmulde kommt. Dadurch ändert sich die vertikale Lage des Messpunktes. Diese Veränderung (Deflektion) wird durch einen Wegaufnehmer im Gelenk zwischen Bezugsrahmen und Messarm registriert und zur Aufzeichnung bzw. Verarbeitung weiter geleitet.

Phase 3:

Wenn das Rad den Messpunkt passiert hat, wird der Bezugsrahmen automatisch mit einem Seilzug in die nächste Position gezogen.

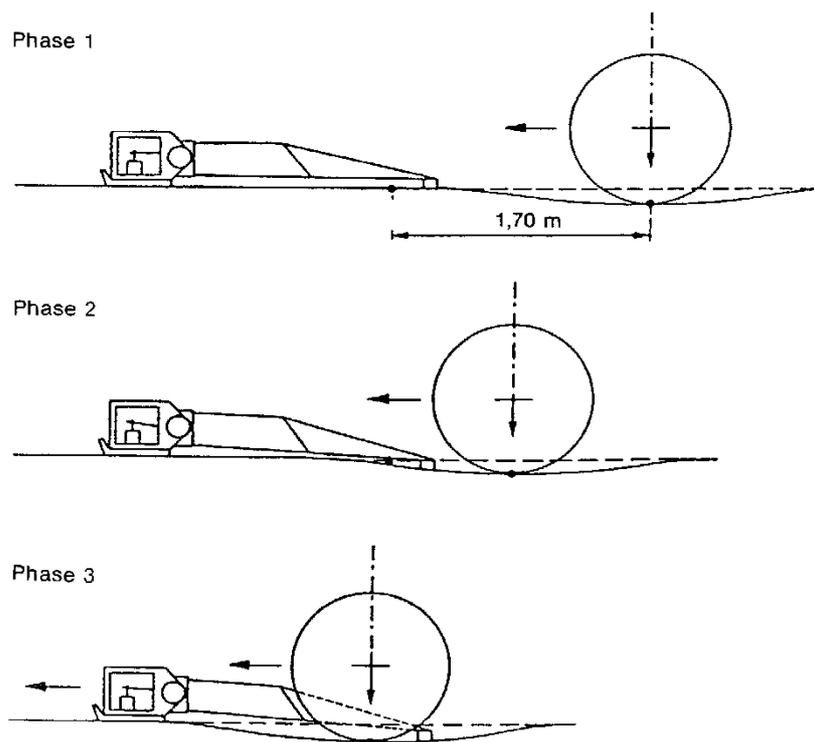


Abbildung 11: Messzyklus des Deflektometer LACROIX [9]

2.6.3 Optische Deflektionsmessung

Wie beim Benkelman-Balken befindet sich auch bei dieser Methode der Messpunkt für die Einsenkungsbestimmung zwischen den Zwillingen eines Lastwagens. Die elastische Deflektion wird jedoch mit einem adaptierten Präzisionsnivelliergerät bestimmt. Da das Messgerät in größerer Entfernung vom Messpunkt, und damit außerhalb der Setzungsmulde, platziert werden kann, eignet sich die Methode besonders für Straßen mit steifen Befestigungen, weil diese große Lastverteilung, geringe Verformung, aber eine weit ausgedehnte Setzungsmulde aufweisen.

Die erste Messung ist im belasteten Zustand vorzunehmen und mindestens zweimal zu wiederholen, wobei als erstes eine Messmarke exakt in den Mittelpunkt der Belastungsfläche aufzulegen ist. Von den Daten ist der Mittelwert zu bilden.

Die zweite Messung erfolgt, nachdem nach Entlastung durch das Wegfahren des Belastungsfahrzeugs die Hebung der Messstelle abgeschlossen ist. Auch hier wird der Mittelwert von mindestens drei Messdaten gebildet.

2.6.4 Vergleich des FWDs mit den anderen Messverfahren

Aufgrund des visko-elastischen Verhaltens von Asphaltsschichten ist die auftretende Deflektion einerseits von der Größe des aufgetragenen Lastimpulses, andererseits aber auch von der Belastungsdauer abhängig.

Die Belastungsimpulsdauer des FWDs beträgt ca. 25 ms, die des Benkelman-Balkens kann im Gegensatz dazu bis zu 25 Sekunden betragen.

Aus dieser Tatsache lässt sich leicht erkennen, dass ein direkter Vergleich der gemessenen Deflektionen nicht möglich ist.

Im Rahmen der COST Aktion 324 „Langzeitverhalten von Straßenbefestigungen“ [22] wurden die Ergebnisse einiger Vergleichsstudien zwischen unterschiedlichen Messgeräten zusammengefasst.

Es ergaben sich dabei folgenden Gleichungen:

Vergleich Deflektograph-LACROIX –FWD Dynatest 8000

$$d_{\text{fwd}} = 1,59 * d_{\text{lac}}^{0,89} \quad \text{Gleichung 1}$$

d_{fwd} ... Deflektion gemessen mit dem FWD

d_{lac} ... Deflektion gemessen mit dem Deflektograph-LACROIX

Vergleich Benkelman-Balken - FWD Dynatest 8000

$$d_{\text{fwd}} = 9,505 * d_{\text{BB}}^{0,58} \quad \text{Gleichung 2}$$

d_{fwd} ... Deflektion gemessen mit dem FWD

d_{BB} ... Deflektion gemessen mit dem Benkelman-Balken

2.7 Anforderungen an die FWD Komponenten

Im Folgenden werden die Anforderungen an die einzelnen Komponenten sowie deren Einstellungen erläutert.

Die angeführten Spezifikationen stellen die Qualität der gemessenen Deflektionen sicher und sind bei der Durchführung der Messung zu beachten.

Weiters soll die durch einheitliche Einstellungen erreichte Standardisierung die Austauschbarkeit bzw. Vergleichbarkeit von Messergebnissen ermöglichen bzw. verbessern.

2.7.1 Lastimpuls

Auf Grund der unterschiedlichen Hersteller von FWDs kann es auch zu unterschiedlicher Größe und Dauer des aufgetragenen Lastimpulses kommen.

Da jedoch die Steifigkeit der untersuchten Schicht bzw. Schichten auch von der Belastungsgeschwindigkeit abhängt, ist die Erfassung der Dauer und Größe des Lastimpulses von großer Bedeutung, um die Vergleichbarkeit und Austauschbarkeit von Ergebnissen zu gewährleisten.

Der aufgetragene Lastimpuls sollte eine Belastungszeit aufweisen, die der einer rollenden Radlast äquivalent ist.

Abhängig von der Gerätebauart weisen die meisten FWDs eine Lastimpulsdauer zwischen 25 ms (z.B. Dynatest) und 60 ms (z.B. KUAB) auf.

Abhängig vom Gerätetyp und der Fallhöhe können Lastimpulse mit einer Höhe von 20 kN bis 120 kN bzw. bei schweren Fallgewichtsgeschossen bis zu 250 kN aufgebracht werden. Schwere Fallgewichtsgeschossen kommen vor allem auf sehr steifen Schichten, wie z.B. auf Flugbetriebsflächen vorhanden sind, zum Einsatz.

Spezifikationen:

- Die aufgetragene Versuchslast für flexible oder halbflexible Straßenkonstruktionen soll bei 50 ± 5 kN liegen
- Die Belastungszeit vom Beginn des Lastimpuls bis zum Erreichen seines Maximalwerts soll zwischen 5 und 30 ms liegen
- Die Lastimpulsdauer soll zwischen 20 ms und 60 ms liegen
- Falls der maximal aufnehmbare Bereich der Deflektionsaufnahme (ca. 2000 μm) bei einem Lastimpuls von 50 kN überschritten wird, muss dieser schrittweise abgesenkt werden, um verwertbare Ergebnisse zu erhalten
- Für jeden Messabschnitt muss ein einziger Vorgabewert für die Last verwendet werden.

Die Höhe der Standardlastimpuls von 50 kN und die Dauer der Belastung von 25 bis 60 ms wurden derart gewählt, da sie in etwa der Belastung durch langsam fahrenden Schwerverkehr entsprechen.

2.7.2 Lastplatte

Der Lastimpuls wird über eine kreisförmige Lastplatte auf die StraÙeoberfläche übertragen.

Die Lastplatte hat einen Durchmesser von 300 mm. Auf ihrer Unterseite muss eine mindestens 5 mm dicke Gummipolsterung aufgebracht sein. Dies ist erforderlich, um eine möglichst gleichförmige Kraftübertragung auf den Untergrund zu gewährleisten.

Die Gummipolsterung soll weiter gerippt sein, oder über eine andere Oberflächenstruktur verfügen, um sich verformen und so möglichst gut an die Oberfläche anpassen zu können.

Für die Messung auf unebenen Flächen, wie sie z.B. im Bereich von Spurrinnen auftreten, sollte eine segmentierte Lastplatte, welche sich den Unebenheiten anpassen kann eingesetzt werden.

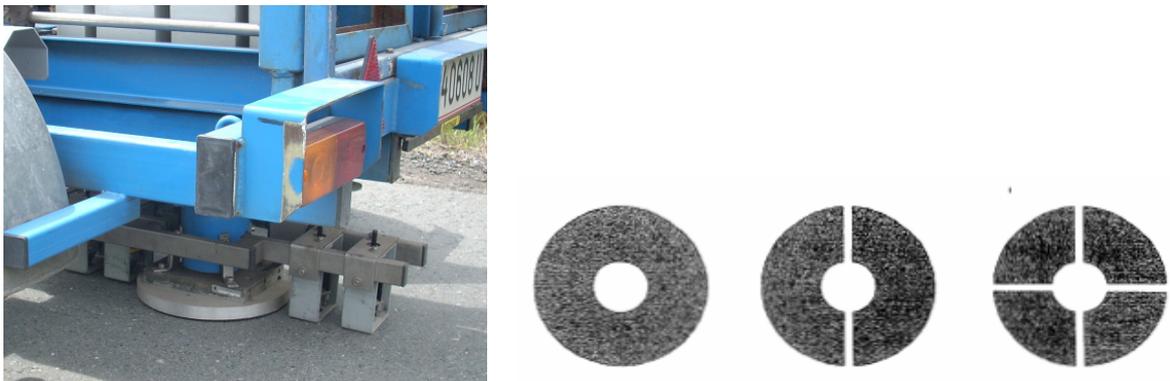


Abbildung 12: Lastplatte, Grundriss Lastplatte/segmentierte Lastplatte [12]

Für die Messung auf ungebundenen oberen bzw. unteren Tragschichten kann auch eine Lastplatte mit einem Durchmesser von 450 mm eingesetzt werden.

Spezifikationen:

- Durchmesser 300 mm
- min. 5 mm dicke Gummipolsterung auf Unterseite aufgebracht
- bei Unebenheiten bzw. Spurrinnen segmentierte Lastplatte

2.7.3 Deflektionsaufnehmer

Die elastische Einsenkung (Deflektion) der Oberbaukonstruktion zufolge des Lastimpulses wird mittels der Deflektionsaufnehmer gemessen. Als Deflektionsaufnehmer kommen Geophone, Seismometer oder Accelerometer in Frage.

Bei den meisten FWD Fabrikaten, wie auch bei den Geräten der Firma Dynatest, kommen jedoch Geophone als Aufnehmer zum Einsatz.



Abbildung 13: Geophontragarm des Dynatest FWD 8002

Für ein aussagekräftiges Messergebnis müssen mindestens sechs Deflektionsaufnehmer, entlang einer Geraden zum Lasteinbringungspunkt angeordnet werden. Mit einer höheren Anzahl an Aufnehmern kann jedoch die Messgenauigkeit erhöht werden.

Die Deflektionsaufnehmer sollten so positioniert werden, dass so viele Informationen wie möglich über jede untersuchte Schicht aufgezeichnet werden können. Im Idealfall sollten jeweils mindestens zwei Aufnehmer für jede untersuchte Schicht angeordnet werden.

Als grober Schätzwert kann hierfür angenommen werden, dass die Schichttiefe, welche von einem Geophon erfasst wird, in etwa ein Drittel des Abstandes des Geophons vom Lastzentrum beträgt.

Bei Straßenaufbauten mit einer sehr dünnen Asphaltenschicht sollten die Deflektionsaufnehmer möglichst nah am Lasteinbringungspunkt positioniert werden.

Auf starren Konstruktionen (Betondecken) ist es meist erforderlich die Deflektionsaufnehmer bis zu den maximal möglichen Abstand von 2.500 mm anzuordnen, da ansonsten nicht die gesamte Mulde erfasst werden kann.

Spezifikationen:

Die Anordnung der Deflektionsaufnehmer sollte nach den folgenden Kriterien durchgeführt werden [1]:

- Bei den Positionen [mm]
0 – 300 – 600 – 900

sollte immer ein Aufnehmer positioniert werden

- Die Position der restlichen Deflektionsaufnehmer soll aus folgenden Abständen gewählt werden [mm]
0 – 200 – 300 – 450 – 600 – 900 – 1200 – 1500 – 1800 – 2100 – 2400
- In der Praxis hat sich eine Anordnung von neun Geophonen in folgenden Abstände bewährt [mm]
0 – 200 – 300 – 450 – 600 – 900 – 1200 – 1500 – 1800

Genauigkeit:

- Ablesegenauigkeit: soll 1 μm oder besser sein
- Genauigkeit: systematischer Fehler innerhalb $\pm 2\%$ der Ablesung $\pm 2\ \mu\text{m}$ oder weniger
- Wiederholbarkeit: Zufallsfehler innerhalb $2\ \mu\text{m} + 1\%$ der Ablesung oder weniger

2.8 Kalibrierverfahren

Um die Vergleichbarkeit und Richtigkeit der gemessenen Deflektionen zu gewährleisten, ist es erforderlich die Bestandteile des FWDs regelmäßig zu kalibrieren.

Im Folgenden werden die im Rahmen der COST 336 Aktion erarbeitete Kalibrierverfahren vorgestellt, die von jedem FWD-Anwender periodisch durchzuführen sind. Es handelt sich hierbei um einfach anzuwendende Verfahren, die einen korrekten und genauen Betrieb des FWDs garantieren [1].

- Überprüfung der Position der Deflektionsaufnehmer
- Kurzzeit-Wiederholbarkeitsprüfung
- Langzeitwiederholbarkeitsprüfung
- Relative Kalibrierung der FWD-Deflektionsaufnehmer
- Referenzkalibrierung des FWD-Temperaturmessgerätes
- Referenzkalibrierung des FWD-Distanzmessgerätes

Die Reihenfolge und Häufigkeit in der die Kalibrierungen durchzuführen sind, ist in folgendem Flussdiagramm dargestellt.

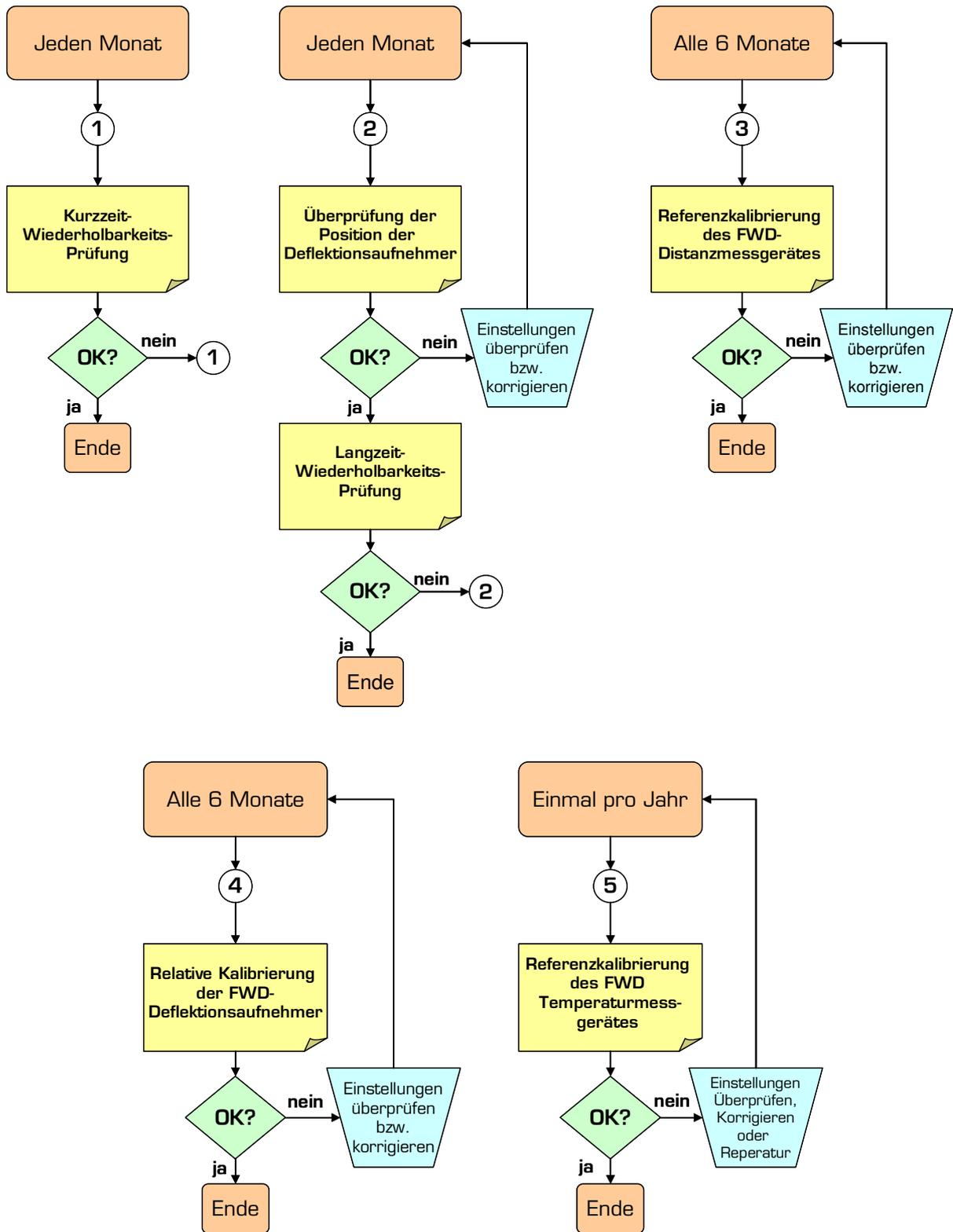


Abbildung 14: Flussdiagramm über die vom Anwender durchzuführenden Kalibrierverfahren [1]

Eine Anleitung für die Durchführung und Auswertung der Kalibrierungen sowie die zugehörigen Kalibrierprotokolle befinden sich in der Arbeitsanweisung AA-611 „Kalibrieranweisungen für das FWD“ im Anhang B.

Der Inhalt der einzelnen Kalibrieranweisungen, sowie eine kurze Beschreibung der Durchführung werden im folgenden Abschnitt erläutert.

2.8.1 Kalibrieranweisung zur Überprüfung der Position der Deflektionsaufnehmer

Ziel dieser Kalibrieranweisung ist es, die genaue Position und Montage der Deflektionsaufnehmer entlang des Messbalkens zu prüfen, um falsche Messergebnisse und damit verbundene falsch rückgerechnete Strukturdaten zu vermeiden.

Kurzbeschreibung:

Auf einem weichen Brett oder einem Pappstreifen wird die geforderte Stellung der Deflektionsaufnehmer markiert.

Der FWD-Anhänger wird auf einer glatten und ebenen Fläche aufgestellt und die FWD-Platte wird abgesenkt. Der Pappstreifen bzw. das Brett liegen an der Lastplatte unter dem Messbalken an, so dass die Stifte unter den Deflektionsaufnehmern Löcher in die Unterlage drücken können.

Eine alternative Ausführung auf weißem Papier ist ebenfalls möglich, wenn dazu die Stifte der Deflektionsaufnehmer mit Tinte eingefärbt werden.

Jetzt ist zu prüfen, inwieweit die geforderten Positionierungen den tatsächlichen entsprechen, bzw. ob die Abweichungen noch im Toleranzbereich (4 mm + 0,5% des radialen Abstandes) liegen.

Intervalle:

Die Kalibrierung ist einmal monatlich bzw. jedes Mal, wenn Deflektionsaufnehmer verschoben werden sollen bzw. bewegt worden sind.

2.8.2 Kalibrieranweisung zur Kurzzeit-Wiederholbarkeitsüberprüfung

Diese Kalibrieranweisung hat das Ziel, zu überprüfen, ob das FWD in der Lage ist, für einen Versuchsstandort einheitliche Ergebnisse zu liefern.

Kurzbeschreibung:

Zur Überprüfung der Kurzzeit-Wiederholbarkeit der FWD Messung werden an einem Messpunkt zwölf aufeinander folgende Schläge ausgeführt. Anschließend wird die Standardabweichung der auf Standardlast (z.B. 50 kN) umgerechneten Deflektionen s_d ermittelt, wobei die ersten beiden Schläge nicht in die Analyse einfließen.

Die ermittelte Standardabweichung s_d muss, falls das Gerät einwandfrei funktioniert, kleiner als ein bestimmter Vorgabewert sein.

Intervall:

Das Verfahren muss mindestens einmal im Monat durchgeführt werden.

2.8.3 Kalibrieranweisung zur Langzeitswiederholbarkeitsprüfung

Hintergrund der Kalibrierung ist die Kontrolle ob das FWD zuverlässiger Messergebnisse liefert. Ziel ist nicht die Ermittlung exakter Werte, sondern der qualitative Vergleich von Messergebnissen desselben Messpunktes, über einen längeren Zeitraum, um so deren Plausibilität überprüfen zu können.

Kurzbeschreibung:

Auf einer „Referenzfläche“, am besten nahe des FWD-Stützpunktes, wird eine Sollast, die dann immer wieder verwendet werden muss, in einer Serie von 12 Schlägen auf die Prüffläche aufgebracht. Dabei werden die Deflektionen gemessen, wobei die Daten der ersten beiden Schläge nicht verwendet werden.

Wird diese Prüfung auf der gleichen Stelle mit der gleichen Prüflast wiederholt, kann eingeschätzt werden, ob die Deflektionen wieder ähnliches Niveau aufweisen oder unerwartete Abweichungen zeigen.

Im Falle von starken Abweichungen sind Lastzelle und Deflektionsaufnehmer näher zu untersuchen.

Intervalle:

Die Kalibrierung ist mindestens einmal monatlich durchzuführen.

2.8.4 Relative Kalibrierung der FWD-Deflektionsaufnehmer

Bei dieser Überprüfung soll dafür gesorgt werden, dass die FWD-Deflektionsaufnehmer eines Gerätes zueinander kalibriert sind.

Kurzbeschreibung:

Es werden alle Deflektionsaufnehmer abmontiert und koaxial in einem Aufnehmerständer (Kalibrierständer) befestigt, so dass alle derselben Deflektion ausgesetzt sind.

Überprüft wird nun die Ähnlichkeit der Messergebnisse.

Intervalle:

Die Kalibrierung ist mindestens einmal in sechs Monaten, sowie nach Reparatur- oder Wartungsarbeiten durchzuführen.



Abbildung 15: Kalibrierständer

2.8.5 Referenzkalibrierung des FWD-Temperaturmessgerätes

Da Temperaturänderungen Einfluss auf die Steifigkeit von Asphaltsschichten in der Oberbaukonstruktion haben, ist eine zuverlässige Messung der Oberflächen- und Lufttemperatur notwendig.

Kurzbeschreibung:

Die Temperatur-Messwerte des FWD werden mit denen eines Referenz-Temperatur-Messgerätes verglichen.

Intervalle:

Die Kalibrierung ist mindestens einmal jährlich durchzuführen.

2.8.6 Referenzkalibrierung des FWD-Distanzmessgerätes

Diese Kalibrierung wird angewendet, um einen zuverlässigen Vergleich mit anderen Felddaten (z.B. Ergebnisse einer bereits durchgeführten Schadensaufnahme) oder die Durchführung weiterer Feldversuche (Bohrkernentnahme) zu ermöglichen

Kurzbeschreibung:

Die Distanz-Messwerte des FWD werden mit denen eines geeichten Maßbandes oder Messrades verglichen.

Intervalle:

Die Kalibrierung ist mindestens einmal in sechs Monaten sowie nach Reifenwechseln am Fahrzeug oder Anhänger, auf dem der Messzähler montiert ist, sowie nach Reparatur- oder Wartungsarbeiten am Messgerät durchzuführen..

2.8.7 Verfahren auf Kalibrierstellenebene

In Abständen von zwei Jahren sollte das FWD von dem jeweiligen Hersteller gewartet und überprüft werden.

Im Zuge dieser Überprüfung sollten vom Hersteller, zusätzlich zu den routinemäßigen Kalibrierungen durch den Anwender, noch folgende Kalibrierverfahren durchgeführt werden [1]:

- Statische Referenzkalibrierung der FWD-Lastzelle (siehe Abbildung 16)
- Dynamische Referenzkalibrierung der FWD-Lastzelle
- Laborreferenzkalibrierung von demontierten Deflektionsaufnehmern
- in-situ Referenzkalibrierung von demontierten Deflektionsaufnehmern
- in-situ Referenzkalibrierung von übereinander gestapelten Deflektionsaufnehmern
- in-situ FWD-Harmonisierungsverfahren

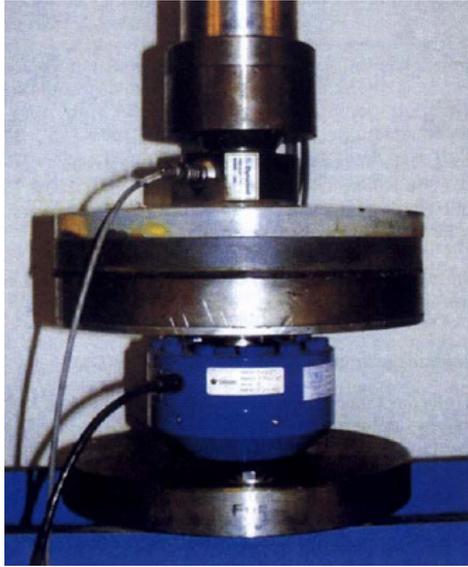


Abbildung 16: Statische Referenzkalibrierung der demontierten Lastzelle [1]

3. TRAGFÄHIGKEITSBEWERTUNG VON ASPHALTSTRASSEN

3.1 Einleitung

Im folgenden Flussdiagramm ist der Verlauf nach welchem die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von FWD-Messungen auf Projektebene erfolgen sollte, dargestellt.

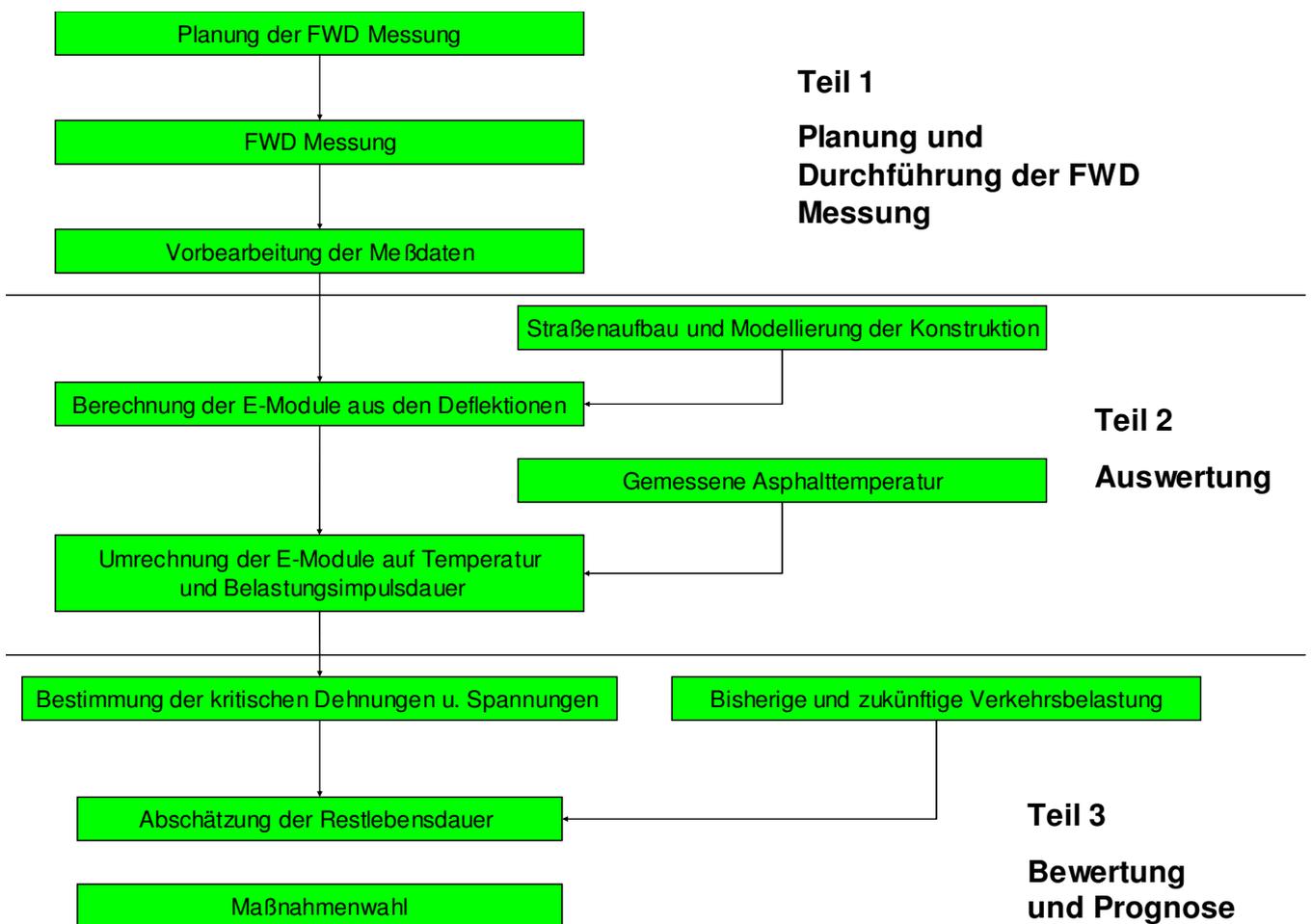


Abbildung 17: Vereinfachtes Flussdiagramm von FWD-Messung [1]

Die einzelnen Schritte des Ablaufs einer FWD-Messung werden in den folgenden Kapitel erläutert.

3.2 Erforderliche Daten für die Vorbereitung der FWD-Messung

Für die Vorbereitung und Planung einer FWD-Messung ist es von großer Bedeutung im Vorfeld bereits Informationen über die Straßenkonstruktion, die Verkehrssituation und die Umgebungsbedingungen des untersuchten Straßenabschnitts einzuholen.

Vor der tatsächlichen Messung sollten folgende Daten des für die Messung vorgesehenen Abschnitts erhoben und dokumentiert werden:

- Lage und Länge des untersuchten Straßenabschnitts
- Vorhandene Längs- und Querneigung (max. 10 %)
- Straßenaufbau
- Vorhandensein von Randsteinen und/oder Banketten
- Breite und Anzahl der Fahrstreifen für jede Fahrtrichtung
- Verkehrsaufkommen
- Funktion und Verwendung
- Ausmaß von Rissen (falls vorhanden)

Anhand dieser Daten erfolgen im Weiteren auch die Auswahl der Messspur, die Festlegung der Abstände der einzelnen Messpunkte untereinander und die Lage/Position der einzelnen Deflektionsaufnehmer.

3.2.1 Straßenaufbau

Die Kenntnis über den Aufbau der Straßenkonstruktion, mit den eingebauten Material, sowie die Anzahl und Dicke der unterschiedlichen Schichten ist vor allem für die Vorbereitung sowie die korrekte Auswertung der FWD Messung unerlässlich.

Für die Vorbereitung ist der Schichtaufbau insofern relevant, als dass die Dicke und Beschaffenheit der untersuchten Schichten Einfluss auf die gewählte Versuchslast sowie die Abstände der Deflektionsaufnehmer hat.

Weiters ist er für die richtige Wahl der Einbohrtiefen im Falle einer Bohrlochtemperaturmessung erforderlich.

Für die Auswertung, d.h. für die Rückrechnung der Asphalt- oder Betonsteifigkeiten, ist die Kenntnis des Schichtaufbaus unerlässlich, da ansonsten keine korrekten Werte aus der Rückrechnung resultieren.

Der Schichtaufbau kann einerseits aus vorhandenen Unterlagen vom örtlichen Straßenerhalter, andererseits auch vor Ort durch geeignete Meßmethoden bestimmt werden.

Für neuere Straßen sind meist ausreichende Unterlagen über die Konstruktion vorhanden. Bei älteren Straßen können jedoch oft keine oder nur unzureichende Informationen über den Aufbau zur Verfügung stehen.

In diesem Fall, bzw. auch zur Kontrolle der vorhandenen Daten, kann der Straßenaufbau anhand von Bohrkernentnahmen und/oder durch Messungen mit dem Ground Penetrating Radar (GPR) bestimmt werden.



Abbildung 18: GPR (Ground Penetrating Radar) [13]

Im Falle einer GPR Messung sollten immer auch einige Bohrkernentnahmen gezogen werden, um die Ergebnisse der GPR Messung kalibrieren zu können.

3.2.2 Lage von Bohrkernentnahmen

Falls der Aufbau der untersuchten Oberbaukonstruktion nicht bekannt ist, oder um vorhandene Daten zu verifizieren, müssen Bohrkernentnahmen aus dem untersuchten Messabschnitt entnommen werden.



Abbildung 19: Bohrwagen bei Bohrkernentnahme [14]

Die Stelle der Bohrkernentnahme sollte sich wenn möglich in der für die FWD-Messung vorgesehenen Messspur befinden.

Es sollten weiters für jeden Messabschnitt, von dem die Homogenität des Schichtaufbaus bekannt oder vermutet wird, mindestens 3 über den Messabschnitt verteilte Bohrkernentnahmen stattfinden.

3.2.3 Genauigkeit von Schichtdickenmessungen [1]

Für die Interpretation der FWD-Daten müssen die genauen Schichtdicken bekannt sein. Dabei sind folgende Genauigkeiten erforderlich:

- für Asphaltsschichten min. 5 %
- für ungebundene und tiefer liegende Schichten min. 10 %

3.3 Festlegung der Messpunkte

Im Vorfeld jeder FWD-Messung muss die Planung und Festlegung des Messspur und der Messpunkte erfolgen.

3.3.1 Wahl des Fahrstreifens

Bei zweistreifigen Fahrbahnen ist die Möglichkeit der Wahl des Fahrstreifens insofern beschränkt, als dass nur entschieden werden kann, ob die Messung auf einer oder auf beiden Richtungsfahrbahnen erfolgen soll.

Es wird jedoch empfohlen, die Messung auf beiden Richtungsfahrbahnen durchzuführen. Die Messpunkte der beiden Fahrbahnen sollten dabei um den halben Messpunkt- abstand versetzt angeordnet sein (siehe Abbildung 20).



Abbildung 20: Anordnung versetzter Messpunkte [1]

Bei Mehrstreifigen Fahrbahnen sollte auf alle Fälle der am stärksten belastete Fahrstreifen gemessen werden.

Falls sich die einzelnen Fahrstreifen jedoch in ihrer Oberbaukonstruktion unterscheiden sollte für jeden Konstruktionsaufbau ein Fahrstreifen gemessen werden.

Falls die Verkehrsbelastung für die Anzahl der Fahrstreifen einen großen Unterschied aufweist (z.B. LKW-Spur – Überhol-/PKW-Spur), sollten ebenfalls beide Fahrstreifen untersucht werden.

In beiden Fällen sollte jedoch die Längsposition der Messpunkte übereinstimmen, um eine sinnvolle Gegenüberstellung und Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu ermöglichen.

Vor allem der Vergleich der Messergebnisse von Fahrstreifen mit identischer Oberbaukonstruktion aber unterschiedlicher Verkehrsbelastung kann für die spätere Beurteilung des Tragverhaltens bzw. der Prognose der Restlebensdauer von großem Interesse sein.

3.3.2 Wahl der Längslinie

Für die Bewertung des aktuellen Straßenzustands sollte die Anordnung der Messspur in der rechten Radspur erfolgen, da diese den am höchsten belasteten Bereich der Straßenkonstruktion darstellt.

Um Aufschluss über die ursprüngliche Straßenkonstruktion zu erhalten oder um den unbelasteten Bereich dem belasteten gegenüberstellen zu können, kann auch eine Messspur in Fahrbahnmitte, also zwischen den Radspuren, angeordnet werden.

Die Wahl der rechten Radspur ist auch aus sicherheitstechnischen Gründen ratsam, da im Falle einer nicht abgesperrten Mess-Strecke der vorbeifahrende Verkehr auf diese Art und Weise am geringsten beeinträchtigt wird.

Im innerstädtischen Bereich (Gehsteige) bzw. auf Straßen mit unbefestigtem Bankett kann es jedoch durch Schiefstellung des FWDs zu Schwierigkeiten bei der Messung in der rechten Radspur kommen. In diesem Falle sollte die Messung in der linken Radspur erfolgen.

Für die Abschätzung der Restlebensdauer wird auf alle Fälle das Messen in beiden Mess-Spuren (Fahrbahnmitte und rechte Radspur) empfohlen.

Auf Grund des dadurch verdoppelten Zeit- und somit auch Kostenaufwand kann als Kompromiss auch nur z.B. jeder fünfte Messpunkt in beiden Spuren gemessen werden.

3.3.3 Anzahl und Abstand der Messpunkte

Die Anzahl der Messpunkte ist in erster Linie von der Länge des Messabschnitts sowie der gewünschten bzw. erforderlichen Dichte der Messdaten abhängig.

Es sollten jedoch pro Messabschnitt mit konstanter Oberbaukonstruktion und Verkehrsbelastung mindestens 12 Messpunkte gewählt werden [1].

Der Abstand der Messpunkte sollte nicht mehr als 100 Meter betragen. In der Praxis hat sich für Messungen auf Projektebene ein Abstand von 50 Meter als praktikabel erwiesen.

Ein Anordnen von zusätzlichen Messpunkten kann während der Messung an Stellen mit visuell sichtbaren Oberflächenschäden wie Rissen, Schlaglöchern, etc. sowie an

Stellen von im Vorfeld gezogenen Bohrkernen erfolgen und kann für die spätere Auswertung und Interpretation der Messergebnisse hilfreich sein.

3.4 Temperaturmessungen

Da die Asphaltsteifigkeiten stark temperaturabhängig sind, ist um die Vergleichbarkeit gewonnener Messdaten zu gewährleisten, die Messung der Luft-, Oberflächen und wenn möglich der Asphalttemperatur von großer Bedeutung.

Die Abhängigkeit der Steifigkeit von der Temperatur ist in Abbildung 21 beispielhaft am Steifigkeitsverlauf von mittels dem Nottingham Asphalt Tester (NAT) geprüften Bohrkernen einer bituminösen Trag-Deckschicht AC16 trag dargestellt.

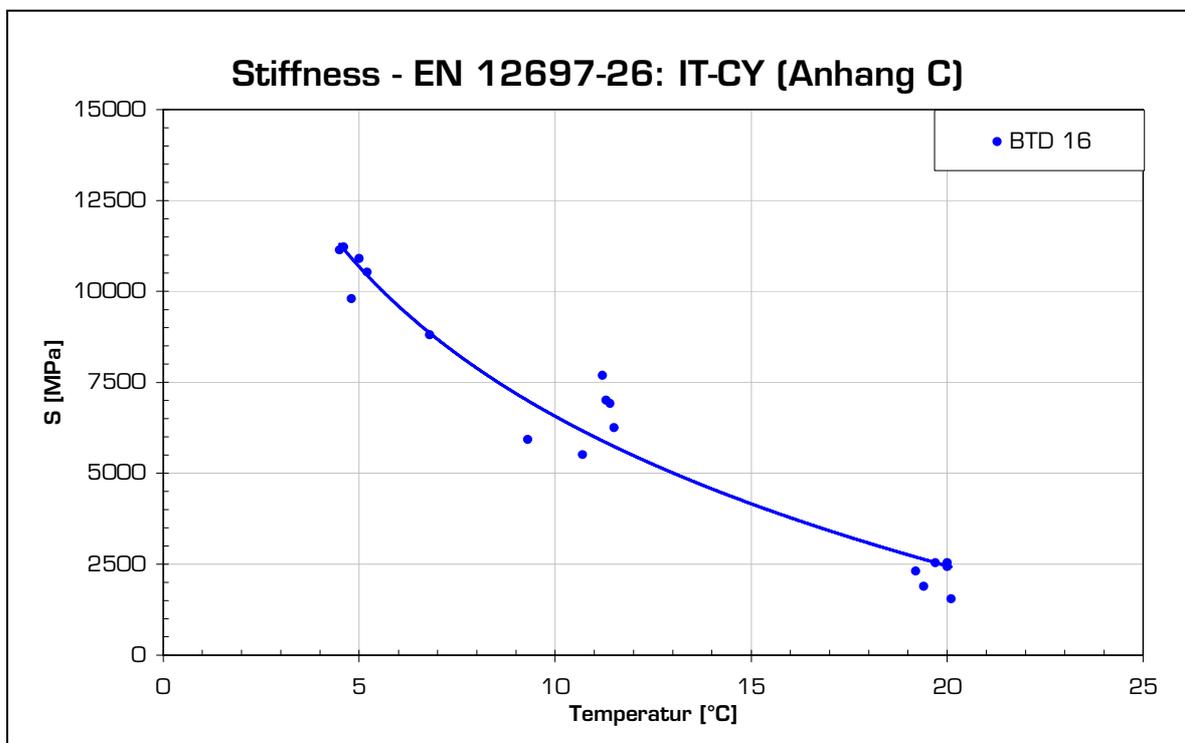


Abbildung 21: Abhängigkeit der Steifigkeit eines bituminösen Tragschichtmaterials AC16 trag von der Temperatur

Die Erfassung der oben genannten Temperaturen ermöglicht erst die Umrechnung der gewonnenen Daten auf Standardtemperaturzustände.

Anhand der gemessenen Temperaturen können weiters im Zuge der Aufbereitung der Messdaten die gemessenen Deflektionen auf die Bezugstemperatur umgerechnet werden (Kapitel 3.7.4)

3.4.1 Grenzen für die Asphalttemperatur

Der empfohlene Temperaturbereich für die Durchführung von FWD-Messungen liegt zwischen 0°C und 30°C, gemessen in einer Tiefe von > 4cm.

Die untere Grenze ergibt sich durch den Umstand, dass gefrorenes Wasser in den Schichten zu der Verfälschung der Messergebnisse führen würde.

Die obere Grenze lässt sich vom Erweichungspunkt Ring und Kugel (ERK) ableiten. Der Wert der oberen Temperaturgrenze sollte 2/3 dieses Messwerts betragen.

In folgender Tabelle sind für einige Bitumensorten die ERK-Werte gemäß ÖNORM EN 12591 [23] und ÖNORM B3613 [24] mit der zugehörigen maximalen Asphalttemperatur angegeben.

Bitumensorte	ERK	T _{Asphalt}
	[°C]	[°C]
160/220	35-43	23-29
70/100	43-51	29-34
50/70	46-54	31-36
pmB 45/80-50	> 50	33
pmB 45/80-65	> 65	43

Tabelle 1: obere Temperaturgrenze in Abhängigkeit vom Erweichungspunkt Ring und Kugel (ERK gemäß [23][24])

Es ist jedoch zu beachten, dass das Bitumen bereits durch den Einbau eine Alterung erfährt und die zulässige Asphalttemperatur daher nicht mit den ERK Wertes des Ausgangsbitumen ermittelt werden sollte.

3.4.2 Oberflächen- und Lufttemperaturmessung

Die Oberflächentemperatur und die Lufttemperatur werden grundsätzlich kontinuierlich von am FWD angebrachten Temperatursensoren gemessen und für jeden Messpunkt in den Datenfiles aufgezeichnet.

Zur Kontrolle dieser Werte ist jedoch auf jeden Fall am Beginn und am Ende der Messung bzw. bei sich ändernden Temperaturen oder Witterungsverhältnissen in stündlichen Intervallen die Oberflächentemperatur mittels Infrarottemperaturmessgerät zu messen und aufzuzeichnen.

3.4.3 Bohrlochtemperaturmessung

Für die genaue Kenntnis der Temperatur des Asphaltpakets bzw. des Temperaturverlaufs innerhalb der Schicht(en) ist die Messung von Bohrlochtemperaturen unbedingt erforderlich.

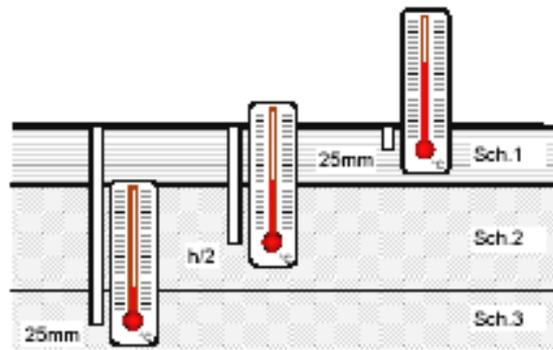


Abbildung 22: Schema einer Temperaturgradientenmessung für Asphaltschichtdicken $d > 10$ cm [6]

Bei der Anordnung der Bohrlöcher sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Die Bohrlöcher sollten auf Grund der Wärmeentwicklung die bei der Herstellung entsteht bereits einige Zeit vor der Messung eingebohrt werden.
- Der Abstand vom Straßenrand sollte mindestens 30 cm betragen
- Falls möglich, sollten sie in der Messspur, auf alle Fälle im Bereich identischen Oberbauaufbaus hergestellt werden.
- Um guten thermischen Kontakt zu gewährleisten, sollten einige Tropfen Glycerin in die Bohrlöcher eingebracht werden.

Die Anzahl der Bohrungen n sowie die Einbohrtiefe t [cm] sind in erster Linie von der Asphaltschichtdicke d [cm] abhängig und sollte nach im Folgenden angegebenen Kriterien gewählt werden [1]:

- **$d < 5$ cm:**

Eine Bohrung bis in die Mitte der Schicht:

$$n=1$$

$$t = d/2$$

- **$d = 5 - 10$ cm:**

Zwei Bohrungen jeweils eine 2,5 cm unterhalb der Oberfläche und eine 2,5 cm oberhalb der Untergrenze der Asphaltschicht:

$$n = 2$$

$$t_1 = 2,5 \text{ cm}$$

$$t_2 = d - 2,5 \text{ cm}$$

- **d > 10 cm:**

Drei Bohrungen jeweils eine 2,5 cm unterhalb der Oberfläche, eine 2,5 cm oberhalb der Untergrenze der Asphaltsschicht und eine in Schichtenmitte:

$$n = 3$$

$$t_1 = 2,5 \text{ cm}$$

$$t_2 = d - 2,5 \text{ cm}$$

$$t_3 = d/2$$

Die Erfassung der Temperaturdaten muss gleichzeitig mit der Aufzeichnung der Zeit erfolgen. Dies kann mit einem geeigneten Messgerät, mit einer ausreichenden Anzahl an Messkanälen, wie z.B. den Datenlogger T177 der Firma Testo, erfolgen.

3.5 Wahl der Versuchslast

Wie bereits in Kapitel 2.7.1 erwähnt, beträgt die Standardlast für Messungen mit dem Fallgewichtsdeflektometer 50 kN.

Auf Straßenkonstruktionen aus Beton oder sehr steifem Asphalt kann es jedoch erforderlich sein, die Messung mit einer größeren Versuchslast durchzuführen um aussagekräftige Werte zu erhalten.

Der Grund hierfür ist, dass bei starren Oberbaukonstruktionen die Last von 50 kN oftmals nicht ausreicht, um eine repräsentative Deflektionsmulde zu erhalten.

Dies ist der Fall wenn die Deflektion des äußersten Geophons kleiner als 20 μm ist. Es sollte dann die Belastung erhöht werden, bis die gemessenen Deflektionen den gewünschten Kriterien entsprechen.

Dies kann auf Asphaltfahrbahnen in 10 kN Schritten erfolgen, bei Betonfahrbahnen kann von Beginn an mit einer größeren Versuchslast (z.B. 120 kN) gefahren werden.

Der Grenzwert von 20 μm resultiert daraus, dass bei sehr geringen Deflektionen, wie sie in Abbildung 23 für die Betonfahrbahn auftreten, die Messgenauigkeit der Geophone von $\pm 2\mu\text{m}$ bereits 10 % des Messwertes ausmacht.

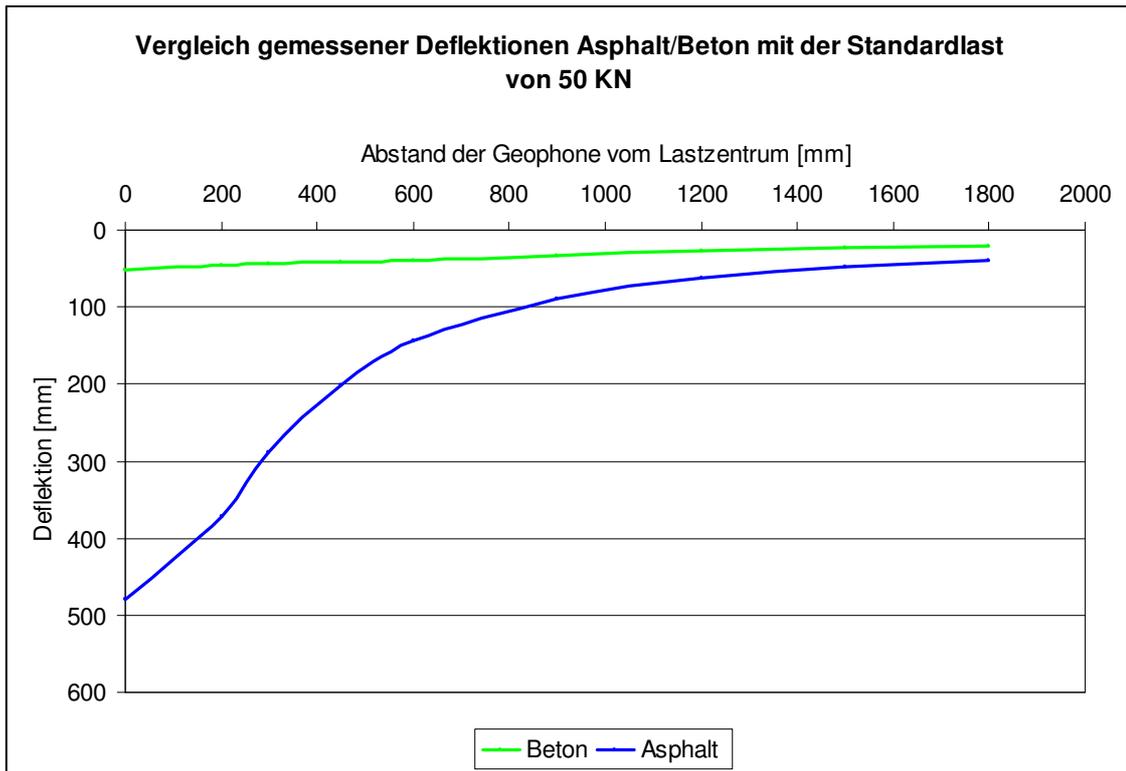


Abbildung 23: Vergleich gemessener Deflektionen Asphalt/Beton mit der Standardlast von 50 kN bei 20°C

In Abbildung 23 ist sowohl für eine Betonfahrbahn als auch für eine Straßenkonstruktion aus Asphalt der Verlauf der gemessenen Deflektionen bei einer Versuchslast von 50 kN dargestellt.

Abbildung 23 spiegelt auch sehr repräsentativ die unterschiedliche lastverteilende Wirkung von Beton und Asphalt wider (siehe Abbildung 24).

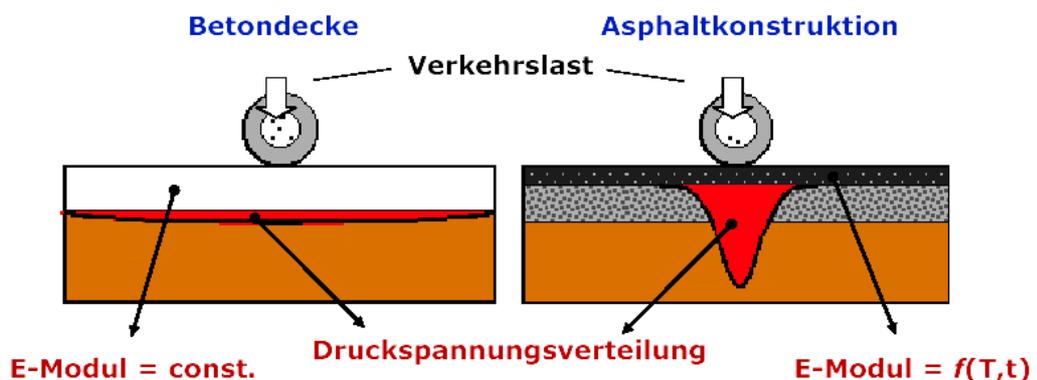


Abbildung 24: Lastverteilungswirkung von Beton und Asphalt [18]

3.6 Durchführung der FWD Messung

Nachdem das Messprogramm, wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurde, erstellt wurde kann die FWD-Messung durchgeführt werden.

Der FWD-Anhänger wird mittels Zugfahrzeugs auf die Messstrecke und dort angekommen von Mess-Punkt zu Messpunkt gezogen.

Die durchschnittliche Dauer einer Messung beträgt in Abhängigkeit von der Anzahl der Schläge ein bis zwei Minuten.

Mit einem Messpunktabstand von 50 Metern können somit pro Stunde in etwa 1,5 bis 2 Kilometer gemessen werden. Dies entspricht einer Tagesleistung von 14 bis 20 Kilometern.

Der genaue Ablauf der Durchführung einer FWD-Messung ist im Anhang A in der Arbeitsanweisung 610 „Tragfähigkeitsmessungen mit dem Fallgewichtsdeflektometer (FWD)“ beschrieben.



Abbildung 25: FWD Dynatest 8002 im Messeinsatz

3.6.1 Kriterien für ein genaues Messergebnis

Im Folgenden sind einige Kriterien angeführt, die für eine korrekte Durchführung sowie für den Erhalt von richtigen und exakten Messdaten beachtet werden sollten [1]:

- In der Messspur sollte sich kein stehendes Wasser befinden
- Der satte Kontakt der Lastplatte muss sichergestellt sein. Erfolgt die Messung auf unebenen Straßenoberflächen (z.B. Spurrinnen), sollte die segmentierte Lastplatte verwendet werden. Falls keine segmentierte Lastplatte vorhanden ist

oder das Gerät nicht umgerüstet werden kann/soll ist im Prüfbericht zu vermerken, dass auf der Messoberfläche Unebenheiten vorhanden waren.

- Unabhängig von der Anzahl der Belastungsschläge sollte als erstes immer ein leichter Anpassungsschlag erfolgen, um die Lastplatte einzurichten.
- Es sollten immer mindestens zwei Belastungsschläge durchgeführt werden
- Der erste Schlag sollte nicht für die Auswertung herangezogen werden.

3.6.2 Dokumentation

Bei der Messdurchführung sollte besonderes Augenmerk auf die genaue Dokumentation der Messstrecke sowie den vorherrschenden Randbedingungen gelegt werden.

Es sind Aufzeichnungen über:

- Temperatur
- Witterungsverhältnisse
- Vorhanden Oberflächenschäden wie z.B. Spurrinnen, Risse etc. inklusive deren Stationierung und Fotos

Für jeden Messpunkt sollten weiters folgende Daten gespeichert werden [1]:

- Stationierung
- Fahrstreifen
- Anzahl der Schläge
- Uhrzeit
- Maximallast und Maximaldeflektion

Für die gesamte Messung sollten folgende Daten gespeichert werden [1]:

- Abstände der Deflektionsaufnehmer
- Durchmesser der Lastplatte
- Nummer und Kalibrierfaktoren der Geophone
- Straßename und Fahrrichtung
- Name des Bedieners
- Datum der Messung
- Art der Filterung/Glättung und Grenzfrequenz

Im Allgemeinen erfolgt die Aufzeichnung der Daten für jeden Messpunkt automatisch durch das verwendete Messprogramm.

3.7 Aufbereitung der Messdaten

Um die Vergleichbarkeit von Messdaten zu ermöglichen und um die spätere Auswertung zu vereinfachen bzw. überhaupt richtig durchführen zu können, ist es erforderlich die gewonnenen Messdaten aufzubereiten.

Dies kann einerseits manuell bzw. mit Hilfe geeigneter Software (z.B. MS Excel) erfolgen, andererseits ist die Umrechnung auf Standardwerte schon oft in der Auswertesoftware der diversen Hersteller integriert.

3.7.1 Aufbereitung der Temperaturwerte

Für weitere Berechnungsschritte ist es erforderlich die Asphalttemperatur aus den vorhandenen Bohrloch- bzw. Oberflächentemperaturen zu ermitteln.

Diese kann falls eine Bohrlochtemperaturmessung durchgeführt wurde aus dem arithmetischen Mittel der Temperaturen der unterschiedlichen Tiefen (siehe 3.4.3) berechnet werden.

Es besteht aber auch die Möglichkeit die Asphalttemperatur nach der BELLS3 Gleichung [16] aus den gemessenen Oberflächen- und Lufttemperaturen zu ermitteln.

$$T_d = 0,95 + 0,892IR + (\log(d) - 1,25)(-0,45IR + 0,62(1 - \text{day}) + 1,83 \sin(\text{hr}_{18} - 15,5)) + 0,042 \sin(\text{hr}_{18} - 13,5) \quad \text{Gleichung 3}$$

T_d	... Asphalttemperatur in der gewählten Tiefe
IR	... Oberflächentemperatur gemessen mit Infrarottemperaturmessgerät
d	... Tiefe in welcher die Asphalttemperatur berechnet werden soll
1-day	... Durchschnitt der Tageshöchst- und Tagestiefsttemperatur
sin	... Sinus Funktion über eine 18-Stunden Periode, 2π entsprechen einen 18 Stunden Zyklus
hr_{18}	... Uhrzeit in einem 24-Stunden System

3.7.2 Umrechnung der Deflektionen auf Standardlast

Um die gemessenen Deflektionen von mit unterschiedlicher Versuchslast belasteter Oberflächen vergleichen bzw. gegenüberstellen zu können, ist es erforderlich diese auf die einheitliche Standardlast von 50 kN (siehe 2.7.1) umzurechnen.

Die Umrechnung erfolgt mittels linearer Extrapolation durch Multiplikation mit dem Faktor $P_{\text{soll}}/P_{\text{gemessen}}$, wobei P_{soll} die am FWD voreingestellte Versuchslast und P_{gemessen} die tatsächlich aufgebrachte Versuchslast ist.

Beispiel: Gemessene Deflektion: $D_{\text{gemessen}} = 250 \mu\text{m}$

Versuchslast: $P_{\text{gemessen}} = 60 \text{ kN}$

Auf Standardlast umgerechnete Deflektion:

$$D_{\text{standard}} = D_{\text{gemessen}} \cdot P_{\text{soll}}/P_{\text{gemessen}} = 250 \times (50/60) = 208,3 \mu\text{m}$$

Die Umrechnung der Deflektionen auf die (Standard) Versuchslast spielt auch dann eine Rolle, wenn die Spannungen und Dehnungen direkt aus der gemessenen Deflektionsmulde berechnet werden sollen bzw. wenn die Rückrechnung nicht mit Hilfe von Auswertesoftware erfolgt.

In Abbildung 26 ist beispielhaft die gemessene Deflektionsmulde desselben Messpunkts einer Betonfahrbahn mit einer Versuchslast von 50 kN sowie 120 kN dargestellt. Der Verlauf der von 120 kN auf die Standardlast von 50kN mittels des Faktors $P_{\text{soll}}/P_{\text{gemessen}}$ umgerechneten Deflektionsmulde ist ebenfalls dargestellt.

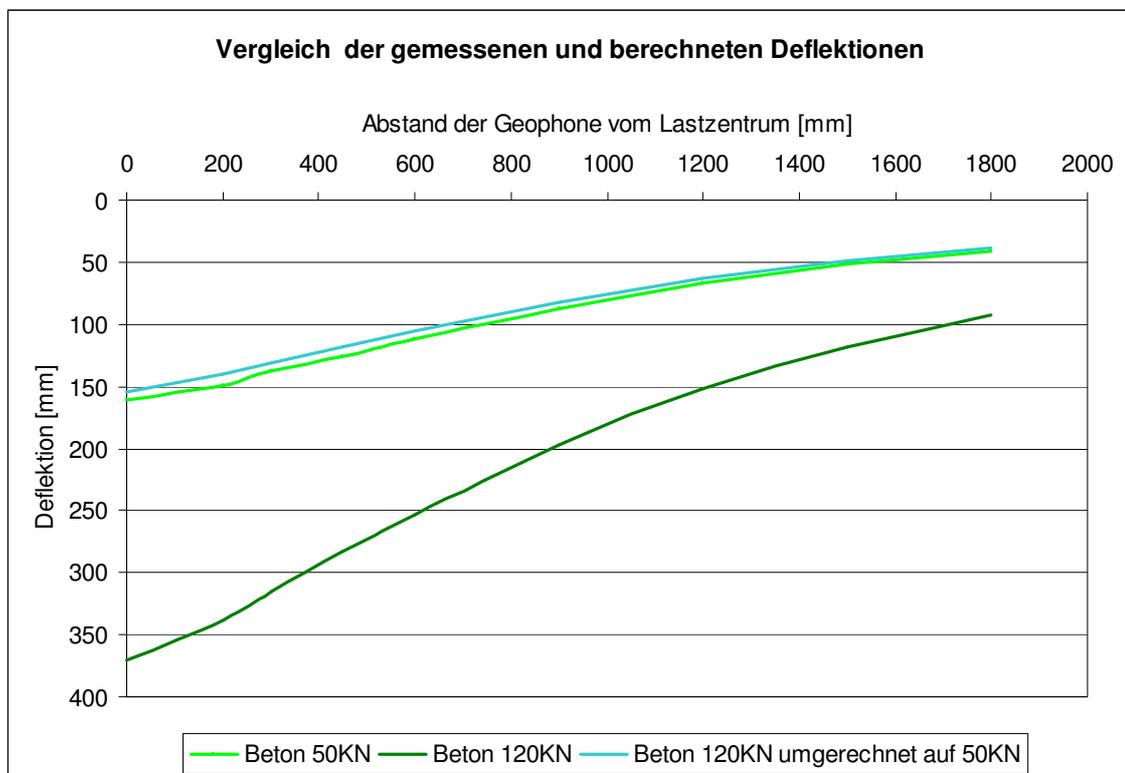


Abbildung 26: Vergleich der bei 50 kN und 120 kN gemessenen Deflektionsmulden mit der auf Standardlast umgerechneten Deflektionsmulde

3.7.3 Umrechnung der Deflektionen auf die Versuchsolllast

Ein weiterer Grund für die Umrechnung der Deflektionen ist, dass die bei der Durchführung der Messung eingestellte Versuchslast auf Grund gerätetechnischer Ursachen meist geringfügig von der tatsächlich aufgebrauchten Last abweicht.

Dies lässt sich beispielhaft an einer mit 60 kN Solllast durchgeführten Messung (siehe Abbildung 27) darstellen.

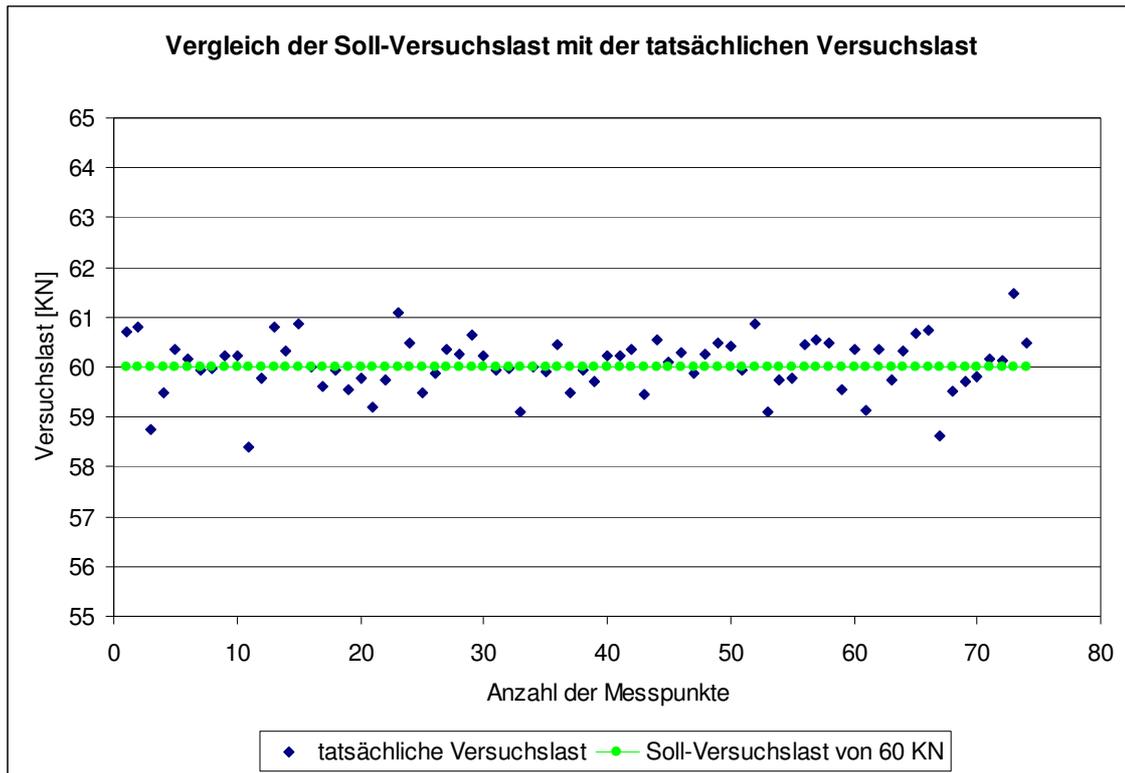


Abbildung 27: Vergleich der Soll-Versuchslast mit der tatsächlich aufgebrauchten Versuchslast

3.7.4 Umrechnung der Deflektionen auf die Bezugstemperatur

Falls Deflektionen unterschiedlicher Messungen direkt miteinander verglichen werden sollen bzw. die Berechnung der Spannungen und Dehnungen direkt aus der gemessenen Deflektionsmulde erfolgen soll, müssen diese auf die Bezugstemperatur (20°C) umgerechnet werden.

Dies erfolgt durch Teilung der gemessenen Deflektionen durch den Temperaturumrechnungsfaktor TNF [1].

Die im Folgenden angegebene Gleichung 4 für den Temperaturumrechnungsfaktor wurde basierend auf von Van Gurp [15] ausgewerteten Daten entwickelt [1].

$$\text{TNF} = 1 + \left(a_1 + \frac{a_2}{h_1}\right) * (T_A - 20) + \left(a_3 + \frac{a_4}{h_1}\right) * (T_A - 20)^2 \quad [-] \quad \text{Gleichung 4}$$

TNF ... Temperaturumrechnungsfaktor

T_A ... Asphalttemperatur [°C]

h_1 ... Dicke der Asphaltsschicht [mm]

a_1, a_2, a_3, a_4 ...Koeffizienten lt. Tabelle 2

Variable	a_1 [°C ⁻¹]	a_2 [mm/°C]	a_3 [0,001 °C ⁻¹]	a_4 [mm/°C]
d_0	0,01661	-0,67095	0,28612	-0,01408
d_0-d_{300}	0,05398	-2,61130	1,28439	-0,07493
d_0-d_{600}	0,04190	-2,15168	0,87228	-0,05301

Tabelle 2: Koeffizienten für die Temperaturumrechnung von FWD- Deflektionswerten [1]

Es ist anzumerken, dass obige Gleichung auf der Basis von für die Niederlande typischen Materialkennwerten entwickelt wurde [1].

Um die obige Gleichung 4 zu verifizieren wurden, an einem Messpunkt zu verschiedenen Zeitpunkten und unterschiedlichen Asphalttemperaturen FWD-Messungen durchgeführt.

Die gemessenen Deflektionsmulde wurden gemäß Kapitel 3.7.3 auf die Solllast von 50 kN umgerechnet.

Bei der ersten Messung, in der Früh, betrug die Asphalttemperatur ca. 20°C und die Maximaldeflektion im Lastzentrum 534 µm. Bei der zweiten Messung, um die Mittagszeit, betrug die Asphalttemperatur ca. 35°C und die gemessenen Maximaldeflektion im Lastzentrum 607 µm.

Die Deflektionsmulden der beiden Messungen sind in Abbildung 28 dargestellt.

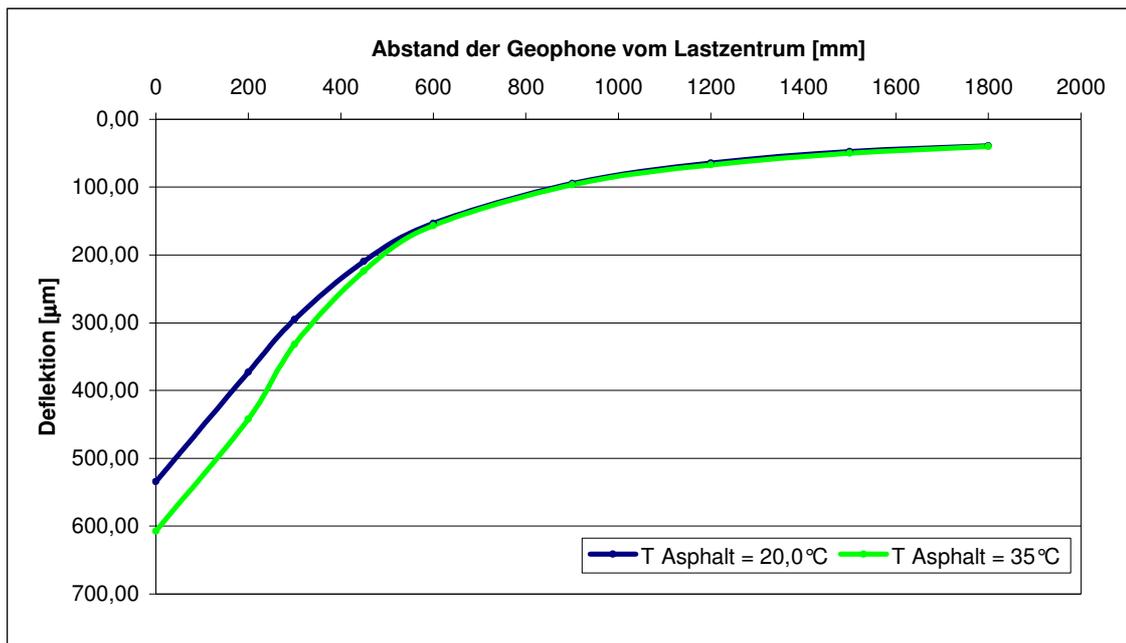


Abbildung 28: Deflektionsmulde des selben Messpunktes bei unterschiedlichen Asphalttemperaturen

Die Differenz der gemessenen Deflektionen beträgt 73,06 µm. Der Temperaturumrechnungsfaktor müsste daher die gemessenen Deflektion bei 35°C geteilt durch die gemessenen Deflektion bei 20°C sein.

$$TNF = \frac{D_{35^{\circ}\text{C}}}{D_{20^{\circ}\text{C}}} = 1,14 \quad [-] \quad \text{Gleichung 5}$$

Berechnet man jedoch den Temperaturfaktor nach Gleichung 4 erhält man die in Tabelle 3 dargestellte Werte.

Dicke [mm]	Asphalttemperatur [°C]								
	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40
100	1	2,81	8,20	17,16	29,70	45,81	65,49	88,75	115,59
150	1	2,82	8,21	17,18	29,72	45,84	65,54	88,81	115,65
200	1	2,82	8,22	17,19	29,74	45,86	65,56	88,83	115,68
250	1	2,82	8,22	17,20	29,75	45,87	65,57	88,85	115,70
300	1	2,82	8,22	17,20	29,75	45,88	65,58	88,86	115,72

Tabelle 3: Temperaturumrechnungsfaktor TNF in Abhängigkeit von Asphalttemperatur und -schichtdicke

Bei der Berechnung hat sich gezeigt, dass die Dicke der Asphaltsschicht so gut wie keinen Einfluss auf die Größe des Faktors hat. Der Einfluss der Temperatur hingegen ist sehr groß

In Abbildung 29 ist der Verlauf des Temperaturfaktors in Abhängigkeit von der Asphalttemperatur dargestellt.

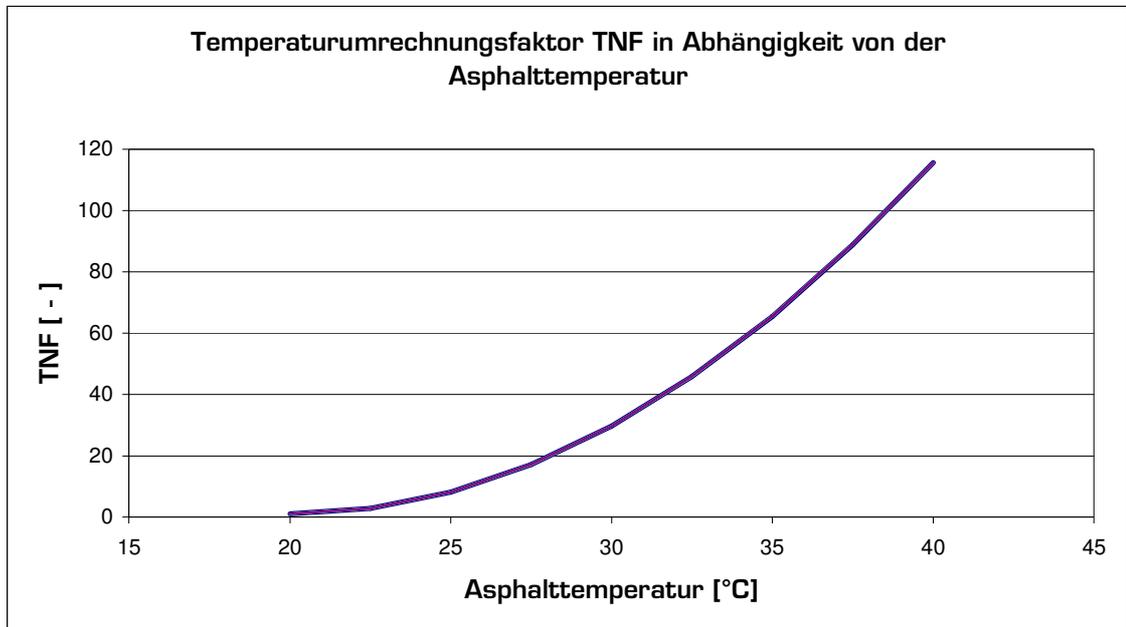


Abbildung 29: Temperaturumrechnungsfaktor TNF in Abhängigkeit von der gemessenen Asphalttemperatur

Bei einer Asphalttemperatur von 35°C beträgt der errechnete Temperaturfaktor 65 was um ein vielfaches größer ist als der aus den Messungen ermittelte Faktor.

3.7.5 Unterteilung in homogene Abschnitte

Die Einteilung in homogene Abschnitte kann in unterschiedlichen Phasen der FWD-Messung bzw. Auswertung erfolgen und sollte anhand folgender Parameter durchgeführt werden [1]:

- Schichtdicken (wichtig für korrekte Rückrechnung der E-Module)
- Visueller Zustand
- Untergrund
- Verkehrsaufkommen
- Gemessene Deflektionen
- Verlauf des Oberflächenmoduls (siehe Kapitel 3.8.2)
- Rückgerechnete Schichtsteifigkeiten (siehe 3.8)

- Restlebensdauer
- Erforderliche Oberbauverstärkung

Die Unterteilung kann einerseits durch die visuelle Bewertung der Parameter z.B. in Form von Streckenbändern erfolgen.

Es besteht jedoch auch die Möglichkeit Computerprogramme wie z.B. das Programm SAMsRoad[®] welche auch für die Bildung homogener Abschnitte im Rahmen der Straßenzustandserfassung verwendet werden dafür einzusetzen.

3.8 Rückrechnung der Schichtsteifigkeiten aus den gemessenen Deflektionen

Aus den gemessenen Deflektionen können nun in einem weiteren Schritt die Schichtsteifigkeiten der einzelnen Schichten „rückgerechnet“ werden.

Für die Rückrechnung sollten die auf die Standardlast umgerechneten Deflektionswerte herangezogen werden.

Die Umrechnung der Deflektionen auf die Bezugstemperatur ist jedoch nicht erforderlich, da die ermittelten Schichtsteifigkeiten im Anschluss an die Rückrechnung auf diese umgerechnet werden können.

Die Rückrechnung erfolgt in der Regel mit von diversen Herstellern entwickelter Auswertesoftware wie z.B. „Elmod5“ (Dynatest), „Pavers“ (KOAC Pavement Consultants) etc.

3.8.1 Eingabeparameter

Für die Rückrechnung der Schichtsteifigkeiten ist, unabhängig von der dafür gewählten Methode bzw. der dafür benutzten Auswertesoftware, die Kenntnis einiger die Straßenkonstruktion betreffende Parameter erforderlich.

Vorraussetzung für die korrekte Rückrechnung der E-Module ist die Kenntnis der Anzahl und Dicke der einzelnen Schichten des untersuchten Straßenaufbaus. Diese sollte, wie unter 3.2.1 bereits erläutert, im Vorfeld der Messung erhoben werden.

Weiters ist bei den meisten zur Verfügung stehenden Auswerteprogrammen die Eingabe von Anfangs-E-Modulen bzw. die Eingrenzung der E-Module innerhalb einer gewissen Bandbreite, sowie die Angabe der Poisson'schen Zahlen für die unterschiedlichen Schichten möglich bzw. erforderlich. Dies ermöglicht dem Programm eine korrekte und schnellere Rückrechnung mit einer geringeren Anzahl an Iterationsschritten.

Zur Orientierung können folgende Tabellen mit typische Werte für Steifigkeitsmodule und Poisson'sche Zahlen für unterschiedliche Konstruktionsschichten herangezogen werden.

Materialbeschreibung	E-Modul [MPa]	Poisson'sche Zahl
Hot Rolled Asphalt, Verschleißschicht (15 °C)	4500 - 7500	0,4
Dichter Asphalt Macadam, Binderschicht (15 °C)	4500 - 7500	0,4
Hot Rolled Asphalt, Tragschicht (15 °C)	8000 - 10000	0,4
Dichter Asphalt Macadam, Tragschicht (15 °C)	7000 - 10000	0,4
Dichter Asphalt Macadam, Tragschicht mit hartem Bitumen (15 °C)	10000 - 13000	0,4
Macadam Tragschicht für hohe Belastungen (15 °C)	7000 - 10000	0,4
Gebrocher Asphalt (20 °C)	1000 - 6000	0,25
Dichter Walzasphalt (20 °C)	1000 - 6000	0,35
Dichter Walzasphalt mit Brech-(Kant)korn (20 °C)	1000 - 12000	0,35

Tabelle 4: Steifigkeitsmodule und Poisson'sche Zahlen bituminös gebundener Schichten [1]

Materialbeschreibung	E-Modul [MPa]	Poisson'sche Zahl
zementgebundene Materialien		
Beton	30000 - 70000	0,2
Zementstabilisierte Schichten (intakt)	10000 - 30000	0,2
Zementstabilisierte Schichten (beginnende Risse)	5000 - 15000	0,2
Zementstabilisierte Schichten (starke Risse)	500 - 5000	0,3
Drainagebeton	500 - 3000	0,15
Zementstabilisierungen mit Flugasche	1500 - 6000	0,25
Sand / Zement Mörtel	2500 - 7000	0,25
Magerbeton	10000 - 40000	0,2
Brechkorn, hoher Zementgehalt (ohne Risse)	7000 - 30000	0,15
Brechkorn, hoher Zementgehalt (mit Rissen)	500 - 3000	0,35
Kies guter Qualität, geringer Zementgehalt (ohne Risse)	3000 - 9000	0,15
Kies schlechter Qualität, geringer Zementgehalt (ohne Risse)	2000 - 6000	0,15
Kies guter Qualität, geringer Zementgehalt (mit Rissen)	160 - 2000	0,3
Kies schlechter Qualität, geringer Zementgehalt (mit Rissen)	90 - 1200	0,35

Tabelle 5: Steifigkeitsmodule und Poisson'sche Zahlen zementgebundener Schichten [1]

Materialbeschreibung	E-Modul [MPa]	Poisson'sche Zahl
Ungebundene obere Tragschicht	200 - 500	0,3
Ungebundene obere Tragschicht (mit Abbindeeeigensch.)	300 - 2000	0,3
Ungebundene untere Tragschicht	50 - 200	0,3
Felsbruch	100 - 400	0,3
Sand	50 - 300	0,35
Lava	50 - 300	
Haldenmaterial, Taubes Gestein	50 - 300	
Recyclingmaterial aus Mauerwerk	50 - 250	
Kiessand	70 - 300	
Mischgranulat	100 - 800	
Betongranulat	300 - 1500	
Brech-(Kant)korn	150 - 350	0,3
Mineralbeton	200 - 500	0,45
Bodenverbesserung	50 - 100	0,45
Untere Tragschicht	0-150	0,35
Sand	30 - 150	0,15
Obere Kiestragschicht (feuchtigkeitsabhängig)	100 - 375	0,4
Ungebundene Tragschicht	50 -300	0,35
Untere Kiestragschicht (feuchtigkeitsabhängig)	50 - 300	0,4

Tabelle 6: Steifigkeitsmodule und Poisson'sche Zahlen ungebundener Materialien [1]

Materialbeschreibung	E-Modul [MPa]	Poisson'sche Zahl
Untergrund		
Ton, Untergrund	30 - 150	0,4
Ton	20 - 80	0,4
Torf	10 - 40	0,45
Ton, sehr weich	2 - 15	0,45
Ton, weich	5 - 25	0,45
Ton, mittel	15 - 20	0,35
Ton, fest	50 - 100	0,1
Ton, sandig	25 - 250	0,2
Sand, schluffig	7 - 21	0,35
Sand, locker	10 - 24	0,35
Sand, dicht	50 - 80	0,15
Kiessand, locker	50 - 140	0,35
Kiessand, dicht	100 - 200	0,35
Pflasterdecken	500 - 1000	0,3

Tabelle 7: Steifigkeitsmodule und Poisson'sche Zahlen Untergrund- und anderer-Materialien [1]

3.8.2 Verwendung von Oberflächenmodulen zur Abschätzung der Schichtsteifigkeiten

Mit Hilfe von Oberflächenmodulen kann ein erster Eindruck über den Verlauf der Steifigkeit der Straßenkonstruktion mit zunehmender Tiefe gewonnen werden.

Der Oberflächenmodul zufolge der Deflektion in Plattenmitte repräsentiert den E-Modul der gesamten Straßenkonstruktion, wenn diese als eine Schicht angenommen wird. Er wird in Abhängigkeit von der gemessenen Deflektion und der Höhe der aufgetragenen Spannung nach folgender Gleichung ermittelt:

$$E = \frac{2 * (1 - \nu^2) \sigma_0 * a}{d_0} \quad \text{Gleichung 6}$$

Der Oberflächenmodul, berechnet aus der Deflektion im Abstand r vom Lastzentrum, entspricht der Steifigkeit der Schichten die unterhalb der dem Abstand r äquivalenten Tiefe liegt.

$$E_{(r)} = \frac{(1 - \nu^2) \sigma_0 * a^2}{d_r * r} \quad \text{Gleichung 7}$$

E	... Oberflächenmodul in der Mitte der Lastplatte [MPa]
$E_{(r)}$... Oberflächenmodul im Abstand r [MPa]
ν	... Poisson'sche Zahl [-]
σ_0	... Kontaktdruck unter der Lastplatte [kPa]
a	... Radius der Lastplatte [mm]
r	... Abstand des Geophons vom Lastzentrum [mm]
d_r	... Deflektion im Abstand r [μm]

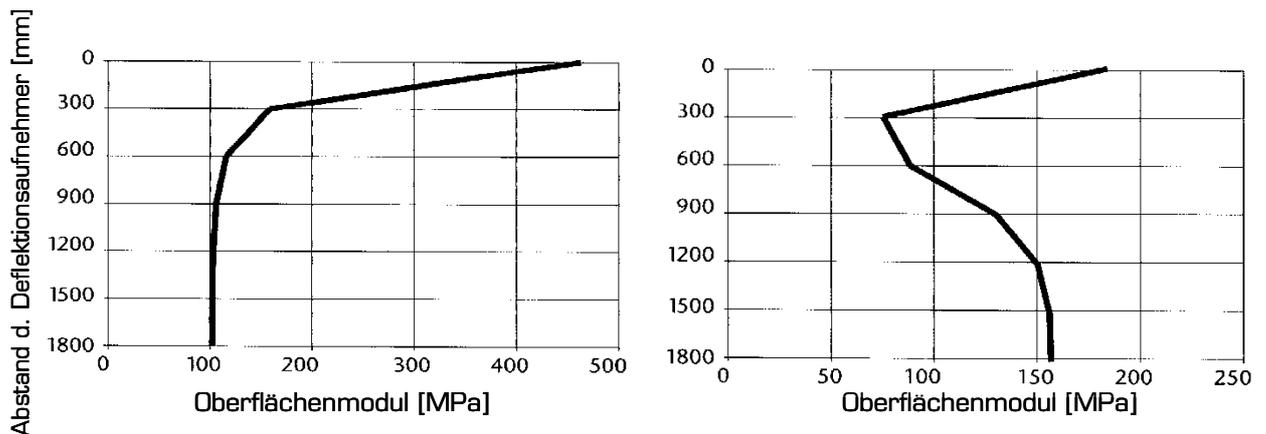


Abbildung 30: Beispiel für die graphische Darstellung von Oberflächenmodulen [12]

In Abbildung 30 sind zwei Beispiele für die graphische Darstellung von Oberflächenmodulen angegeben.

In der linken Graphik ist ein mit zunehmender Tiefe abnehmender Oberflächenmodul dargestellt. Daraus kann man erkennen, dass die Steifigkeit der Schichten mit der Tiefe hin abnimmt. Da der Oberflächenmodul der äußersten drei Deflektionsaufnehmer nahezu konstant ist, kann man davon ausgehen, dass die Steifigkeit des Untergrunds in etwa 100 MPa entspricht.

In der rechten Graphik erkennt man eine „weiche“ Zwischenschicht zwischen dem Untergrund und den oberen Schichten. Dies kann ein Hinweis auf eine schlecht verdichtete Tragschicht oder Schäden unterhalb der bituminösen Decke sein. Dies kann im Zuge der Rückrechnung durch das Einfügen einer zusätzlichen Schicht in das Oberbaumodell berücksichtigt werden.

3.8.3 Theoretische Grundlagen für die Rückrechnung von Schichtsteifigkeiten

Die Methoden zur Rückrechnung der E-Module sowie die nachfolgende Ermittlung der Spannungen und Dehnungen beruhen auf analytischen Modellen zur Beschreibung von Straßenbefestigungen. Es ist jedoch auch möglich, diese durch numerische Lösungen des mathematischen Problems, wie z.B. mit der Finite-Elemente-Methode, zu ermitteln [25].

Die analytischen Modelle, auf welchen die Rückrechenprogramme basieren, sind:

- Halbraumtheorie nach Boussinesq
- Ersatzdickenmethode nach Odemark
- Mehrschichtentheorie nach Burmister

3.8.4 Rückrechnung durch Deflektionsmuldenanpassung

Die am häufigsten angewandte Methode zur Rückrechnung der Schichtsteifigkeiten ist die Anpassung einer theoretisch ermittelten Deflektionsmulde an die tatsächlich gemessenen.

Bei dieser Rückrechenmethode können zu Beginn der Berechnung Schichtsteifigkeiten für die einzelnen Konstruktionsschichten abgeschätzt werden. Mit diesen Ausgangs-E-Modulen wird anschließend eine theoretische Deflektionsmulde errechnet und diese mit der tatsächlich vorhandenen verglichen.

In weiteren Schritten werden die Schichtmodule iterativ so lange variiert bis die Differenz zwischen der theoretischen und der tatsächlich gemessenen Deflektionsmulde ausreichend klein ist.

Die Höhe der zulässigen Abweichung zwischen den errechneten und vorhandenen Deflektionen, sowie die Anzahl der Iterationsschritte, können bei den meisten Programmen vom Anwender vorgegeben werden.

Ein Problem bei dieser Methode ist jedoch, dass aus Straßenaufbauten mit unterschiedlicher Kombination an Schichtsteifigkeiten und -dicken dieselbe Deflektionsmulden hervorgehen kann und das Berechnungsprogramm nur eine der möglichen Lösungen ausgibt. Dem kann durch die Eingrenzung der E-Module durch den Anwender vorgebeugt werden.

3.8.5 Umrechnung der Schichtsteifigkeiten auf Bezugstemperatur

Hierfür wurde von CROW [12] eine Methodologie entwickelt, nach der die Umrechnung auf der Basis eines Temperatur-Frequenzäquivalentgesetzes durchgeführt werden kann.

Die Kenntnis einer Temperatur-Steifigkeitsbeziehung der untersuchten Asphaltsschicht bei einer bekannten Frequenz ist hierfür erforderlich. Diese kann bereits vorliegen oder anhand von Steifigkeitsversuchen an aus der Mess-Strecke entnommenen Bohrkernen im Labor ermittelt werden (siehe 3.8.6).

Die Umrechnung des E-Moduls auf die Bezugstemperatur von 20°C hat kann, wie im Folgenden beschrieben, erfolgen:

- Berechnung der „Ablesetemperatur“ nach folgender Formel

$$T_s = \frac{C_s}{\left(\frac{C_s}{T_{\text{test}} + 273}\right) - \log\left(\frac{f_{\text{mix}}}{f}\right)} - 273$$

Gleichung 8

T_S	... Ablesetemperatur [°C]
T_{test}	... Asphalttemperatur während der FWD-Messung [°C]
C_S	... Konstante 11.242 [K]
f_{mix}	... Frequenz auf welcher die Temperatur-Steifigkeitsbeziehung basiert
f	... Belastungsfrequenz des FWDs

- mit $T_{S,1}$ kann aus dem Temperatur-Steifigkeitsdiagramm die zugehörige Asphaltsteifigkeit abgelesen werden. Diese wird im weiteren als $S_{\text{MIX},T}$ bezeichnet
- Erneutes Berechnen der Ablesetemperatur jedoch mit $T_{\text{Test}} = 20^\circ\text{C}$ (= Bezugstemperatur)
- mit $T_{S,2}$ kann aus dem Temperatur-Steifigkeitsdiagramm die zugehörige Asphaltsteifigkeit abgelesen werden. Diese wird im weiteren als $S_{\text{MIX},R}$ bezeichnet
- Der Temperaturkorrekturfaktor ergibt sich zu $S_{\text{MIX},R} / S_{\text{MIX},T}$
- Man erhält den auf die Bezugstemperatur umgerechnete Steifigkeitswert E_R durch Multiplikation des durch die Rückrechnung erhaltenen Steifigkeitswert E_T mit dem Temperaturkorrekturfaktor

$$E_R = E_T * S_{\text{MIX},R} / S_{\text{MIX},T}$$

Gleichung 9

Beispiel: Berechnung des Temperaturkorrekturfaktors für ein Deckschichtmaterial

Die Steifigkeits-Temperaturbeziehung wurde im Labor des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung, anhand von dynamischen Steifigkeitsversuchen mit dem Vierpunkt-Biegebalken, bei einer Prüffrequenz von 8 Hz ermittelt. Bei dem untersuchten Mischgut handelt es sich um ein Deckschichtmaterial - SMA 11 - PmB45/80-65 – Diabas. Die erhaltene Steifigkeits-Temperaturbeziehung ist in Abbildung 31 dargestellt.

Folgende Eingangsparameter wurden für die Umrechnung der Schichtsteifigkeiten herangezogen:

$$T_{\text{test}} = 25^\circ\text{C}$$

$$f_{\text{mix}} = 8 \text{ Hz}$$

$$f = 20 \text{ Hz}$$

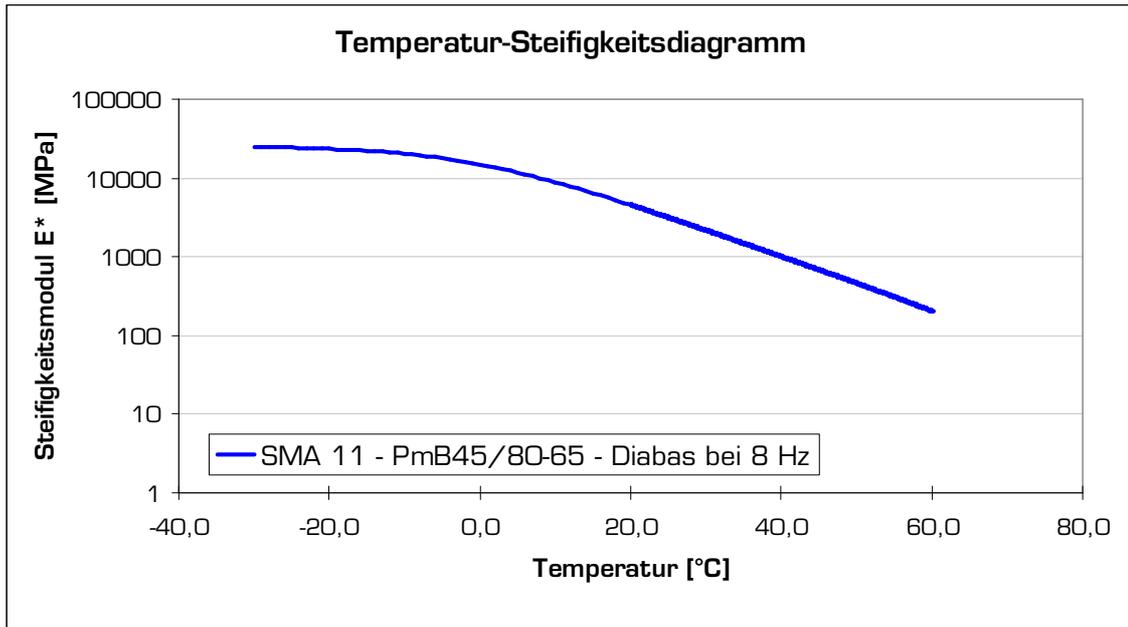


Abbildung 31: Temperatur-Steifigkeitsbeziehung eines SMA11-PmB45/80-65-Diabas ermittelt mit dem 4PBB

Im ersten Schritt wird mit $T_{\text{Test}} = 25^\circ\text{C}$ anhand von Gleichung 8 die Ablesetemperatur berechnet $T_{s,1}$:

$$T_{s,1} = \frac{11.242}{\left(\frac{11.242}{25 + 273}\right) - \log\left(\frac{8}{20}\right)} - 273 = 21,9^\circ\text{C}$$

Mit der errechneten Ablesetemperatur $T_{s,1}$ wird nun aus dem Temperatur-Steifigkeitsdiagramm (siehe Abbildung 32) die zugehörige Asphaltsteifigkeit $S_{\text{MIX},T}$ abgelesen.

Anschließend wird mit $T_{\text{Test}} = 20^\circ\text{C}$ die Ablesetemperatur $T_{s,2}$ berechnet:

$$T_{s,2} = \frac{11.242}{\left(\frac{11.242}{20 + 273}\right) - \log\left(\frac{8}{20}\right)} - 273 = 17,0^\circ\text{C}$$

Mit der errechneten Ablesetemperatur $T_{s,2}$ wird nun aus dem Temperatur-Steifigkeitsdiagramm (siehe Abbildung 32) die zugehörige Asphaltsteifigkeit $S_{\text{MIX},T}$ abgelesen.

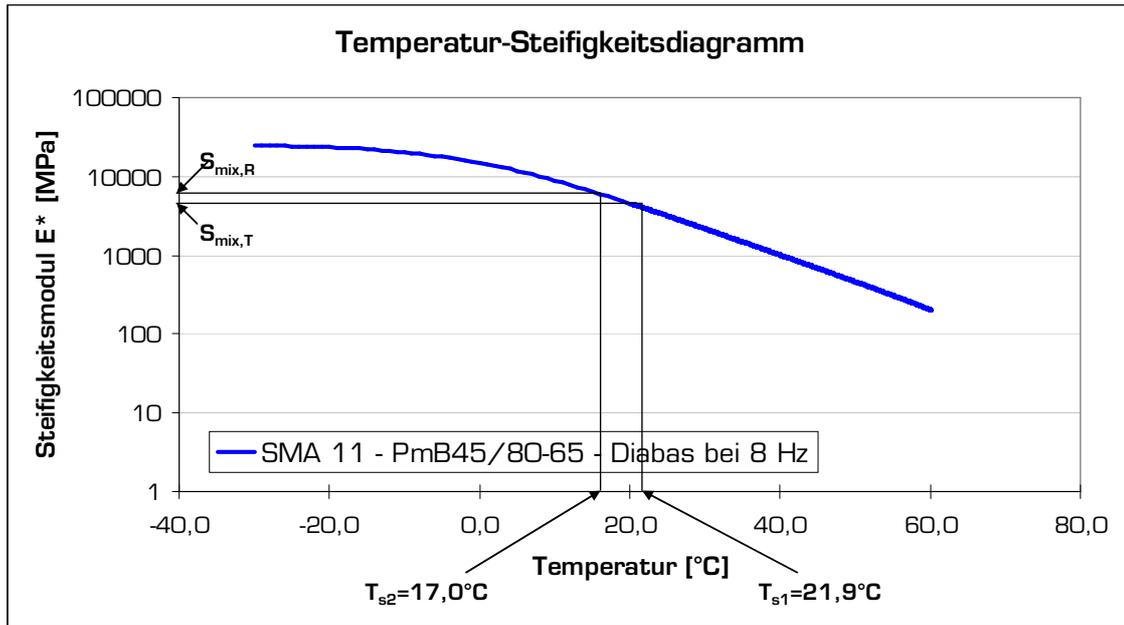


Abbildung 32: Ermittlung von $S_{MIX,R}$ und $S_{MIX,T}$ mit den Ablesetemperaturen $T_{S,1}$ und $T_{S,2}$

Durch Multiplikation der rückgerechneten Asphaltstichtsteifigkeit mit dem so erhaltenen Temperaturkorrekturfaktor $S_{MIX,R} / S_{MIX,T}$ erhält man die auf die Bezugstemperatur umgerechnete Schichtsteifigkeit E_R .

3.8.6 Bestimmung der Asphaltsteifigkeiten mit dem Nottingham Asphalt Tester (NAT) zur verbesserten Auswertung von FWD-Messungen

Im Rahmen einer Messkampagne auf einer Teststrecke wurden im Zuge der Tragfähigkeitsbeurteilung eine Anzahl an Bohrkernen gezogen, an welchen anschließend im Labor des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung Steifigkeitsversuche mittels Nottingham Asphalt Tester durchgeführt wurden.

Versuchsbeschreibung

Die Bestimmung der Steifigkeitsmodule erfolgt mittels Spaltzugversuch gemäß EN12697-26 Anhang C bei Versuchstemperaturen von 5°C , 10°C und 20°C und einer Frequenz von 8 Hz.

Der Spaltzugversuch mittels des Nottingham Asphalt Tester (NAT) ist eine indirekte Zugprüfung zur raschen und zerstörungsfreien Bestimmung oder Überprüfung des Steifigkeitsmoduls (E-Modul).

Der Probekörper wird, nachdem er auf Versuchstemperatur gebracht wurde, für den Versuch in den NAT eingebaut. Über einen Lastverteilungstreifen wird er während der Prüfung mit einer halbsinusförmigen Linienlast beansprucht.

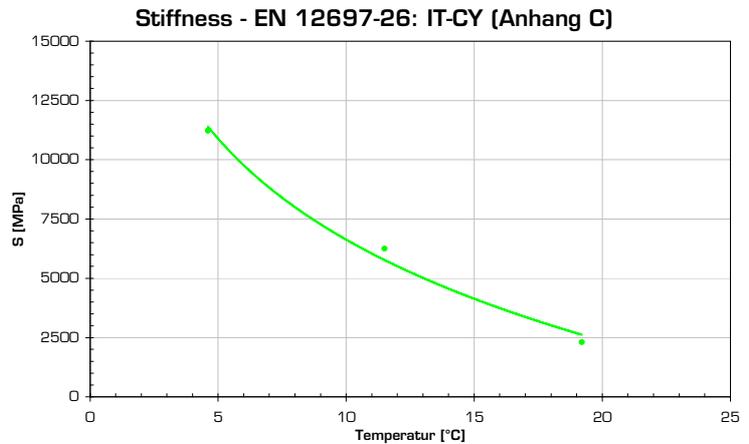
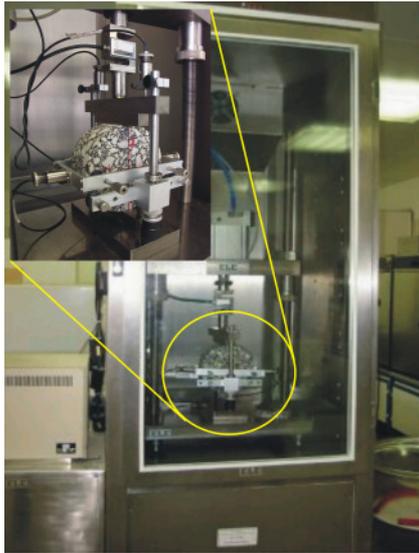


Abbildung 33: Nottingham Asphalt Tester (NAT), ermittelter Steifigkeitsmodul in Abhängigkeit von der Temperatur

Mit Hilfe von insgesamt vier LVDTs (2 horizontale und 2 vertikale) wird die Quer- und Längsdehnung des Probekörpers aufgezeichnet.

Es werden nach dem Aufbringen von 5 Vorbelastungs-Lastimpulsen und der anschließenden Nachjustierung der LVDTs 5 Lastimpulse auf den Probekörper aufgebracht.

Aus jedem Lastimpuls wird mittels der Gleichung 3 der Steifigkeitsmodul berechnet.

$$S_m = \frac{F * (v + 0,27)}{z * h} \quad \text{Gleichung 10}$$

- S_m ... gemessene Steifigkeitsmodul [MPa]
- F ... Spitzenwert der vertikalen Last [N]
- z ... Amplitude der erreichten horizontalen Verformung [mm]
- h ... mittlere Dicke des Probekörpers [mm]
- v ... Poisson'sche Zahl [-]

Die Umrechnung der aus den gemessenen Deflektionen rückgerechneten Steifigkeitsmodule über das in Kapitel 3.8.5 erläuterte Temperatur-Frequenzäquivalenzgesetz war jedoch nicht möglich bzw. ergab keine plausiblen Ergebnisse.

Dies wurde auch im Rahmen der Begleitenden Forschung zur Einführung des Falling Weight Deflektometers (FWD) in der Bundesrepublik Deutschland [4] festgestellt.

3.8.7 Graphische Darstellung der rückgerechneten Schichtsteifigkeiten

Die Darstellung der Rückgerechneten E-Module kann in Form von Streckenbändern erfolgen (siehe Abbildung 34)

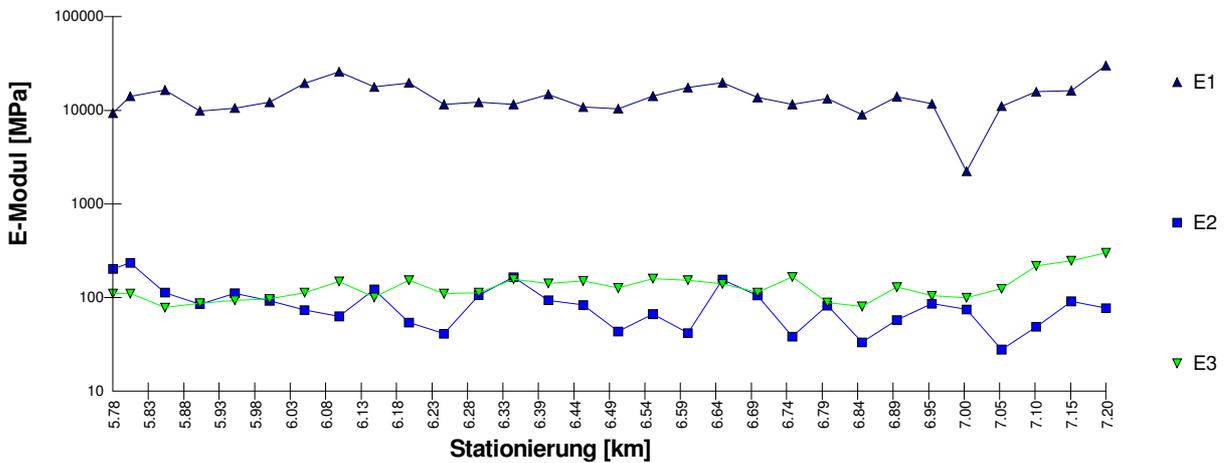


Abbildung 34: Darstellung der E-Module als Streckenband

Falls jedoch FWD-Messungen in mehreren Mess-Spuren durchgeführt wurden bietet sich die Darstellung der Steifigkeiten der unterschiedlichen Schichten in Form von Flächenplots wie z.B. in Abbildung 35 dargestellt.

E-Modul BTD 16

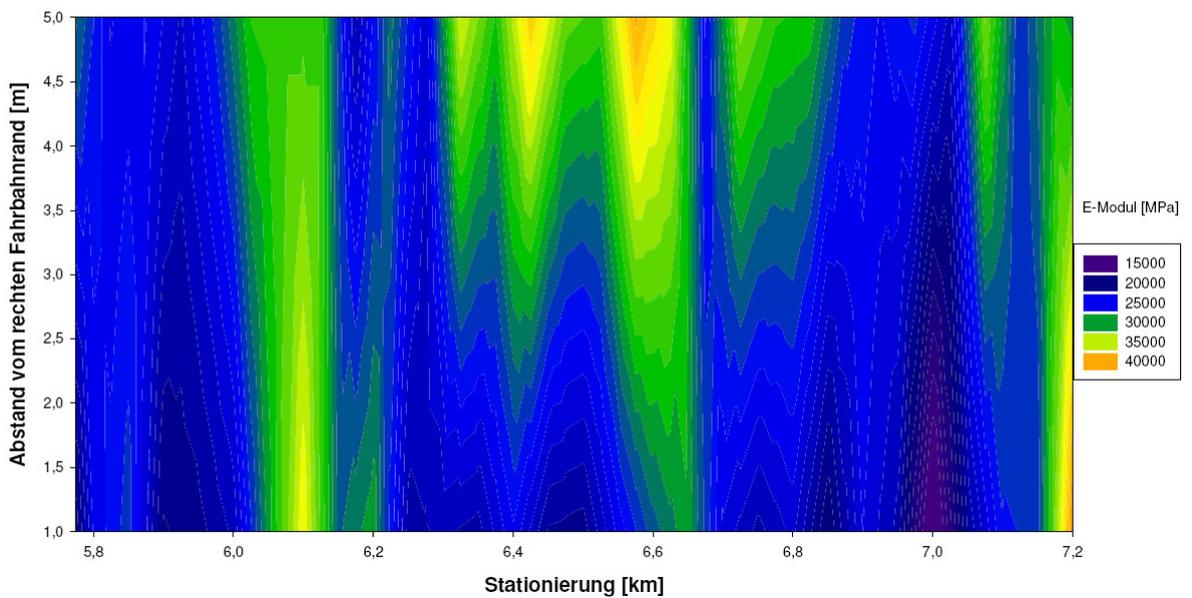


Abbildung 35: Darstellung der E-Module als Flächenplot

3.9 Bemessung von Oberbauverstärkungen auf der Basis von FWD-Messungen

Die Lebensdauer einer Straßenkonstruktion wird von den kritischen Spannungen und Dehnungen beeinflusst, die in ihr durch die rollenden Radlasten hervorgerufen werden. Je nach Materialeigenschaften und Schichtdicken werden unterschiedliche Parameter als kritisch betrachtet.

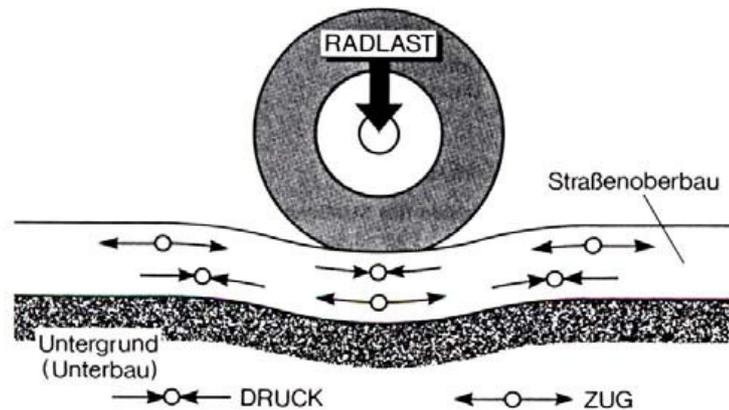


Abbildung 36: Spannungen und Dehnungen einer Straßenkonstruktion

Mit Hilfe der ermittelten Spannungen kann durch deren Verknüpfung mit vorhandenen Verkehrsbelastungsdaten sowie geeigneten Ermüdungsfunktionen die Restlebensdauer der Straßenkonstruktion abgeschätzt werden.

In Abhängigkeit von der abgeschätzten Restlebensdauer können nun in einem weiteren Schritt Verstärkungsmaßnahmen für den Oberbau festgelegt werden.

3.9.1 Bestimmung der kritischen Spannungen und Dehnungen aus den rückgerechneten Schichtsteifigkeiten

Für die Bestimmung der Spannungen und Dehnungen an den kritischen Stellen der Straßenkonstruktion muss dasselbe Oberbaumodell (z.B. linear-elastisch) wie für die vorangegangene Rückrechnung der Steifigkeitsmodule verwendet werden.

Die Berechnung erfolgt im Normalfall mittels Linear-elastischer-Mehrschichtenprogramme (wie z.B. BISAR, LEAP, ...).

Die Eingabeparameter sind dabei die Dicken der verschiedenen Schichten, deren rückgerechnete Steifigkeitsmodule, sowie die Poisson'sche Zahl des jeweiligen Schichtmaterials.

3.9.2 Bestimmung der kritischen Spannungen und Dehnungen direkt aus den gemessenen Deflektionen

Liegen keine rückgerechneten Schichtsteifigkeiten vor oder ist es nicht möglich aus den gemessenen Deflektionen plausible Schichtsteifigkeiten rückzurechnen, besteht die Möglichkeit die kritischen Spannungen und Dehnungen auch direkt aus der gemessenen Deflektionsmulde aufgrund von Regressionsgleichungen zu bestimmen.

Eine korrekte Rückrechnung kann zum Beispiel nicht möglich sein wenn ungleichmäßige Schichtdicken vorliegen, aber auch wenn es sich um abwechselnd „steife“ und „weiche“ Schichten im Aufbau handelt.

Bei einigen Auswertungsprogrammen wie auch dem Elmod5 ist eine Bedingung für die korrekte Rückrechnung, dass der E-Modul der unterschiedlichen Schichten mit der Tiefe abnimmt was bei zementstabilisierten Tragschichten zum Teil nicht zutreffen kann.

Die Methoden für die direkte Ermittlung der kritischen Spannungen und Dehnungen aus den Deflektionsmulden können dabei auf folgenden Möglichkeiten basieren [1]:

- Modelle für neurale Netze
- Regressionsgleichungen
- andere Methoden, bei denen die gemessenen Deflektionsmulden mit den Werten für die kritischen Parameter kombiniert werden

Für die Berechnung der kritischen Spannungen und Dehnungen direkt aus den Deflektionsmulden ist, wie bereits in vorangegangenen Kapiteln erwähnt das vorherige Umrechnen auf Standardbedingungen (Standardlast und -temperatur) erforderlich.

4. TRAGFÄHIGKEITSBEWERTUNG VON BETONDECKEN

4.1 Einleitung

Die Bewertung von starren Oberbauten ist wesentlich komplexer als die flexibler Konstruktionen. Der Grund hierfür liegt in den endlichen Plattenabmessungen, den Fugen zwischen den Platten und der variablen Lastübertragung in den Fugen.

Zusätzlich zu den bereits vorgestellten Möglichkeiten können FWD-Messungen auf Betonfahrbahnen herangezogen werden um:

- die Lastübertragung im Bereich der Fugen zu überprüfen
- Hohlräume unterhalb der Betonplatte zu erkennen
- die vorhandenen Bettungsverhältnisse zu untersuchen

Im Folgenden werden zwei Bewertungsverfahren zur Beurteilung des Tragverhalten und der Bettungsverhältnisse von Betonfahrbahnen erläutert.

4.2 Erforderliche Daten Für die Vorbereitung der FWD-Messung

Siehe Kapitel 3.2

4.3 Festlegung der Messpunkte

Eine Besonderheit bei Messungen an Betonfahrbahnen ist die Beachtung unterschiedlicher Lastfälle auf die im folgenden Kapitel näher eingegangen wird.

4.3.1 Wahl des Fahrstreifens

Siehe Kapitel 3.3.1

4.3.2 Wahl der Längslinie

Die Mess-Spur sollte dabei analog zu der Messung auf Asphaltfahrbahnen entweder in der rechten oder in der linken Radspur verlaufen bzw. um Auskunft über die ursprüngliche Straßenkonstruktion zu erhalten in Fahrstreifenmitte (siehe Kapitel 3.3.2)

4.3.3 Unterscheidung der Lastfälle

Bei der Tragfähigkeitsmessung auf Betondecken gibt es im Unterschied zu der auf Asphaltdecken die Unterteilung in unterschiedliche Lastfälle.

Dies resultiert daraus, dass die Abmessungen von Betonfahrbahnen, im Gegensatz zu Fahrbahnen aus Asphalt, in Längsrichtung nicht als unendlich gesehen werden können sondern von der vorhandenen Plattengeometrie abhängig sind.

Die maßgeblichen Lastfälle unterscheidet man in:

- Plattenmitte
- Plattenrand
- Plattenecke

Wobei im Folgenden nur mehr auf die ersten beiden Lastfälle (Mitte und Rand) eingegangen wird da diese dem maßgebenden Lastfall bzw. der Regelbelastung entsprechen.

4.3.4 Anzahl und Abstand der Messpunkte

Die Anzahl und der Abstand der Messpunkte auf Betonfahrbahnen sind von den Abmessungen der einzelnen Fahrbahnplatten abhängig.

Ein Beispiel für die Anordnung der Lastplatte für die Lastfälle Plattenrand und Plattenmitte ist in Abbildung 37 dargestellt.

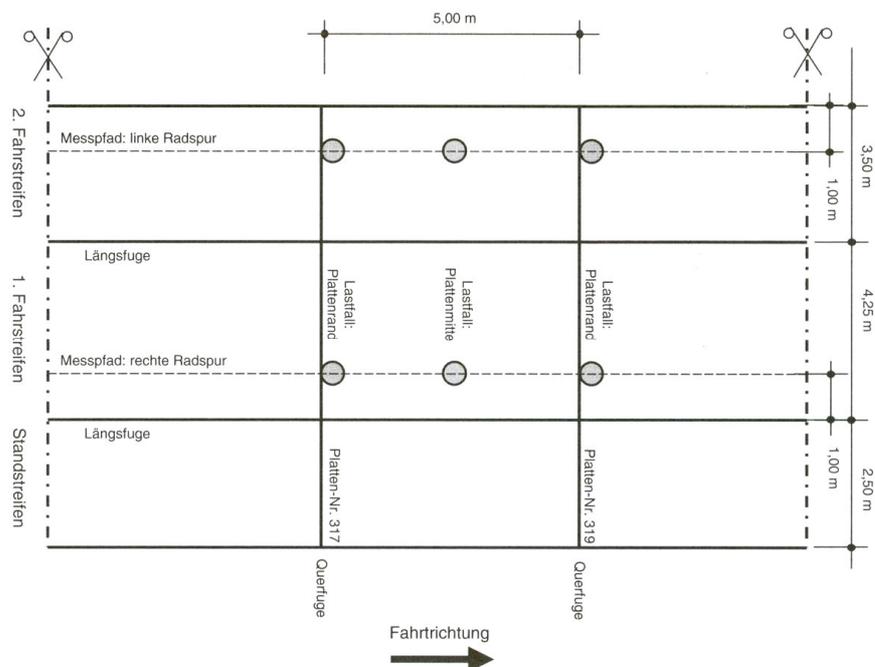


Abbildung 37: Positionierung der Lastplatte für die Lastfälle Plattenrand und Plattenmitte [2]

4.3.5 Anordnung der Geophone

Die Anordnung der Geophone für FWD-Messungen auf Betonfahrbahnen unterscheidet sich von jener für Asphaltkonstruktionen.

Um für den Lastfall Plattenrand die Deflektion beider an die Fuge angrenzenden Fahrbahnplatten erfassen zu können, ist die Anordnung von zusätzlichen Geophonen erforderlich.

Für den Lastfall Plattenmitte werden die zusätzlichen Geophone in der Auswertung nicht berücksichtigt.

In der Messpraxis hat sich eine Anordnung der Geophone, wie sie in Abbildung 38 dargestellt ist, bewährt.

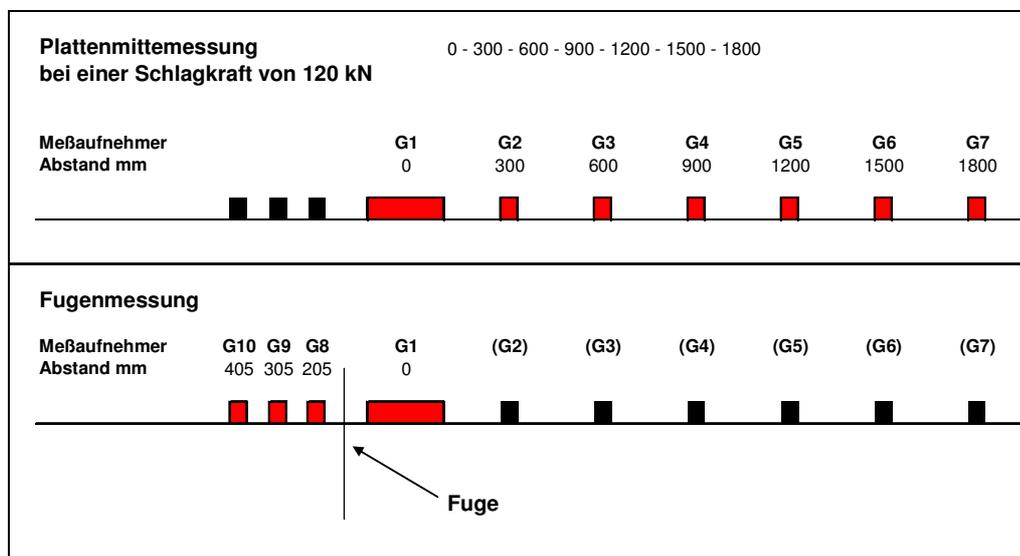


Abbildung 38: Anordnung der Geophone für die Messung „Lastfall Plattenrand“ und „Lastfall Plattenmitte“

4.4 Bewertung des Tragverhaltens nach Großmann

Auf Basis umfangreicher FWD-Messungen auf Betonfahrbahnen unterschiedlichen Aufbaus und Alters wurden von Großmann [2] verhaltensbeschreibende Funktionen in Abhängigkeit von der Liegezeit sowie der Verkehrsbeanspruchung abgeleitet und mit Bewertungskriterien in Bewertungs-Zeit- bzw. Bewertungs-Beanspruchungs-Diagrammen verknüpft.

Als Bewertungskriterien wurden von ihm die Standardabweichung der maximalen Deflektion an der Querfuge s_{D1} sowie die Standardabweichung der relativen vertikalen Fugenbewegung s_{rF} eines gleichartigen 100 Meter langen Abschnitts gewählt.

Die erstellten Diagramme ermöglichen einerseits eine Bewertung des Tragverhaltens und der Querkraftübertragung von gleichartigen 100 Meter Abschnitten andererseits über die Definition von Zustandswerten das Abschätzen von Eingreifzeitpunkten, was für eine systematische Erhaltungsplanung von erheblichem Nutzen ist [2].

4.4.1 Tragfähigkeitsmessung mit dem Benkelman-Balken

Für Tragfähigkeitsmessungen an Betonfahrbahnen hat es sich bewährt, den Standard-Benkelman-Balken und das Messverfahren zu modifizieren.

Einerseits wird dabei der Tastarm verlängert, um den Einfluss der Setzungsmulde zu reduzieren, andererseits wird mit zusätzlichem induktivem Wegaufnehmer die relative vertikale Fugenbewegung bestimmt.

Weiters werden im Fugenbereich für die Überfahrt die Einflusslinien der Kenngrößen Setzung und Fugenbewegung ermittelt.

Als Kennwerte bzw. Indikatoren werden aus den gemäß Abbildung 39 aufgezeichneten Messgrößen die Einsenkung $z1b$ [mm], die relative vertikale Fugenbewegung F [mm] und der Wirksamkeitsindex W [%] nach im Folgenden angegebenen Gleichungen ermittelt [2].

$$F = \Delta z1 + \Delta z2 \quad [\text{mm}] \quad \text{Gleichung 11}$$

$$W = \frac{200 * z2u}{z2u + z1b} \quad [\%] \quad \text{Gleichung 12}$$

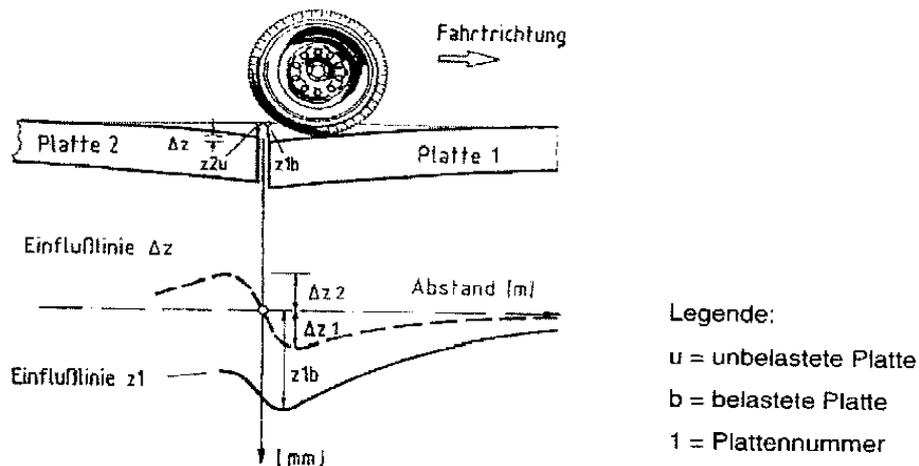


Abbildung 39: Einflusslinie der relativen vertikalen Fugenbewegung Δz und der Einsenkung des Fugenrandes $z1$ [10]

4.4.2 Verfahren für die Messanordnung zur Erfassung des Lastfalls „Plattenrand“

Für die Anordnung der Geophone stehen für den Lastfall Plattenrand zwei Verfahren (A und B) zur Auswahl. In beiden Varianten wird die Lastplatte nach der Querfuge in Fahrtrichtung positioniert, die Anordnung der Geophone erfolgt jedoch leicht unterschiedlich (siehe Abbildung 40) [2].

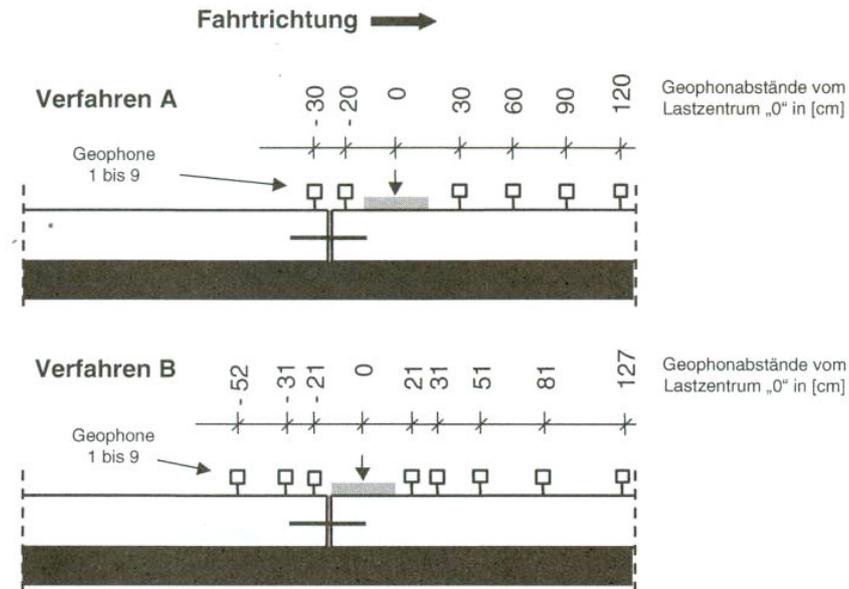


Abbildung 40: Anordnung der Geophone nach Verfahren A und B zu Erfassung des Lastfalls Plattenrand [2]

Der Grund für die Anordnung der Lasteinleitung (= Position der Lastplatte) in Fahrtrichtung hinter der Querfuge ist, dass in diesem Bereich die Schädigung einer Betondecke am meisten ausgeprägt ist (siehe Abbildung 41).

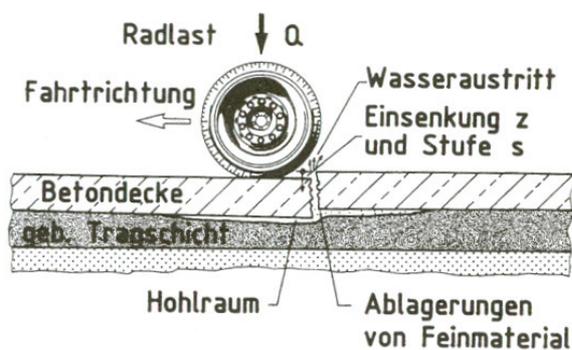


Abbildung 41: Erosion unter einer nicht verdübelten Platte bzw. unter einem Riss [20]

Von den beiden vorgestellten Verfahren A und B hat sich aus folgenden Überlegungen das Verfahren B als das geeignete ausgezeichnet [2]:

- Es entspricht dem kritischen wie auch theoretischen Lastfall Plattenrand.
- Gegenüber dem Verfahren A werden tendenziell größere Deflektionen ermittelt.
- Um Hohlstellen im Querschnittsbereich frühzeitig zu erkennen bzw. um die Wirksamkeit von Injektionen überprüfen zu können, ist das Positionieren der Lastplatte unmittelbar an der Querschnittsfuge erforderlich.
- Theoretische Ansätze für Betonfahrbahnen wie z.B. von WESTERGAARD bzw. EISENMANN entwickelt, sehen bei der Berechnung der Spannungen und Dehnungen eine Lasteinleitung unmittelbar im Fugenbereich vor. Durch das Anwenden von Verfahren B können die gemessenen Deflektionen mit berechneten Größenordnungen verglichen werden.
- Das Verfahren B entspricht weiters der Anordnung der Lasteinleitung bei Laborversuchen am Großprüfstand

Der Nachteil des Verfahren B ist jedoch, dass durch die Positionierung der Lastplatte kein Geophon direkt am Plattenrand der belasteten Platte angeordnet werden kann.

Die Ermittlung der Einsenkung unmittelbar am Plattenrand ist daher rechnerisch zu ermitteln. Die Vorgehensweise, wie dies durchzuführen ist, wird im nachfolgenden Kapitel 4.4.4 genau erläutert.

4.4.3 Kennwerte und Indikatoren

Als Indikator für die Tragfähigkeit der gesamten Konstruktion gilt die maximale Deflektion $D1$ [μm] im Querschnittsbereich.

Die Indikatoren für die Querkraftübertragung im Fugenbereich sind, analog zu den Betrachtungen am Benkelman-Balken, die vertikale Fugenbewegung F [μm] und der Wirksamkeitsindex W [%]. Diese errechnen sich nach den im Folgenden angegebenen Gleichungen [2].

$$F = FR_{,r} - FR_{,l} \quad [\mu\text{m}] \quad \text{Gleichung 13}$$

$$W = \frac{2 * FR_{,l}}{FR_{,l} + FR_{,r}} * 100 \quad [\%] \quad \text{Gleichung 14}$$

Die genaue Berechnung dieser Kennwerte wird im folgenden Kapitel erläutert.

4.4.4 Auswertung der Messdaten

Die Auswertung der Messergebnisse der FWD-Messung hat mit geeigneter Software (z.B. MS Excel) zu erfolgen.

Als erster Schritt müssen die gemessenen Deflektionen mittels linearer Extrapolation auf die Standardversuchslast von 50 kN umgerechnet werden. Hierzu werden die Deflektionen mit dem Faktor $P_{\text{soil}}/P_{\text{gemessen}}$ multipliziert.

Die Berechnung der vertikalen Fugenbewegung F und des Wirksamkeitsindex W erfolgt durch die Extrapolation der Biegelinie der belasteten und der unbelasteten Platte im Fugenbereich nach dem Regressionsansatz [2].

$$f(x) = Ae^{Bx}$$

Gleichung 15

Die Koeffizienten A und B können, gemäß dem in Abbildung 42 für eine Messung dargestellten Beispiel, für jede Fuge mathematisch ermittelt werden.

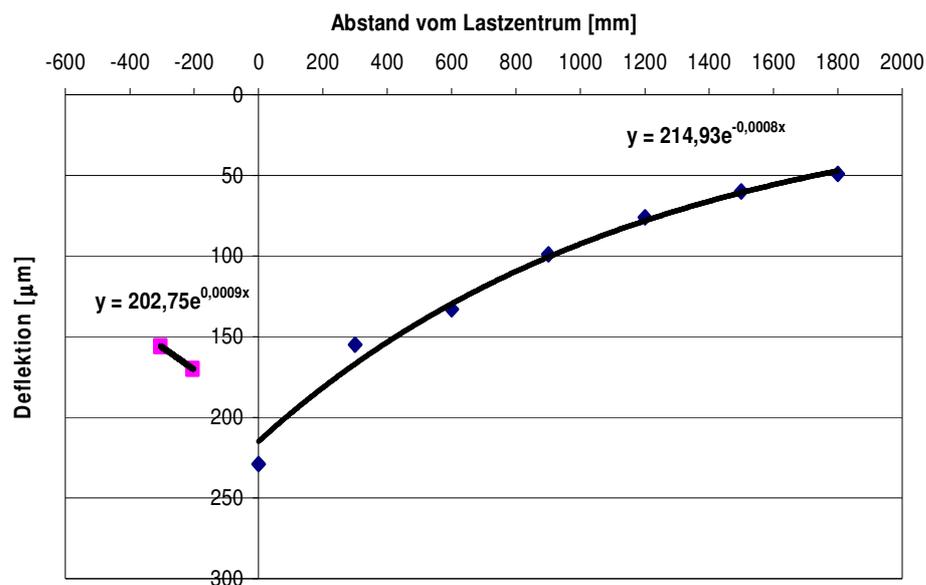


Abbildung 42: Ermittlung der Koeffizienten A und B nach Großmann [19]

Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass die Berechnung der Indikatoren für die Querkraftübertragung nicht auf festgelegten Geophonabständen basiert und somit den FWD-Betreibern die Anpassung an veränderte Randbedingungen bzw. Aufgabenstellungen möglich ist.

Die ermittelten Kennwerte $D1$, F und W können als nächster Schritt graphisch zum Beispiel in Form von Streckenbändern dargestellt werden (siehe Abbildung 43 und Abbildung 44).

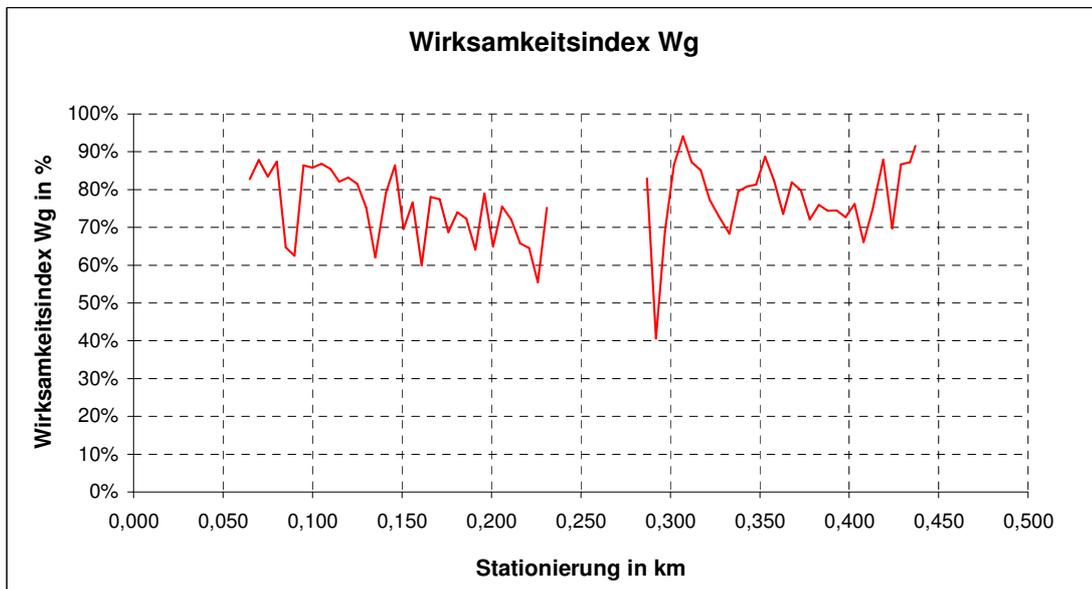


Abbildung 43: Beispiel für die Darstellung des Wirksamkeitsindex nach Großmann als Streckenband [19]

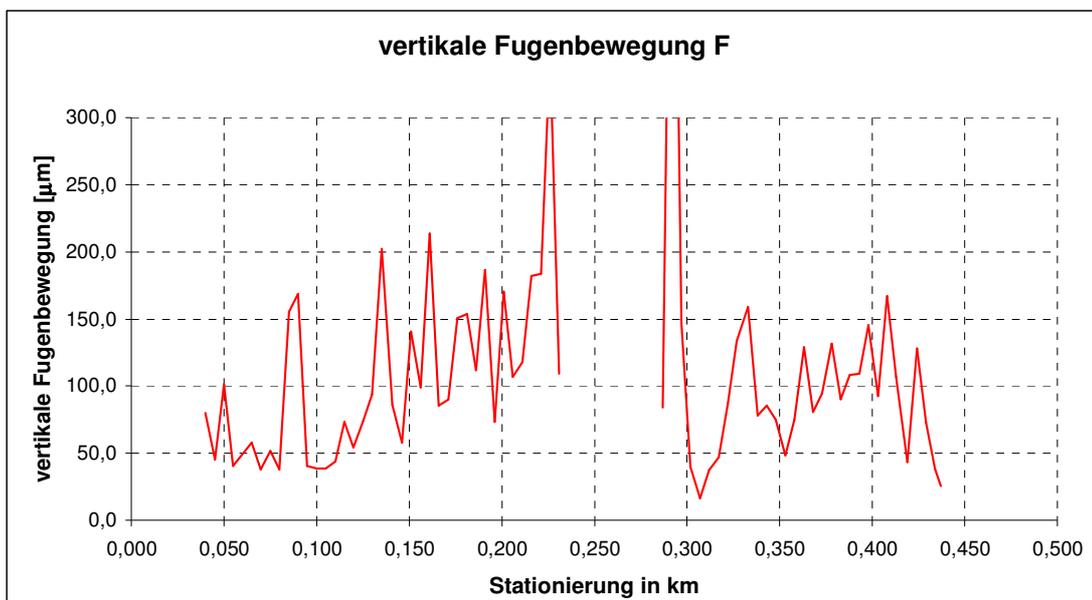


Abbildung 44: Beispiel für die Darstellung der vertikalen Fugenbewegung nach Großmann als Streckenband [19]

4.4.5 Kennwerte zur Beschreibung der Tragfähigkeit

Da die Reaktionen an den einzelnen Platten bzw. das Messwertniveau erheblich von der vorherrschenden Umgebungstemperatur sowie dem Temperaturgradienten abhängt können diese nicht als Kennwerte zur Bewertung der Tragfähigkeit herangezogen werden. Es sollte vielmehr die Größe der Streuung der Einzelwerte herangezogen werden, da diese innerhalb bestimmter Temperaturbereiche weitgehend temperaturunabhängig ist.

Somit steht ein Bewertungskriterium zur Verfügung, mit dessen Hilfe die weitere Entwicklung beschrieben werden kann.

Der Temperaturbereich, in dem die Streuung der Kennwerte D1 und F weitgehend temperaturunabhängig ist, wird im Folgenden definiert:

Umgebungstemperatur: +5°C bis +25°C

Linearer Temperaturgradient: $0 < \Delta T < 0,03 \text{ K/mm}$

Für die Bewertung der Tragfähigkeit eines homogenen Abschnitts dient die Standardabweichung der maximalen Deflektion D1 an der Querfuge (s_{D1}) als Indikator für die Tragfähigkeit der gesamten Konstruktion, sowie die Standardabweichung der relativen vertikalen Fugenbewegung F (s_{rF}) als Indikator für die Querkraftübertragung [2].

Statistische Kenngrößen

Das arithmetische Mittel \bar{x} einer Messreihe mit Stichprobenumfang n dient als statistische Kenngröße zur Beschreibung des Merkmalniveaus und wird nach Gleichung 16 ermittelt:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Gleichung 16}$$

Als die statistische Kenngröße für die Streuung einer Messreihe wird die Varianz s^2 nach Gleichung 17 ermittelt:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{Gleichung 17}$$

Die Standardabweichung der Messreihe ist die Wurzel aus der Varianz. Sie ist ein Maß für die Streuung der Messwerte x_i um den arithmetischen Mittelwert \bar{x} bzw. ein

Maß für das Abweichen der Messwerte untereinander und wird nach **Gleichung 18** ermittelt

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Gleichung 18}$$

4.4.6 Bildung homogener Abschnitte

Falls im Rahmen einer Mess-Strecke Abschnitte mit unterschiedlichen Merkmalen, wie z.B. Straßenaufbau, Liegezeit, Temperaturzustände, visuell aufgenommener Schadenszustände etc, vorliege ist für die Beurteilung der Tragfähigkeit die Bildung homogener Abschnitte erforderlich.

Die ist vor allem bei längeren Mess-Strecken und auf Netzebene von Bedeutung.

Die Parameter nach welchen die Messstrecke in homogene Abschnitte unterteilt werden kann wurden bereits in Kapitel 3.7.5 erwähnt.

4.4.7 Warn- und Schwellenwerte der Zustandsgrößen s_{D1} und s_{rF}

Als Ergebnis der umfangreichen Untersuchungen definierte Großmann entsprechend der Systematik der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) für die Zustandsgrößen s_{D1} und s_{rF} 1,5-, Warn- und Schwellenwerte.

Diese sind in folgender Abbildung mit der zugehörigen merkmalspezifischen Normierungsfunktion dargestellt.

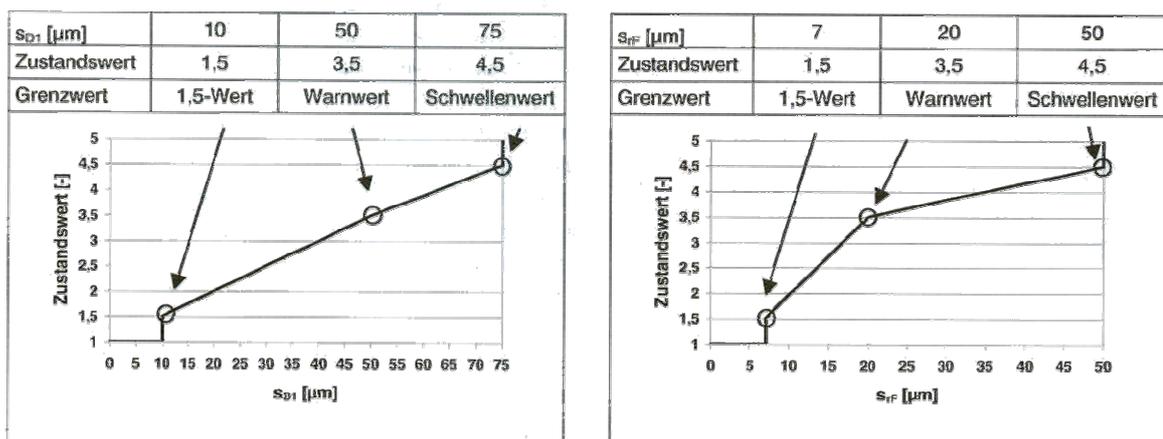


Abbildung 45: 1,5-Wert, Warn- und Schwellenwert für s_{D1} und s_{rF} [2]

4.4.8 Bewertung der Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Liegezeit (Bewertungs-Zeit Diagramm)

Die graphische Verknüpfung des 1,5-Wertes, sowie des Warn- und Schwellenwertes von s_{D1} und s_{rF} mit den durch Großmann abgeleiteten Verhaltensfunktionen für einen „guten“, „brauchbaren“ und „schlechten“ Verlauf, führte zu folgenden Bewertungs-Zeit-Diagrammen.

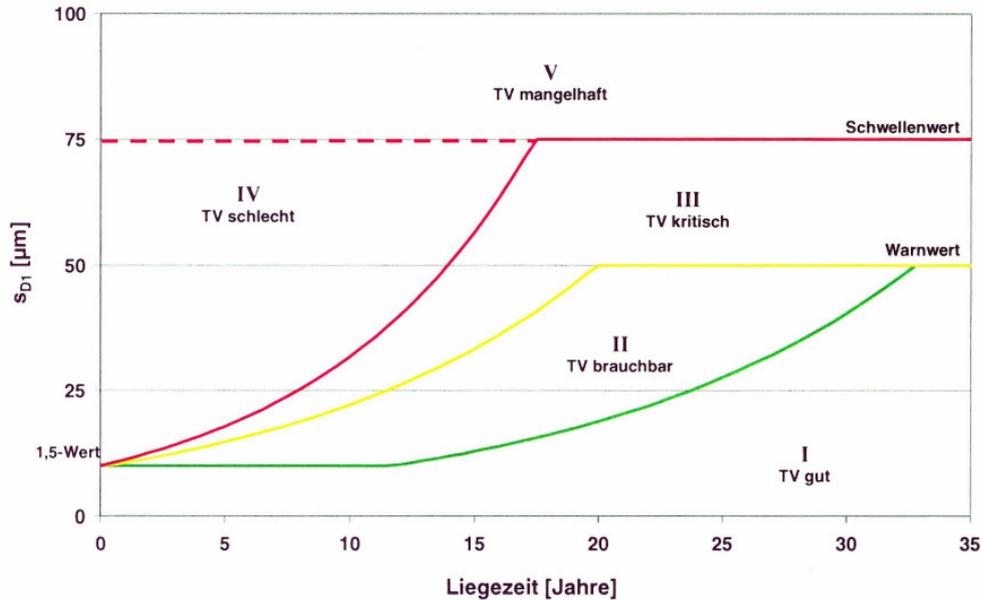


Abbildung 46: Bewertungs-Zeit-Diagramm für s_{D1} in Abhängigkeit von der Liegezeit [2]

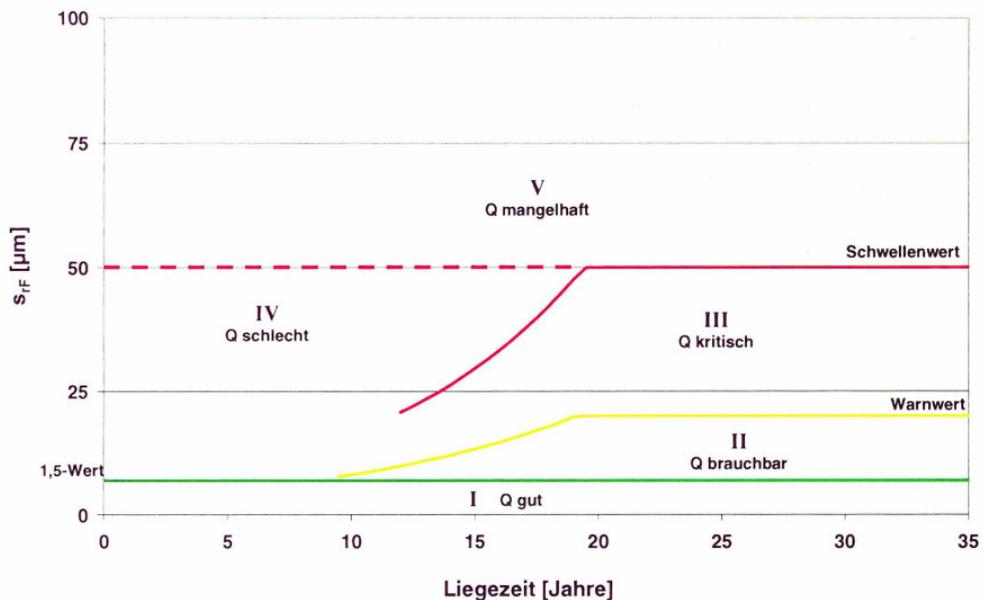


Abbildung 47: Bewertungs-Zeit-Diagramm für s_{rF} in Abhängigkeit von der Liegezeit [2]

In Abhängigkeit von der Liegezeit kann nun der untersuchte Streckenabschnitt, im Bezug auf das Tragverhalten sowie im Bezug auf die Querkraftübertragung in den Fugen, einer Verhaltensklasse zugeordnet werden.

Hiermit steht nun eine absolute Bewertungsmöglichkeit der jeweiligen Konstruktion bei bekannter Liegezeit zur Verfügung.

In folgender Tabelle sind Handlungshinweise für Bereiche unterschiedlichen Tragverhaltens (s_{D1}) und unterschiedlicher Querkraftübertragung (s_{rF}) vorgeschlagen.

Bereich	Tragverhalten/ Querkraftübertragung		Maßnahme
I	gut		keine
II	brauchbar		
III	kritisch	$s_{D1} \leq 50\mu\text{m}$ und/oder $s_{rF} \leq 20\mu\text{m}$	periodische Beobachtung der Strecke im Hinblick auf Zustandsverschlechterung
		$s_{D1} > 50\mu\text{m}$ und/oder $s_{rF} > 20\mu\text{m}$	intensive Beobachtung; ggf. Planung von geeigneten Maßnahmen
IV	schlecht		Schadensanalyse erforderlich; Planung von geeigneten Maßnahmen
V	mangelhaft		Prüfung im Hinblick auf bauliche oder verkehrsbeschränkende Maßnahmen

Tabelle 8: Handlungsweise für Bereiche unterschiedlichen Tragverhaltens [2]

4.4.9 Bewertung der Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Beanspruchung (Bewertungs-Beanspruchungs-Diagramm)

Bei der Entwicklung des Bewertungsdiagramms für s_{D1} und s_{rF} in Abhängigkeit der aufgenommenen Verkehrsbeanspruchung ($Q_{B,G}$) erfolgte nach denselben Grundsätzen wie die des Bewertungs-Zeit-Diagramms.

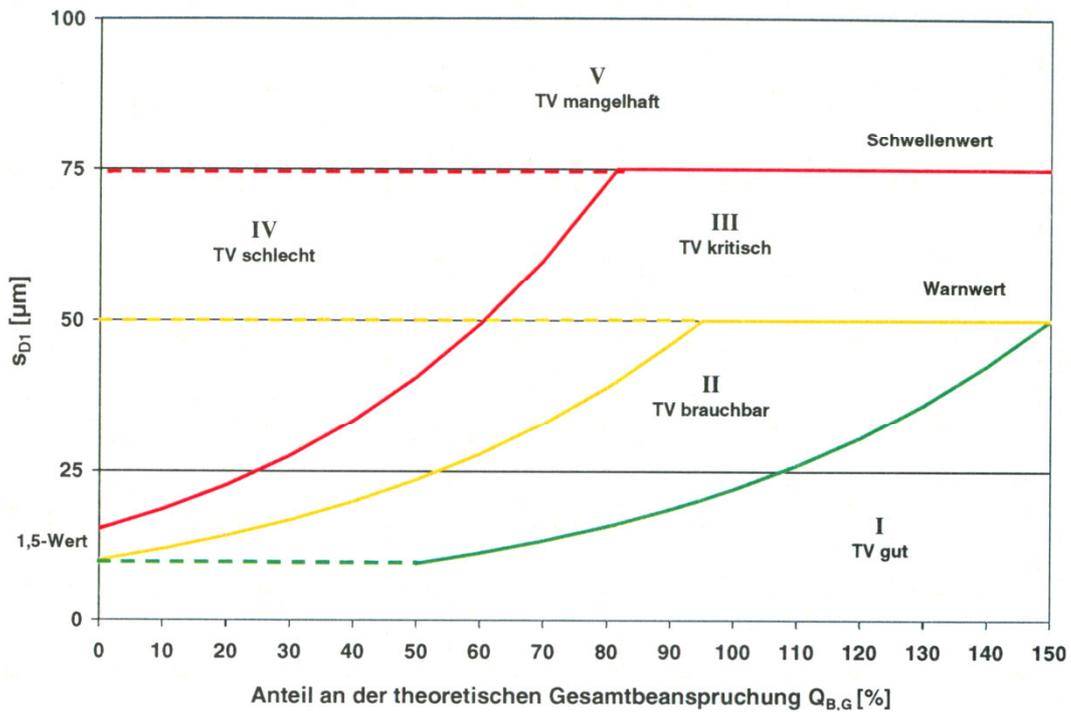


Abbildung 48: Bewertungs-Zeit-Diagramm für s_{D1} in Abhängigkeit von der Verkehrsbeanspruchung [2]

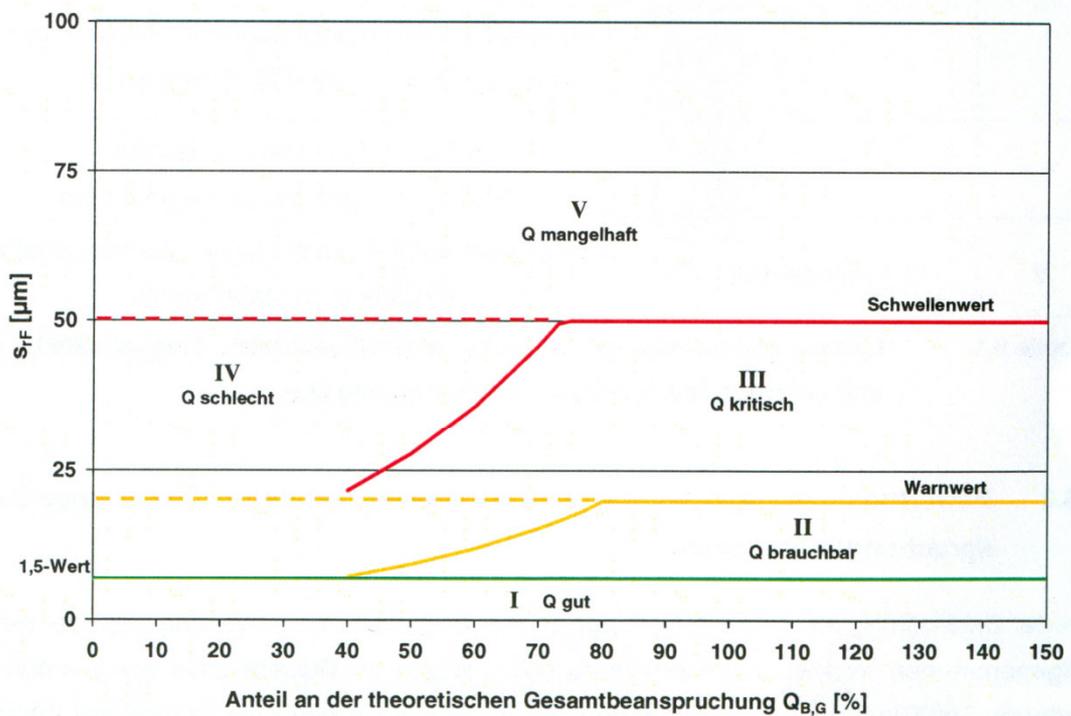


Abbildung 49: Bewertungs-Zeit-Diagramm für s_{rF} in Abhängigkeit von der Verkehrsbeanspruchung [2]

Die Handlungshinweise nach Tabelle 8: Handlungsweise für Bereiche unterschiedlichen Tragverhaltens [2] gelten entsprechend.

4.4.10 Prognostizierung des Tragverhaltens

Nach Zuordnung in eine Verhaltensklasse gemäß Kapitel 4.4.8 oder 4.4.9 lässt sich die Entwicklung des Zustandwertes für die Tragfähigkeit der Betondecke nach Abbildung 50 abschätzen

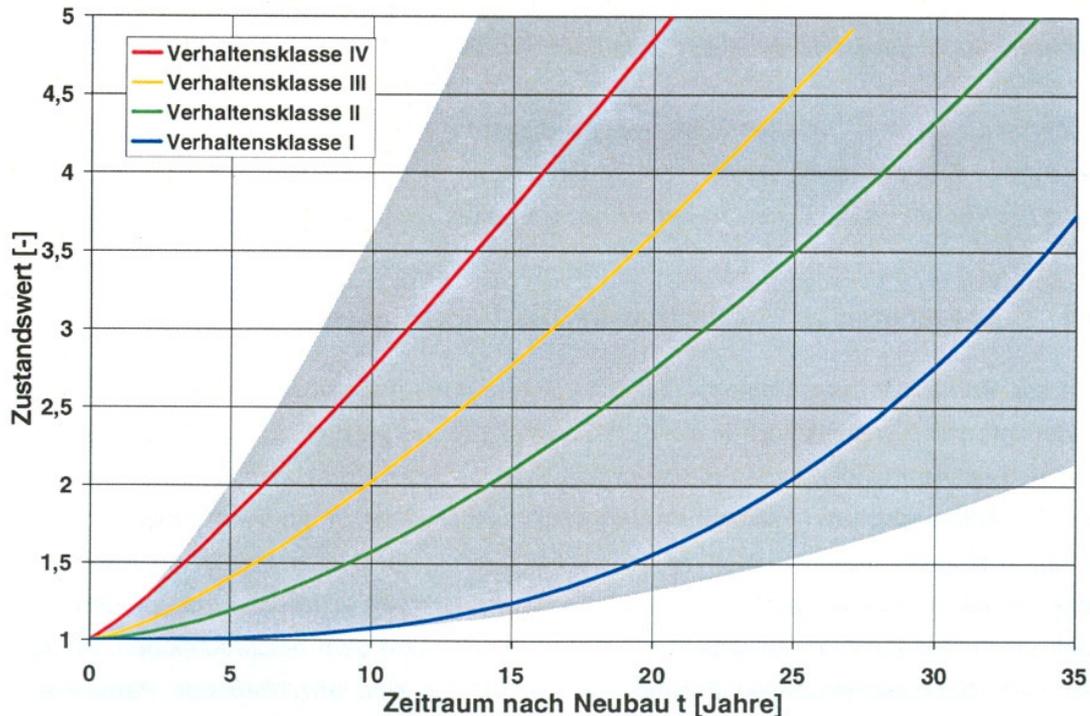


Abbildung 50: Prognose des Zustandwertes für das Tragverhalten [2]

4.5 Beurteilung der Bettungsverhältnisse im Querfugenbereich

Die Beurteilung der Bettungsverhältnisse im Fugenbereich erfolgt nach den in der Studie 1989/90 „Instandsetzung der A1 Westautobahn“ [11] erarbeiteten Algorithmen.

Als Indikator für das Bettungsverhältnis dient hierbei das Verhältnis der maximalen Deflektion am Plattenrand zu der in Plattenmitte (D_r/D_m) sowie der Lastaufnahmeindex L_b .

Der Lastaufnahmeindex L_b [%] gibt den Prozentsatz der auf der belasteten Platte verbleibenden Last an und errechnet sich aus dem Wirksamkeitsindex W [%], welcher

das Verhältnis der Deflektionen links (auf der unbelasteten Platte) und rechts (auf der belasteten Platte) von der Querfuge ausdrückt.

$$W = \frac{D_{\text{unbelastet}}}{D_{\text{belastet}}} * 100 \quad [\%] \quad \text{Gleichung 19}$$

$$L_b = \frac{1}{2 - [1,0155 * (1 - \frac{W}{100})]^{0,3756}} * 100 \quad [\%] \quad \text{Gleichung 20}$$

Der das Verhältnis der maximalen Deflektion am Plattenrand zu der in Plattenmitte (D_r/D_m) sowie der Wirksamkeitsindex W können anschließend graphisch in Form von Streckenbändern dargestellt werden.

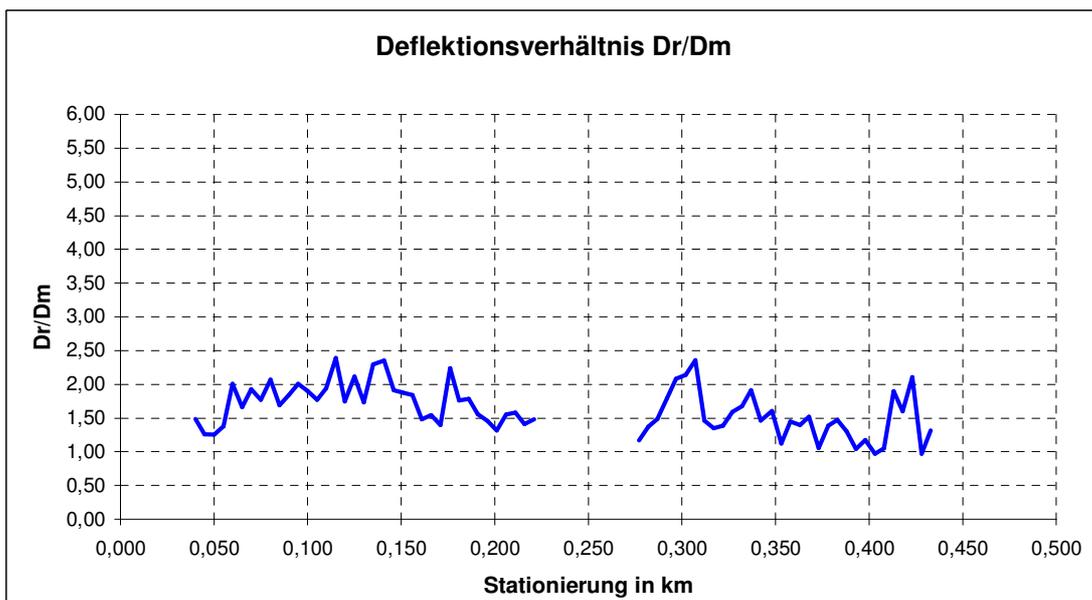


Abbildung 51: Verhältnis der maximalen Deflektion am Plattenrand zu der in Plattenmitte [19]

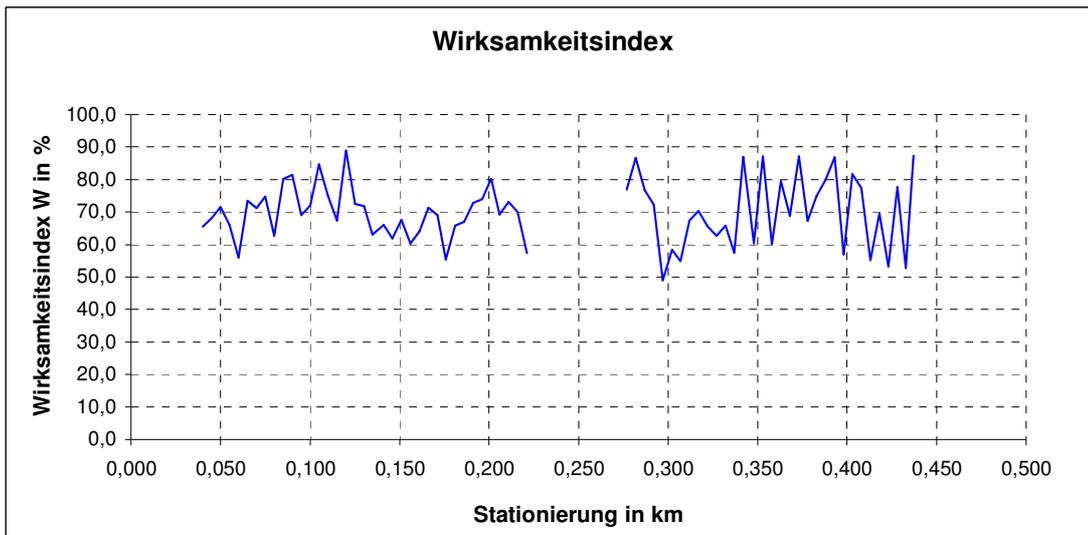


Abbildung 52: Wirksamkeitsindex [19]

Damit kann ausgehend von den gemessenen Deflektionen und dem errechneten Wirksamkeitsindex abgeschätzt werden, ob im Fugenbereich schlechtere Bettungsverhältnisse vorliegen, als in der Plattenmitte.

Dazu werden für jede untersuchte Fuge die Messwerte bzw. -ergebnisse D_r/D_m und L_b in ein Diagramm eingetragen.

Ein entsprechendes Beispiel zeigt Abbildung 53 der auf der A6 am Grenzübergang Kittsee durchgeführten Messungen an der 2. Fahrspur der RFB Bratislava.

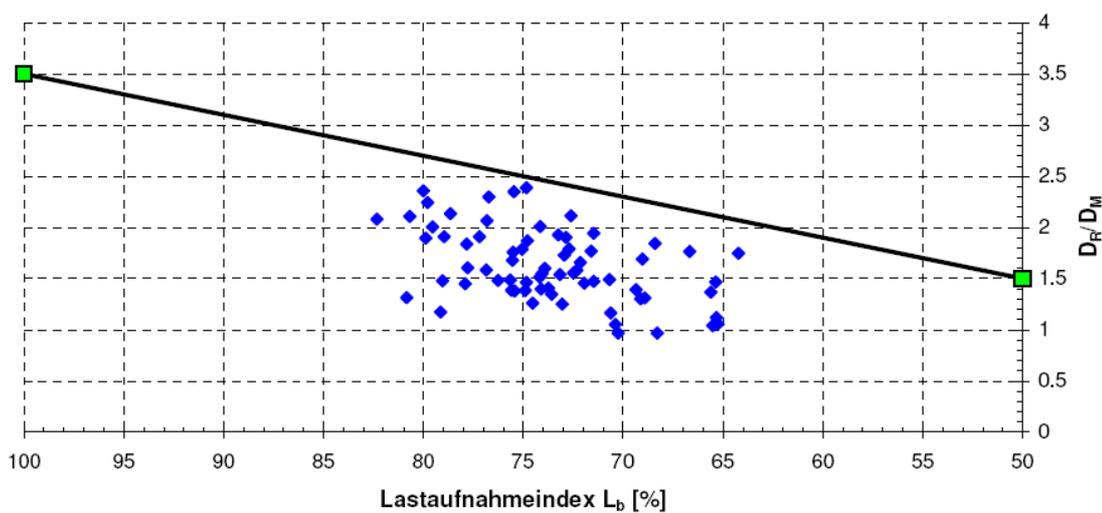


Abbildung 53: Errechneter Lastaufnahmeindex L_b im Verhältnis zu den gemessene Deflektionen D_r/D_m [19]

Liegen die so erhaltenen Punkte

- nahe der Grenzgerade, kann nach [11] von etwa gleichen Bettungsverhältnissen in Fugenbereich und Plattenmitte ausgegangen werden,
- oberhalb der Grenzgeraden, weist dies auf relativ schlechtere Bettungsverhältnisse im Fugenbereich hin,
- unterhalb der Grenzgeraden, so kann im Fugenbereich eine bessere Bettung als in Plattenmitte angenommen.

Diese auf theoretische Überlegung basierende Abschätzung gilt nur für qualitativ homogene, rissfreie Platten [11].

5. ZUSAMMENFASSUNG

Diese Diplomarbeit soll eine Grundlage für die zukünftige Durchführung und Auswertung von Messungen mit dem institutseigenen Falling Weight Deflektometer (FWD) Dynatest 8002, sowohl auf flexiblen (Asphalt), als auch auf starren (Beton) Oberbaukonstruktionen bilden.

Nach dem Vorstellen einiger weiterer für die Tragfähigkeitsmessung von Straßenkonstruktion zur Verfügung stehenden Messgeräten, wie z.B. den Deflektographen LACROIX und dem Benkelman-Balken, werden die Anforderungen und Spezifikationen des FWDs beschrieben.

Ein weiteres Kapitel widmet sich der Vorbereitung und Durchführung der FWD-Messung. Es werden Angaben über die für die Planung der Messung erforderlichen Daten der Messstrecke, die Festlegung der Messpunkte sowie die während der Messung zu erfassenden Parameter gemacht.

Im Rahmen der gegenständlichen Arbeit wurde, basierend auf in der Messpraxis gewonnenen Erkenntnissen, eine Arbeitsanweisung für die Durchführung von FWD-Messungen mit dem Dynatest 8002 erstellt. Es wurde weiters auch eine Arbeitsanweisung für die Kalibrierung der einzelnen FWD-Komponenten mit den zugehörigen Kalibrierprotokollen erarbeitet.

Für die Beurteilung der Tragfähigkeit von Asphaltkonstruktionen werden aus den gemessenen und auf eine Standardbelastung umgerechneten Deflektionen die Steifigkeitsmodule der unterschiedlichen Schichten rückgerechnet. Nach der Umrechnung auf Standardtemperatur, können aus den berechneten E-Modulen in weiteren Schritten die kritischen Parameter sowie, durch Verknüpfung mit der Verkehrsbelastung, die Restlebensdauer und eventuell erforderliche Maßnahmen zur Oberbauverstärkung ermittelt werden.

Als Beurteilungskriterium für die Tragfähigkeit von Betondecken dient die Standardabweichung der maximalen Deflektion an der Querfuge bzw. als Kriterium für die Querkraftübertragung in den Fugen die Standardabweichung der relativen vertikalen Fugenbewegung. Anhand dieser Parameter kann die Straßenkonstruktion, mit Hilfe von Großmann [2] erstellten Bewertungsdiagrammen, einer Verhaltensklasse zugeordnet und in Verknüpfung mit der Liegedauer bzw. der Verkehrsbelastung eine Prognose über das zukünftige Tragverhalten getroffen werden. Die Bettungsverhältnisse im Fugenbereich können weiters nach den in der Studie 1989/90 „Instandsetzung der A1 Westautobahn“ [11] erarbeiteten Algorithmen beurteilt werden.

Wesentliche Eingangswerte für die Bemessung von Oberbauverstärkungen sind neben den Schichtdicken die Steifigkeitsmodule der unterschiedlichen Schichten [21]. Durch eine Verknüpfung von Steifigkeitsversuchen im Labor mit Tragfähigkeitsmessungen mit dem FWD soll eine Basis für eine verbesserte Methodik für die Tragfähigkeitsbewertung und die Ermittlung von notwendigen Oberbauverstärkungen geschaffen werden, welche zukünftig auch in der dafür maßgeblichen RVS O3.O8.64 einfließen soll.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Fuchs M.: Fallgewichtsdeflektionsmessung zur Tragfähigkeitsbestimmung (Endbericht COST 336), Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Straßenforschung Heft 511, 2001.
- [2] Großmann A.: Bewertung des Tragverhaltens von Betonfahrbahnen basierend auf Messungen mit dem Falling Weight Deflectometer, 2003.
- [3] Dynatest: <http://www.dynatest.com>, 15.05.2008
- [4] Beckdahl H., Hürtgen H., Straube E.: Begleitende Forschung zur Einführung des Falling Weight Deflektometers (FWD) in der Bundesrepublik Deutschland, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bundesministerium für Verkehr, Heft 733, Bonn, 1996.
- [5] SACR Zürich AG, Ingenieurbüro und Labor für die Straßenerhaltung: <http://www.sacr.ch>, 24.05.2008
- [6] TPA, Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation: http://www.tpa-konferencia.hu/rendezveny/gyor/boros_deutsch.pdf, 23.05.2005
- [7] RVS 11.06.63, 1995, Grundlagen, Prüfverfahren, Feldprüfungen
- [8] JILS Foundation Mechanics, Inc: <http://www.jilsfwd.com/jils20t.html>, 23.05.2008
- [9] Augustin H, Fuchs. M: Deflektionsmessungen zur Oberbauverstärkung, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Straßenforschung Heft 370, 1989.
- [10] Eisenmann J.: Dünne, bituminöse Decken über Betondecken, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 665, Bundesministerium für Verkehr, Bonn, 1994.
- [11] BMWA, Studie zur Instandsetzung der A1 Westautobahn 1989/90, Projektgruppe Ao.Univ.Prof.Dr.J.Litzka – BVFA Arsenal – Nievelt-Labor, 1990
- [12] CROW, Deflection Profile-Not a pitfall anymore, Information and technology centre for transport and infrastructure, Record17, 1998.
- [13] SINTEF, The Foundation for Scientific and Industrial Research at the Norwegian Institute of Technology: <http://www.sintef.no>, 22.05.2008
- [14] BBN, Baustoff- und Bodenprüfung Nordharz GmbH, <http://www.baustoff-und-bodenpruefung.de>, 22.05.2008.
- [15] Van Gurp C.: Characterization of Seasonal Influences on Asphalt Pavements with the use of Falling Weight Deflectometers, 1995.

- [16] Stubstad R., Lukanen E., Richter C., Baltzer S.: Calculation of AC Layer temperatures from FWD field data, Proceedings Vol.II, Fifth International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim, Norway 6-8 July 1998.
- [17] Hothan J.: "Der Benkelmanbalken – Messverfahren oder Zufallsgenerator", Straße und Autobahn 8/93.
- [18] Blab R.: Studienblätter „Konstruktiver Straßenbau“, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, TU Wien, 2008.
- [19] Blab R.: Projektbericht Grenzübergang Kittsee, Tragfähigkeitsbewertung der bestehenden Betondecke, auf Grundlage von Tragfähigkeitsmessungen mit dem Fallgewichtsdeflektometer A6, 2007.
- [20] Eisenmann J., Birmann D.: Experimentelle Untersuchung des Abriebes und der Erosion von gebundenen Tragschichten unter Betondecken, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 725, Bundesministerium für Verkehr, Bonn, 1996.
- [21] RVS 03.08.64, 1992, Bautechnische Details, Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen
- [22] Fuchs M, Litzka J.: Langzeitverhalten von Straßenbefestigungen (COST-Aktion 324), Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Straßenforschung Heft 472, 1998.
- [23] ÖNORM B 3613: Polymermodifizierte Bitumen für den Straßenbau – Anforderungen – Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 14023, Österreichisches Normungsinstituts, Wien, 2007.
- [24] ÖNORM EN 12591: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Anforderungen an Straßenbaubitumen, Österreichisches Normungsinstituts, Wien, 2000.
- [25] Molzer C.: Modifikation der österreichischen Bemessungsmethode für Oberbauten mit bituminöser Befestigung, Mitteilungen 6, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, TU Wien, 1996.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Dynatest 8002 FWD Test System des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien	3
Abbildung 2: Phønix FWD-Anhänger mit S-förmigen Federn [1]	4
Abbildung 3: Verteilung der 1999 in Verwendung stehender FWDs [1]	5
Abbildung 4: In Zugfahrzeug integriertes FWD der Firmen Dynatest (linkes Bild) und der Firma JILS (rechtes Bild) [3][8]	6
Abbildung 5: Dynatest FWD (linkes Bild) und HWD (rechtes Bild) [3]	6
Abbildung 6: Funktionsprinzip FWD [1]	7
Abbildung 7: Aufbau eines Dynatest 8002 FWDs [3]	8
Abbildung 8: Modell des FWD-Verfahrens [4]	9
Abbildung 9: Messprinzip Benkelman-Balken [9]	11
Abbildung 10: Deflektograph LACROIX: Messwagen (links) und Messbalken in Aufnahmestellung (rechts) [5]	12
Abbildung 11: Messzyklus des Deflektometer LACROIX [9]	13
Abbildung 12: Lastplatte, Grundriss Lastplatte/segmentierte Lastplatte [12]	16
Abbildung 13: Geophontragarm des Dynatest FWD 8002	17
Abbildung 14: Flussdiagramm über die vom Anwender durchzuführenden Kalibrierverfahren [1]	19
Abbildung 15: Kalibrierständer	21
Abbildung 16: Statische Referenzkalibrierung der demontierten Lastzelle [1]	23
Abbildung 17: Vereinfachtes Flussdiagramm von FWD-Messung [1]	24
Abbildung 18: GPR (Ground Penetrating Radar) [13]	26
Abbildung 19: Bohrwagen bei Bohrkernentnahme [14]	26
Abbildung 20: Anordnung versetzter Messpunkte [1]	27
Abbildung 21: Abhängigkeit der Steifigkeit eines bituminösen Tragschichtmaterials AC16 trag von der Temperatur	29
Abbildung 22: Schema einer Temperaturgradientenmessung für Asphaltstärktdicken $d > 10$ cm [6]	31
Abbildung 23: Vergleich gemessener Deflektionen Asphalt/Beton mit der Standardlast von 50 kN bei 20°C	33
Abbildung 24: Lastverteilungswirkung von Beton und Asphalt [18]	33
Abbildung 25: FWD Dynatest 8002 im Messeinsatz	34

Abbildung 26: Vergleich der bei 50 kN und 120 kN gemessenen Deflektionsmulden mit der auf Standardlast umgerechneten Deflektionsmulde	37
Abbildung 27: Vergleich der Soll-Versuchslast mit der tatsächlichen aufgetragenen Versuchslast	38
Abbildung 28: Deflektionsmulde des selben Messpunktes bei unterschiedlichen Asphalttemperaturen	40
Abbildung 29: Temperaturumrechnungsfaktor TNF in Abhängigkeit von der gemessenen Asphalttemperatur.....	41
Abbildung 30: Beispiel für die graphische Darstellung von Oberflächenmodulen [12].....	46
Abbildung 31: Temperatur-Steifigkeitsbeziehung eines SMA11-PmB45/80-65-Diabas ermittelt mit dem 4PBB.....	49
Abbildung 32: Ermittlung von $S_{MIX,R}$ und $S_{MIX,T}$ mit den Ablesetemperaturen $T_{S,1}$ und $T_{S,2}$	50
Abbildung 33: Nottingham Asphalt Tester (NAT), ermittelter Steifigkeitsmodul in Abhängigkeit von der Temperatur.....	51
Abbildung 34: Darstellung der E-Module als Streckenband.....	52
Abbildung 35: Darstellung der E-Module als Flächenplot.....	52
Abbildung 36: Spannungen und Dehnungen einer Straßenkonstruktion	53
Abbildung 37: Positionierung der Lastplatte für die Lastfälle Plattenrand und Plattenmitte [2]	56
Abbildung 38: Anordnung der Geophone für die Messung „Lastfall Plattenrand“ und „Lastfall Plattenmitte“	57
Abbildung 39: Einflusslinie der relativen vertikalen Fugenbewegung Δz und der Einsenkung des Fugenrandes z_1 [10].....	58
Abbildung 40: Anordnung der Geophone nach Verfahren A und B zur Erfassung des Lastfalls Plattenrand [2].....	59
Abbildung 41: Erosion unter einer nicht verdübelten Platte bzw. unter einem Riss [20]	59
Abbildung 42: Ermittlung der Koeffizienten A und B nach Großmann [19]	61
Abbildung 43: Beispiel für die Darstellung des Wirksamkeitsindex nach Großmann als Streckenband [19].....	62
Abbildung 44: Beispiel für die Darstellung der vertikalen Fugenbewegung nach Großmann als Streckenband [19].....	62
Abbildung 45: 1,5-Wert, Warn- und Schwellenwert für s_{D1} und s_{rF} [2]	64
Abbildung 46: Bewertungs-Zeit-Diagramm für s_{D1} in Abhängigkeit von der Liegezeit [2].....	65
Abbildung 47: Bewertungs-Zeit-Diagramm für s_{rF} in Abhängigkeit von der Liegezeit [2].....	65

Abbildung 48: Bewertungs-Zeit-Diagramm für s_{D1} in Abhängigkeit von der Verkehrsbeanspruchung [2].....	67
Abbildung 49: Bewertungs-Zeit-Diagramm für s_{rF} in Abhängigkeit von der Verkehrsbeanspruchung [2].....	67
Abbildung 50: Prognose des Zustandswertes für das Tragverhalten [2].....	68
Abbildung 51: Verhältnis der maximalen Deflektion am Plattenrand zu der in Plattenmitte [19].....	69
Abbildung 52: Wirksamkeitsindex [19].....	70
Abbildung 53: Errechneter Lastaufnahmeindex L_b im Verhältnis zu den gemessene Deflektionen D_r/D_m [19].....	70

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: obere Temperaturgrenze in Abhängigkeit vom Erweichungspunkt Ring und Kugel (ERK gemäß [23][24]).....	30
Tabelle 2: Koeffizienten für die Temperaturumrechnung von FWD- Deflektionswerten [1]	39
Tabelle 3: Temperaturumrechnungsfaktor TNF in Abhängigkeit von Asphalttemperatur und -schichtdicke	40
Tabelle 4: Steifigkeitsmodule und Poisson' sche Zahlen bituminös gebundener Schichten [1]	43
Tabelle 5: Steifigkeitsmodule und Poisson' sche Zahlen zementgebundener Schichten [1]	43
Tabelle 6: Steifigkeitsmodule und Poisson' sche Zahlen ungebundener Materialien [1]	44
Tabelle 7: Steifigkeitsmodule und Poisson' sche Zahlen Untergrund- und anderer Materialien [1].....	44
Tabelle 8: Handlungsweise für Bereiche unterschiedlichen Tragverhaltens [2].....	66

ANHANG A: ARBEITSANWEISUNG 610

**Tragfähigkeitsmessungen mit dem Falling Weight
Deflektometer (FWD)**

ANHANG B: ARBEITSANWEISUNG 611

Kalibrieranweisungen für das Falling Weight Deflektometer (FWD)

AA 610 – Tragfähigkeitsmessungen mit dem Falling Weight Deflektometer (FWD)

Inhalt

1	Das Dynatest 8002 FWD Test-Systems	3
1.1	Technische Daten.....	3
1.2	Funktionsprinzip des FWD.....	3
1.3	Bestandteile des Test Systems:	4
1.3.1	Das Zugfahrzeug.....	5
1.3.2	Dynatest 8002 FWD Anhänger.....	7
1.3.3	Compact 15.....	8
1.3.4	Remote Control Box	8
1.3.5	Notebook.....	10
1.3.6	Das "FwdWin" Feldprogramm.....	11
2	Vorbereitung der Messung.....	11
2.1	Ausrüstung/Hilfsmittel.....	11
2.2	Verbinden des Zugfahrzeugs mit dem FWD-Anhänger	12
3	Durchführen der FWD Messung	14
3.1	Vorbereitung der Messung	14
3.2	Temperaturmessung.....	17
3.2.1	Oberflächentemperaturmessung	17
3.2.2	Bohrlochtemperaturmessung.....	17
3.3	Starten des FWD Test Systems.....	18
3.4	Starten des Dynatest Control Center	19
3.5	Die Benutzeroberfläche von FwdWin.....	19
3.6	Das Datenerfassungsfenster	21
3.7	Anlegen eines neuen Datenfiles.....	22
3.8	Eingabe der Daten der Mess-Strecke	23
3.9	Wahl eines Test Setup	23
3.10	Fahrt zum Messpunkt	24



AA 610

**Tragfähigkeitsmessungen mit dem
Falling Weight Deflektometer (FWD)**

Ausgabe 1

Seite 2 von 46

3.11	Starten der Messung	24
3.12	Beenden der Messung	25
3.13	Auslesen der Messdaten	26
4	Im Notfall	26
4.1	Schnelles Verlassen der Mess-Stelle	26
4.2	Stoppen des Messvorgangs	26
5	Das Feldprogramm FwdWin	27
5.1	File	27
5.2	View	27
5.3	Test Setup	27
5.4	Information	29
5.5	Manual Control	32
5.6	Setup	33
6	Konfiguration des FWDs	38
6.1	Kontrolle der FWD Hardware	38
6.2	Einstellen der Fallhöhe	39
6.3	Ändern der Gewichtseinstellung	41
7	Mitgeltende Unterlagen und Normen	43
8	Verteiler	44
	Abbildungsverzeichnis	45

1 DAS DYNATEST 8002 FWD TEST-SYSTEMS

1.1 Technische Daten

Lastbereich: 7-120 KN

Deflektionsaufnehmer: 9-15 Stk.

Gewicht: 950 kg

Max. zul. Geschwindigkeit: 80 km/h

Mech. Auflaufbremse



Abbildung 1: Dynatest FWD 8002

1.2 Funktionsprinzip des FWD

Das Funktionsprinzip des Fallgewichtsdeflektometers besteht daraus, dass ein Lastimpuls auf die Straßenoberfläche aufgebracht wird und die daraus resultierende elastische Einsenkung gemessen wird.

Der Lastimpuls wird durch das Fallenlassen eines Gewichts aus einer bestimmten Höhe auf ein Federsystem bestehend aus Gummipuffern erzeugt, welche diesen über eine kreisförmige Lastplatte mit einem Radius von 30 cm in die Straßenkonstruktion einleiten

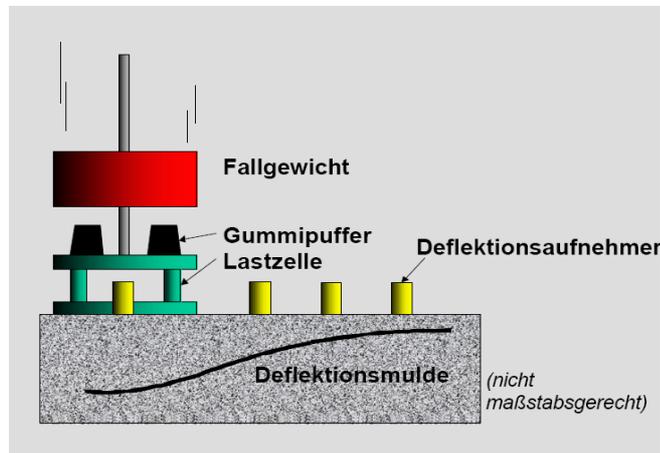


Abbildung 2: Funktionsschema FWD (Fuchs, 2001)

Die Größe der aufgetragenen Belastung hängt von der Fallhöhe sowie der Masse des Fallgewichts ab und kann mit diesen beiden Variablen gesteuert werden.

Der Maximalwert der elastischen Einsenkung (Deflektion) wird mittels eines im Lastzentrum und einer Anzahl von radial dazu angeordneter Deflektionsaufnehmern gemessen. Verbindet man die Messwerte der einzelnen Aufnehmer erhält daraus die so genannte Deflektionsmulde.

In Abhängigkeit von der Größe des aufgetragenen Lastimpulses geben die gemessenen Deflektionen Auskunft über den strukturellen Zustand der Straßenkonstruktion.

Die Standardbelastung von 50 kN mit einer Belastungsdauer von ca. 25 ms entspricht in etwa der Belastung durch einen mit 50 km/h fahrenden Schwerverkehr.

1.3 Bestandteile des Test Systems:

- Zugfahrzeug
- Dynatest 8002 FWD Anhänger
- Compact15
- Remote Control Box
- Notebook
- "FwdWin" Feldprogramm

1.3.1 Das Zugfahrzeug

Im Folgenden werden die Anforderungen, sowie die notwendigen Installationen bzw. Einbauten am Zugfahrzeug des FWD erläutert.

1.3.1.1 Fahrzeugtyp

Das Zugfahrzeug muss über eine ausreichende Größe und Motorleistung (min. 110PS) verfügen, um den FWD-Anhänger ziehen zu können. Weiters darf das Gewicht inkl. des FWD-Anhängers nicht das maximal zulässige Gesamtgewicht überschreiten.

Im Motorraum sollte vorzugsweise noch Platz für die Nachrüstung mit einer zusätzlichen Lichtmaschine sein.

1.3.1.2 Zusätzliche 12V Lichtmaschine

Für eine optimale Energieversorgung des FWD-Testsystems kann eine zusätzliche 12V Lichtmaschine mit 90 A (min. 60 A) Leistung in das Zugfahrzeug eingebaut werden. Falls dies nicht möglich ist, kann bei ausreichender Leistung die fahrzeugeigene Lichtmaschine ausreichen. Eine weitere Möglichkeit ist, eine externe, im Fahrzeug untergebrachte, Stromversorgung (Batterie) zu verwenden.

1.3.1.3 Verwendung der fahrzeugeigenen Lichtmaschine

Falls es nicht möglich ist eine zusätzliche Lichtmaschine im Motorraum anzubringen, kann auch nur die vorhandene Lichtmaschine für die Stromversorgung herangezogen werden. Dies muss dann jedoch über mindestens 90 A, besser 110 A, Ausgangsleistung verfügen. Falls dies nicht der Fall ist, kann die vorhandene Lichtmaschine durch eine leistungsstärkere ersetzt werden.

1.3.1.4 Anhängerkupplung

Das Fahrzeug muss über eine Anhängerkupplung mit einem Kugelkopfdurchmesser von 50 mm verfügen. Das Zentrum des Kugelkopfes sollte sich im beladenen Zustand zwischen 480 und 500 mm über Bodenhöhe befinden, damit der Rahmen des Anhängers parallel zur Bodenoberfläche und die Führungsstange für das Fallgewicht normal darauf steht.

Die Anhängerkupplung muss weiters zugelassen sein, um das max. mögliche Gesamtgewicht des FWD-Anhängers ziehen zu können.

1.3.1.5 Anhängerlichtbuchse

Eine Anhängerlichtbuchse sollte auf der Rückseite des Zugfahrzeugs in der Nähe der Anhängerkupplung montiert werden.

1.3.1.6 12 V Strombuchse (NATO Steckdose)

Eine 12 V Ausgangstrombuchse (NATO Steckdose, 2-pin, weiblich) für die Stromversorgung des 12V elektro-hydraulischen-Systems des FWDs soll nah der Anhängerkuppelung befestigt werden.

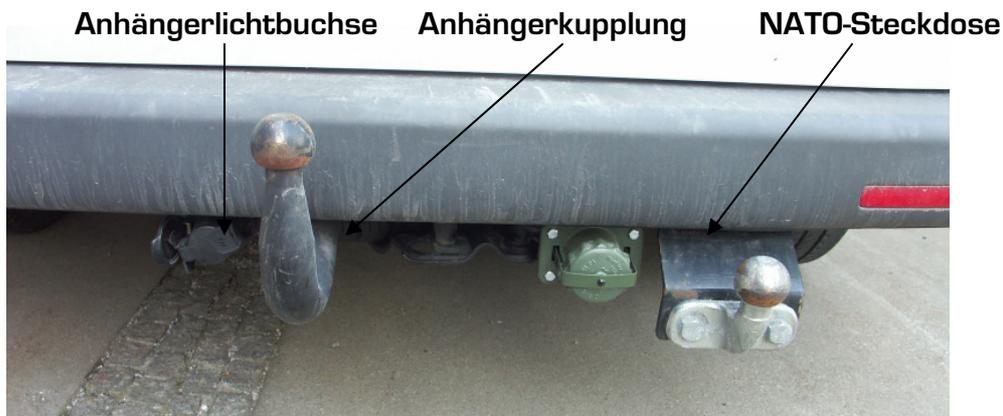


Abbildung 3 Anschlüsse Zugfahrzeug

1.3.1.7 Kabelöffnung

Auf der Rückseite des Zugfahrzeugs sollte eine Öffnung vorhanden sein, um das Netzkabel vom FWD zum Prozessor führen zu können.

1.3.1.8 Platzierung des Computers und der Remote Control Box

Das Zugfahrzeug sollte mit einem kleinen Tisch oder ähnlichem zur Befestigung des Computers ausgerüstet sein. Die Remote Control Box sollte so positioniert sein, dass das Frontpaneel mit den LED für den Benutzer sichtbar und leicht bedienbar ist.

1.3.1.9 Klimaanlage

Falls erforderlich, sollte das Zugfahrzeug mit einer Klimaanlage ausgerüstet sein, um das Inventar vor Temperaturen über 40°C zu schützen (und zusätzlich den Staub durch geöffnete Fenster fernzuhalten). Ein weißes Dach, sowie getönte Scheiben und/oder Vorhänge können ebenfalls helfen, die durch Sonneneinstrahlung bedingte Aufheizung des Fahrzeugs zu vermindern.

1.3.1.10 Warnschild / Drehlicht

Um den Verkehr während der Testphase zu warnen, sollte eine Warndrehleuchte am Dach des Zugfahrzeugs montiert werden.

Warnschilder können zusätzlich an der Rückseite des Zugfahrzeugs oder des FWD-Anhängers befestigt werden.

1.3.2 Dynatest 8002 FWD Anhänger

Der Dynatest 8002 FWD Anhänger besteht aus einer Stahlrahmenkonstruktion auf der das Fallgewichts-Test-System angebracht ist.

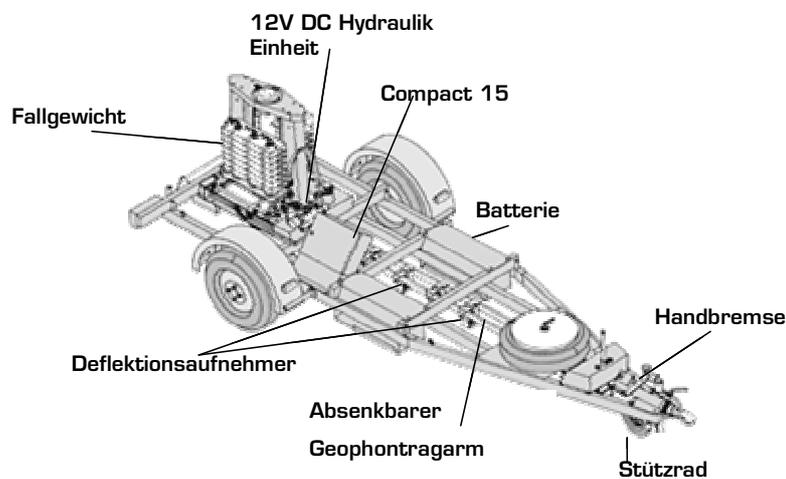


Abbildung 4: Dynatest 8002 FWD Anhänger

Die Hauptbestandteile des Test Systems sind:

- Fallgewicht (bestehend aus mehreren variablen Gewichtselementen)
- Absenkbarer Geophontragarm inkl. Deflektionsaufnehmer
- 12V DC Hydraulik Einheit
- Pufferbatterie
- Compact 15

Am FWD sind weiter ein Infrarotoberflächentempersensordaten sowie ein Lufttempersensordaten für die kontinuierliche Aufzeichnung der Temperaturdaten angebracht.

1.3.3 Compact 15

Der Dynatest Compact 15 ist ein eigenständiger PC basierender Prozessor, welcher sowohl mit den elektronischen Komponenten des FWDs als auch mit dem bei der Messung verwendeten Notebook verbunden ist.

Die Hauptfunktionen des Compact 15 sind:

- Kontrolle und Steuerung der FWD Hydraulik
- Das Aufbereiten, Digitalisieren und Übertragen der Messdaten zum Notebook
- Die kontinuierliche Überprüfung der Systemleistung um Fehlerfunktionen zu erkennen



Abbildung 5: Frontpaneel des Compact 15

1.3.4 Remote Control Box

Mittels der Remote Control Box wird das FWD-Testsystem ein- und ausgeschaltet (grüner ON/OFF Druckknopf).



Abbildung 6 Remote Control Box (vorne/hinten)

Weiters ist in der Remote Control Box ein Sicherheitssystem integriert, welches das Anfahren mit heruntergelassener Lastplatte verhindert.

Hierfür muss das Handbremssignal des Zugfahrzeugs mittels eines 3-Pin DIN Steckers (Parksignalkabel) mit der PARK Steckbuchse auf der Rückseite der Remote Control Box verbunden werden.

Ein Durchführen der Messung ist dadurch nur bei gezogener Handbremse möglich. Sobald die Handbremse gelöst wird (auch während eines Versuchs), wird die Lastplatte automatisch angehoben und ein Warnsignal ertönt.

Diese Vorrichtung verhindert einerseits das Anfahren mit heruntergelassener Lastplatte, andererseits ermöglicht sie im Notfall ein schnelles Verlassen der Messstelle.

Falls die Parksignalverbindung defekt ist oder aus anderen Gründen nicht funktioniert besteht die Möglichkeit das Parksignal mittels eines speziell dafür vorgesehenen Steckers kurzzuschließen.

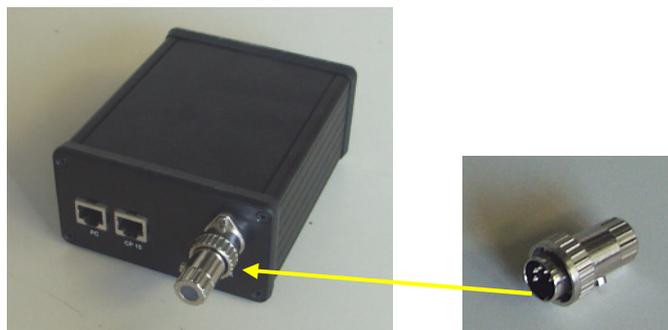


Abbildung 7: Remote Control Box inkl. Parksignal - Kurzschlussstecker

Der Sicherheitsmechanismus der das Hochfahren der Lastplatte zur Folge hat, ist dann jedoch nicht mehr wirksam, da dem Gerät ein permanentes angezogen Sein der

Handbremse vorgetauscht wird. In diesem Fall sollte man sich immer vor der Weiterfahrt vergewissern, dass die Lastplatte und der Geophontragarm angehoben sind.

An der Rückseite der Remote Control Box sind weiters die Netzkabelanschlüsse für die Verbindung zum Compact 15 (CP15) und zum Notebook (PC) angeordnet.

1.3.5 Notebook

Der Computer/das Notebook ist ein wesentlicher Bestandteil des Systems zur Erfassung der Messdaten. Er sollte ausschließlich für die FWD-Messung und Datenaufbereitung genutzt werden. Es wird empfohlen, die Computerbeschaffung und die Computerkonfiguration von Dynatest durchführen zu lassen. Falls ein eigenes Gerät beigelegt wird, muss darauf geachtet werden, dass sämtliche Bereiche, wie z.B. Energieoptionen, Antivirusprogramme, Netzwerkeinstellungen, Benutzerkonten usw., für die Mitarbeiter von Dynatest zugänglich sind.

Die Konfiguration des Computers beinhaltet

- Sicherstellung, dass die Systemanforderungen erfüllt sind
- Installation des Programmpakets
- Herstellung einer Netzwerkverbindung zwischen PC und dem Compact 15
- Programmstart und Einrichten der Parameter

Dies wird im Normalfall von Dynatest durchgeführt.

Die folgenden Systemanforderungen sollten vom verwendeten Notebook erfüllt werden:

Minimale Anforderungen	Empfohlene Anforderungen
Pentium, 1 GHz	Pentium 4, 2 GHz
256 MB RAM	512 MB RAM
20 GB Festplattenspeicher	80 GB Festplattenspeicher
Auflösung 1024x768	Auflösung 1280x1024

Ethernet Verbindung (RJ45)	
Serieller COM Port oder ein USB/Seriell Dongle ¹⁾	
	USB Ausgang
	Firewire Ausgang
Windows 2000 oder XP Professional	Windows XP Professional SP2
	DirectX 9 ²⁾
Administrator Rechte ³⁾	
Ein „einfacher“ Computername ⁴⁾	„FIELDPC“

¹⁾ z.B. für GPS Unterstützung

²⁾ erforderlich für den Anschluss einer Kamera

³⁾ Für die Person welche die Software installiert und den/die Benutzer

⁴⁾ Buchstaben und Zahlen, maximal 15 Zeichen lang, keine Leerzeichen

1.3.6 Das "FwdWin" Feldprogramm

FwdWin ist ein von der Firma Dynatest angebotenes Computerprogramm, mit dem die Steuerung des FWD Testsystem sowie die Erfassung der Messdaten erfolgt.

Eine genaue Beschreibung des Programmaufbaus und der unterschiedlichen Funktionen findet sich unter Kapitel 5.

2 VORBEREITUNG DER MESSUNG

2.1 Ausrüstung/Hilfsmittel

Bei jeder FWD Messung sollten folgende Hilfsmittel bzw. Ausrüstungsgegenstände zu der Mess-Stelle mitgenommen werden.

- Sicherheitswesten
- Warnschild
- Drehlicht

AA 610

Tragfähigkeitsmessungen mit dem
Falling Weight Deflektometer (FWD)

Ausgabe 1

Seite 12 von 46

- 2er-Verteilerdose f. Zigarettenanzünder
- 12V auf 220V Umwandler für Zigarettenanzünder
- Kamera
- Messrad
- FWD Spare-Part-Box
- Infrarot Temperaturmessgerät
- Gewindestange f. manuelles Anheben d. Fallgewichts bei Ausfall der Hydraulik
- Markierspray
- Akku-Bohrschlaghammer
- Testo 177 Datalogger



2.2 Verbinden des Zugfahrzeugs mit dem FWD-Anhänger

1. Die Kugelpfanne am vorderen Ende des FWD-Anhängers auf die Kugel der Anhängerkupplung aufsetzen und diese verriegeln
2. Die rote Sicherungsleine über die Anhängerkupplung überstreifen
3. Das Stützrad so weit hochkurbeln bis es durch die dafür vorgesehenen Aussparungen arretiert wird



Abbildung 8 Anhängervorrichtung, Sicherungsleine, Stützrad

4. Den Stecker für die Rücklichtverbindung mit der zugehörigen Dose am Zugfahrzeug verbinden.
Nach dem Anschließen ist zu kontrollieren, ob die Anhängerbeleuchtung (Blinker und Bremslicht) ordnungsgemäß funktionieren

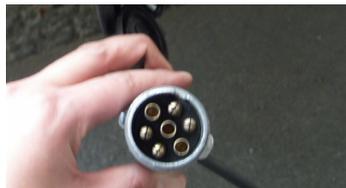


Abbildung 9 Rücklichtverbindung

5. Die Transportsicherungen müssen auf beiden Seiten hochgeklappt sein.

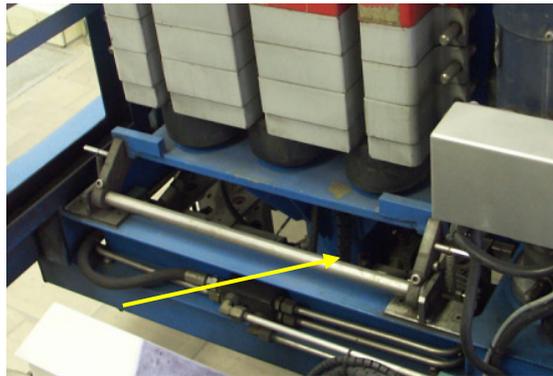


Abbildung 10 Transportsicherung

6. Der Geophontragarm muss sich in seiner Höchstposition befinden und mit dem Sicherungsstift fixiert sein.

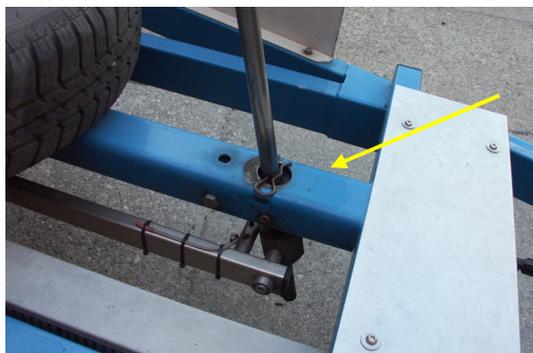


Abbildung 11 Sicherungsstift Geophonarm

7. Die Handbremse des Zugfahrzeugs muss vollkommen gelöst sein.



Abbildung 12 Handbremse FWD Anhänger

3 DURCHFÜHREN DER FWD MESSUNG

3.1 Vorbereitung der Messung

An der Messstelle angekommen, sind noch einige vorbereitende Schritte durchzuführen bevor mit der Messung begonnen werden kann.

Falls es sich nicht um einen abgesperrten bzw. bereits durch Dritte (z.B. Autobahnmeisterei, Straßenmeister,...) abgesicherten Messabschnitt handelt, sollte dies an einer den Verkehr nicht hindernden und gut einsehbaren Stelle stattfinden.

Bevor mit der Messung begonnen werden kann, sind noch im Folgenden angeführte Schritte durchzuführen.

Hinweis! Beim Verlassen des Messfahrzeugs ist immer entsprechende Sicherheitskleidung zu tragen (Sicherheitswarnweste).

1. Am Beginn der Strecke ist das Warnschild aufzustellen
2. Die Ladeklappe des ISTU Busses öffnen (sie bleibt während der Messfahrt geöffnet)
3. 2-fach Verteiler in den Zigarettenanzünder stecken
4. Das Drehlicht ist am Fahrzeugdach anzubringen, das zugehörige Kabel durch das einen Spalt geöffnete Fenster durchzuführen und mit dem Zigarettenanzünder zu verbinden.

5. Das 2-pin Stromversorgungskabel (NATO Stecker) mit der grünen NATO-Steckdose am Zugfahrzeug verbinden.



Abbildung 13 NATO Stecker (links), Anschlussbild (rechts)

6. Die Remote Control Box ist mittels des grauen Netzkabelkabels [1] mit dem Notebook zu verbinden. Das Verbindungskabel zum CP15 (schwarz) ist durch die Öffnung in der Rückwand der Fahrkabine zu führen und an die Remote Box anschließen [2]. Das Parksignalkabel mit den dafür vorgesehenen Steckplatz verbinden [3].

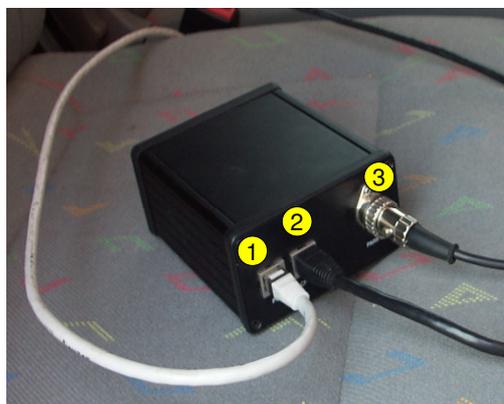


Abbildung 14: Anschlussbild Remote Control Box

7. Das Notebook mittels 12V/220V Umwandler an den Zigarettenanzünder anschließen
8. Das von der Remote Control Box ausgehende Netzkabel in den dafür vorgesehene Anschluss am FWD stecken und verschrauben



Abbildung 15 Anschluss Netzwerkkabel

Es ist darauf zu achten, dass das Netzwerkkabel genügend Spiel hat, um ein Spannen bzw. Reißen in Kurven zu verhindern.

9. Die Kabel sind mit den dafür vorgesehen Kabelbindern (wiederverschließbar) mit ausreichendem Spiel zum Zugfahrzeug am FWD Rahmen zu befestigen.
10. Es ist sicherzustellen, dass alle Stecker und Verbindungen ordnungsgemäß verbunden und in ihrer Lage gesichert sind.
11. Den Sicherungsstift des Geophontragarms entfernen.
12. Falls der erste Messpunkt nicht über ein markantes Merkmal (z.B. Kilometrierung, Leitpflock...) verfügt, sollte er mit Markierspray gekennzeichnet werden, um eine Wiederholbarkeit der Messung zu gewährleisten.
13. Für die spätere planliche Darstellung, ist der erste Messpunkt, falls seine Lage nicht genau definiert ist, mittels Messrad bis zur nächsten Kilometrierung Einzumessen und dies zu dokumentieren.



Abbildung 16: ISTU - Bus während einer Messfahrt

3.2 Temperaturmessung

3.2.1 Oberflächentemperaturmessung

Am Beginn und am Ende der Messung sollte die Oberflächentemperatur mittels Infrarottemperaturmessgerät gemessen und aufgezeichnet werden.

Falls die Messung über einen längeren Zeitraum stattfindet oder sich die Temperatur bzw. die Witterungsverhältnisse im Laufe der Messung ändern, wird empfohlen, in Abständen von ca. einer Stunde eine Oberflächentemperaturmessung durchzuführen.

Es sollte darauf geachtet werden, dass die Temperaturmesspunkte sich im Bereich der Mess-Spur befindet (sonnig/schattig).

3.2.2 Bohrlochtemperaturmessung

Für eine genaue Rückrechnung der Asphaltsteifigkeiten, ist die Kenntnis des Temperaturverlaufs innerhalb des Asphaltpakets erforderlich.

Hierfür sollten einige Zeit vor Beginn der Messung mittels Akkuboehrschlaghammer Bohrlöcher mit einem Durchmesser 5 mm in die Straßenkonstruktion gebohrt werden. Die Bohrungen sollten sich, wenn möglich innerhalb der Mess-Spur, auf alle Fälle mindestens 0,3 m vom Straßenrand entfernt, befinden.

Die Anzahl der Bohrungen ist abhängig von der Asphaltstichtdicke d:

- $d < 50$ mm → eine Bohrung, Messtiefe: $d/2$ (Hälfte der Dicke)
- $d = 50-100$ mm → zwei Bohrungen, Messtiefe: 1x25mm unterhalb der Oberfläche, 1x25mm oberhalb der Unterseite
- $d > 100$ mm → drei Bohrungen, Messtiefe: 1x25mm unterhalb der Oberfläche, 1x25mm oberhalb der Unterseite, 1x in $d/2$ (Hälfte der Dicke)

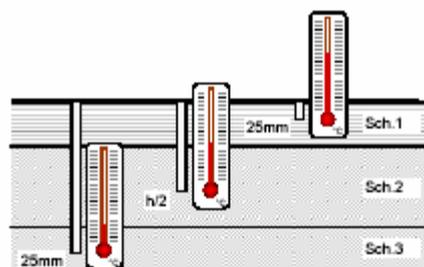


Abbildung 17: Schema einer Bohrlochtemperaturmessung

Die Temperaturmessung erfolgt mittels dem testo 177 Datenlogger. Mit bis zu vier Messkanälen zeichnet dieser kontinuierlich die Temperatur und die zugehörige Zeit auf.

In die Bohrlöcher sollte, um guten thermischen Kontakt zu den Messfühlern zu gewährleisten, einige Tropfen Glycerin eingebracht werden.

3.3 Starten des FWD Test Systems

Wichtig! Das System niemals während der Fahrt starten!

Das Einschalten des Computers sowie des Compact15 hat in dieser Reihenfolge zu erfolgen:

1. Der POWER Drehschlüssels am Frontpaneel des Compact15 muss auf OFF stehen
2. Einschalten des Notebooks -> Eingabe des Passworts -> Abwarten bis das System hochgefahren ist
3. Sicherstellen, dass das PARK/ALARM Signal aktiviert ist (Handbremse muss gezogen sein)
4. Einschalten des Compact 15 durch Drücken des grünen ON Druckknopfs an der Vorderseite der Remote Control Box
5. Mindesten eine Minute warten und dabei die Anzeige für die Netzwerk-Aktivität beobachten -> Verbindung muss hergestellt sein

Windows Fire Wall:

Falls das Programm „Dynatest Controll Center“ zum ersten Mal gestartet wird, kann es möglich sein, dass die Windows Fire Wall versucht, das Programm zu blockieren. Dies muss deaktiviert werden.

Falls eine Fehlermeldung „network timeout“ erscheint, ist der Park/Alarm Stromkreis zu kontrollieren und der Einschaltprozess zu wiederholen.

3.4 Starten des Dynatest Control Center

Das Programm wird durch Klicken des Dynatest Icon am Desktop gestartet



Nach Programmstart erscheint ein Fenster, in welchem der Name der die Messung durchführenden Person einzugeben ist.

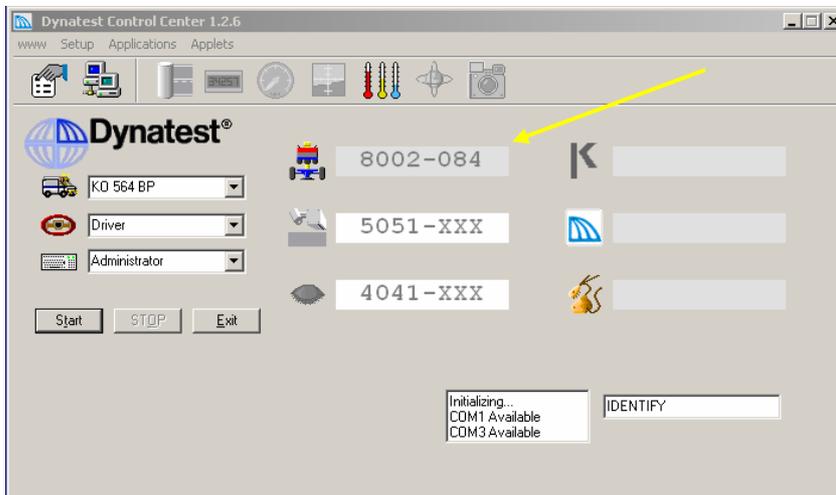


Abbildung 18: Screenshot - Programmstart

Es ist abzuwarten, bis die FWD Kennnummer im grau hinterlegten Feld schwarz wird, dies kann bis zu einer Minute dauern und signalisiert, dass die Verbindung zwischen Compact 15 und dem Notebook hergestellt ist.

Das Programm kann nun durch Klicken der **Start** Schaltfläche gestartet werden.

Eine detaillierte Beschreibung aller Programmfunktionen des Dynatest Feldprogramms FwdWin befindet sich in Kapitel 5.

3.5 Die Benutzeroberfläche von FwdWin

FwdWin verfügt über eine graphische Benutzeroberfläche, welche für einen mit Windows vertrauten Anwender leicht zu bedienen sein sollte.

Eine genaue Beschreibung sämtlicher Programmfunktionen befindet sich in Kapitel 5.

Nach Start des Programms erscheinen mehrere Fenster deren Funktion im Folgenden kurz erläutert wird.

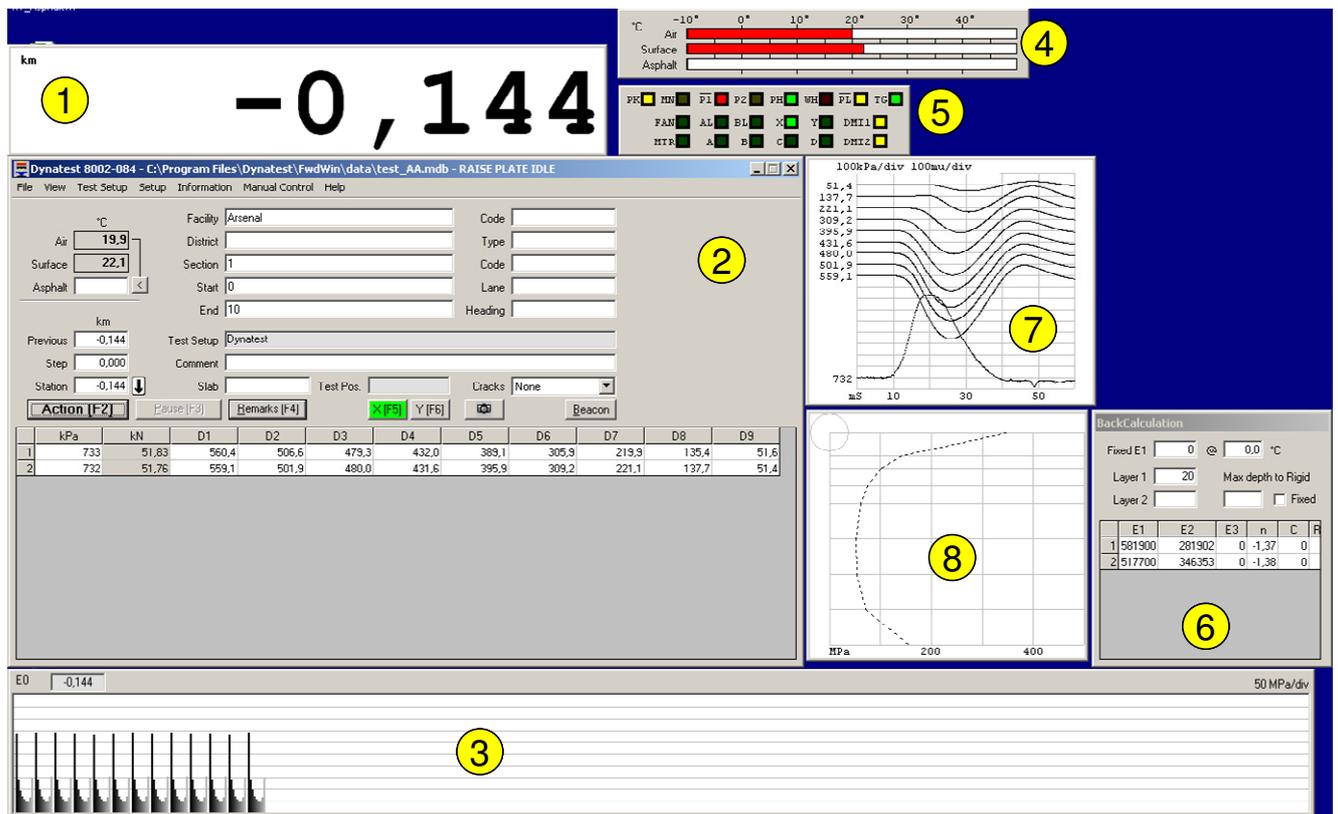


Abbildung 19: Screenshot - Benutzeroberfläche FwdWin

- [1] Kilometeranzeige: gibt die aktuelle Stationierung an
- [2] Datenerfassungsfenster
- [3] Verlauf des Oberflächenmoduls
- [4] Temperaturanzeige: Luft- und Oberflächentemperatur
- [5] Compact 15 LEDs
- [6] Backcalculation-Fenster
- [7] Zeitlicher Verlauf der gemessenen Deflektionen/Kraft
- [8] Oberflächenmodul für aktuellen Messpunkt

3.6 Das Datenerfassungsfenster

Der wichtigste Bestandteil des FwdWin Feldprogramms ist das Datenerfassungsfenster, sein Aufbau wird im Folgenden kurz erläutert:

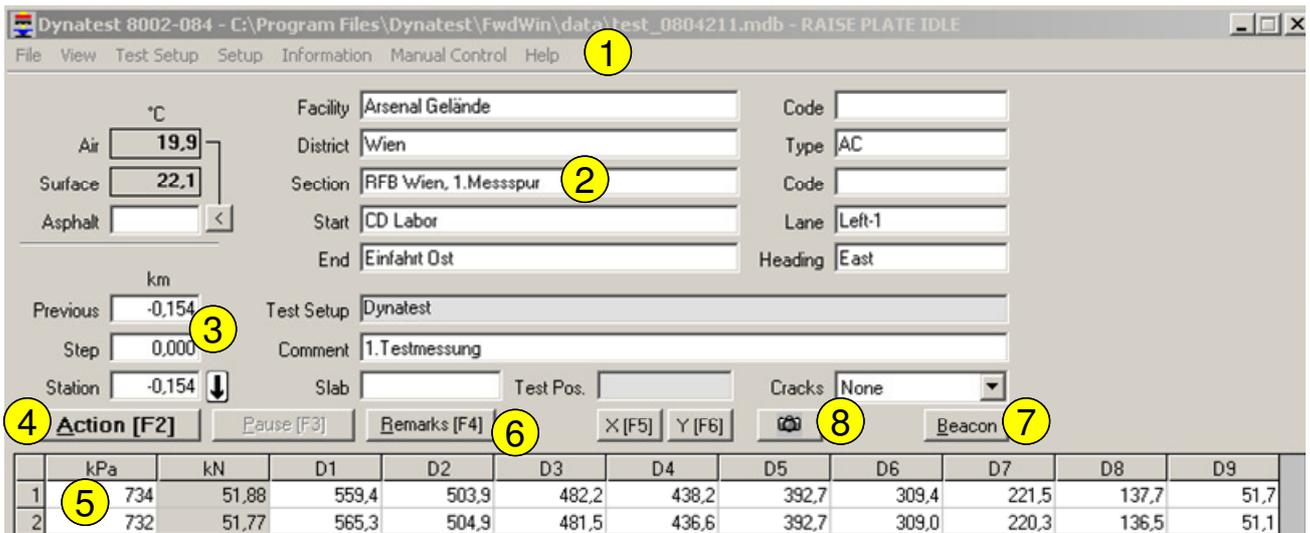


Abbildung 20: Screenshot - Datenerfassungsfenster

- [1]** Die Hauptmenüleiste
- [2]** Daten der Mess-Strecke
- [3]** Stationierung: Eingabe der Stationierung (Kilometrierung) und des Messpunktabstands. Mit der schwarzen Pfeiltaste neben dem Feld Station kann eingestellt werden ob die Stationierung steigend oder fallend erfolgen soll (Pfeil hinunter= absteigend, Pfeil hinauf=aufsteigend).
- [4]** Auslösen des Fallgewichts oder Funktionstaste **F2**
- [5]** Größe der aufgebracht Last und der gemessene Deflektionen pro Messpunkt
- [6]** Remarks: Mit der Schaltfläche „Remarks“ bzw. durch Drücken der F4 Taste können Anmerkungen (wie z.B. Kreuzung, Belagsänderung,...) zu jedem Messpunkt gespeichert werden
- [7]** Beacon: Es besteht die Möglichkeit, Testsystem-unabhängige Installationen (wie z.B. Farbspray-Markierung) zu aktivieren
- [8]** Kamera (optional)

3.7 Anlegen eines neuen Datenfiles

In der Hauptmenüleiste unter **File → new** auswählen und den Namen des neuen Messfiles eingeben.

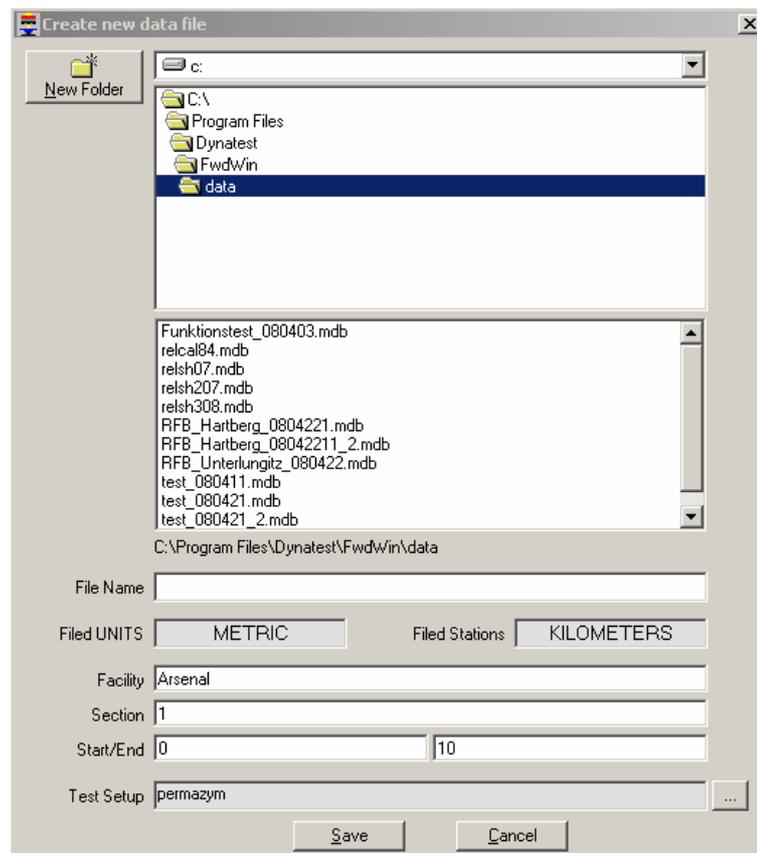


Abbildung 21: Screenshot – Erstellen eines neuen Datenfiles

Der File-Name sollte nach folgendem Schema vergeben werden:

08xxl_RFB_Wien_1_Messspur_08xxxx

=Projektnummer_Richtungsfahrbahn_Nr.der Messspur_Messdatum (Format JJMMTT)

3.8 Eingabe der Daten der Mess-Strecke

Im Datenerfassungsfenster sind die Daten der Mess-Strecke einzugeben (siehe Screenshot)

Dynatest 8002-084 - C:\Program Files\Dynatest\FwdWin\data\test_0804211.mdb - RAISE PLATE IDLE

File View Test Setup Setup Information Manual Control Help

°C
Air
Surface
Asphalt

km
Previous
Step
Station

Facility
District
Section
Start
End
Test Setup
Comment
Slab

Code
Type
Code
Lane
Heading
Cracks

Abbildung 22: Screenshot- Beispiel für die Eingabe der Streckendaten

3.9 Wahl eines Test Setup

Unter dem Menüpunkt **Test Setup** ein Setup für die Messung wählen.

Im Falle einer Standardmessung das Test Setup „Dynatest“ (2 Belastungsschläge mit 50 KN) wählen.

Unter „Sequence“ besteht die Möglichkeit, die Größe des Lastimpulses [2] und die Anzahl der Schläge [1] zu verändern.

Im folgenden Screenshot sind z.B. zwei Belastungsschläge mit einem Lastimpuls von 849kPa eingestellt.

Sequence

No of steps (1)

No	Type	Param	D	F
1	Loading	849		
2	Loading	849	✓	

Abbildung 23: Screenshot – Sequence

In folgender Tabelle ist für die Belastung in KN die jeweilige Eingabegröße in kPa angegeben:

KN	kPa
50	707,4
60	848,8
70	990,3
80	1.131,8
90	1.273,2
100	1.414,7
110	1.556,2
120	1.697,7

Tabelle 1: Umrechnungstabelle KN in kPa

Für eine detaillierte Beschreibung des Menü **Test Setup** siehe 5.3

3.10 Fahrt zum Messpunkt

Ist das Datenfile erstellt und ein geeignetes Test Setup gewählt, kann der erste Messpunkt angefahren werden.

Die Lastplatte ist dabei, falls nicht anders vorgegeben, im Bereich der rechten Radspur zu positionieren.

3.11 Starten der Messung

Ist der erste Messpunkt erreicht kann mit der Messung begonnen werden. Es sind hierfür folgende Schritte durchzuführen:

1. Anziehen der Handbremse.
2. Eingabe der Stationierung und Kontrolle ob die richtige Stationierungsrichtung angegeben ist (aufsteigend/absteigend).
3. Durch das Klicken der **Action** Schaltfläche (siehe Kapitel 3.6 [4] Screenshot – Datenerfassungsfenster) oder durch Drücken der Funktionstaste **F2**, wird die Messung gestartet.

4. Handelt es sich um den ersten Messpunkt, erscheint kurz darauf die Fehlermeldung **Error630: Transport locks**. Hierzu muss man aus dem Fahrzeug aussteigen und die Transportsicherung auf beiden Seiten herunterklappen.
5. Ist dies erfolgt, kann die Messung erneut durch das Klicken der **Action** Schaltfläche gestartet werden.
6. **Während der Messung ist es wichtig, auf den Drehzahlbereich des Zugfahrzeugs zu achten. Er sollte immer höher als 1200 U/Min sein (leichtes Gas geben).**
7. War die Messung erfolgreich, ertönt vom Notebook einer von vier unterschiedlichen Signaltönen (2 unterschiedliche Pieptöne, „on the road again“, „ready for takeoff“).
8. Lösen der Handbremse und Weiterfahrt zum nächsten Messpunkt.
9. wieder bei 1. beginnen.

3.12 Beenden der Messung

1. Nachdem die Messung abgeschlossen ist, ist das Feldprogramm FwdWind zu beenden (File -> Exit)
2. Das FWD Test-System mittel dem grünen ON/OFF Druckknopf an der Vorderseite der Remote Control Box auszuschalten (grüne LED erlischt).
3. Die Transportsicherungen sindwieder auf beiden Seiten hochzuklappen
4. Das Fallgewicht durch manuelles Entlasten der Hydraulik herabzulassen.
Dies wird durch das Drücken der, in Abbildung 24, gekennzeichneten Vertiefung mit einem spitzen Gegenstand (z.B. Kugelschreiberspitze, ...) erreicht.

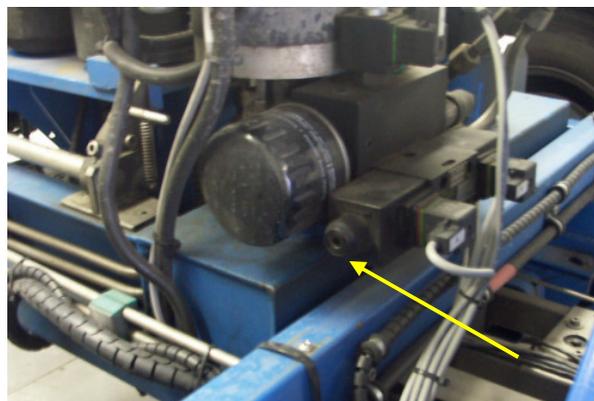


Abbildung 24: manuelles Entlasten der Hydraulik

5. Der Sicherungsstift für den Geophontragarm ist wieder in dessen Höchstposition anzubringen.
6. Ist dies erfolgt, kann das NATO Stromversorgungskabel und das Netzkabel abgesteckt, die Heckklappe geschlossen und die Mess-Stelle verlassen werden.

3.13 Auslesen der Messdaten

Die Messdaten werden für jedes Datenfile im Format einer Access Datenbank (*.mdb) im Ordner **C:\Program Files\Dynatest\FwdWin\data** gespeichert.

Von dort können sie, für die anschließende Weiterbearbeitung, mittels USB-Stick oder direkt über den Netzkabelanschluss in den jeweiligen Projektordner kopiert bzw. verschoben werden.

4 IM NOTFALL

4.1 Schnelles Verlassen der Mess-Stelle

Falls es notwendig ist, die Messstelle schnell zu verlassen:

1. Lösen der Handbremse! Dies hat zur Folge, dass sich die Lastplatte sofort hebt.
2. Warten bis die Lastplatte und der Geophontragarm sich vom Boden gehoben haben
3. Wegfahren

Achtung! Das automatische Heben der Lastplatte ist nur gegeben, wenn das Parksignalkabel richtig installiert ist!

4.2 Stoppen des Messvorgangs

Wenn sich z.B. eine Person dem Gerät nähert, kann es notwendig sein, die laufende Messung zu unterbrechen oder zu beenden. Drücken der **Esc** Taste oder der Funktionstasten **F1**, **F2** oder **F3** unterbricht die Messung.

5 DAS FELDPROGRAMM FWDWIN

Im folgenden Kapitel werden der Aufbau und die einzelnen Menüpunkte des Programms erläutert.

5.1 File

Unter dem Menüpunkt **File** können Datenfiles

- Neu erstellt -> **New**
- Geöffnet -> **Open**
- Geschlossen -> **Close**
- Exportiert -> **Export**
- und das Programm FwdWin beendet werden -> **Exit**

5.2 View

Unter dem Menüpunkt **View** können die in Kapitel 3.5 erwähnten Fenster ein- bzw. ausgeblendet werden.

5.3 Test Setup

Unter dem Menüpunkt **Test Setup** werden die Einstellungen für die Messung, d.h. die Größe der Versuchslast sowie die Anzahl der Schläge, erstellt und gespeichert.

Es besteht die Möglichkeit, ein neues Test Setup zu erstellen oder ein bereits erstelltes Test Setup auszuwählen oder zu verändern.

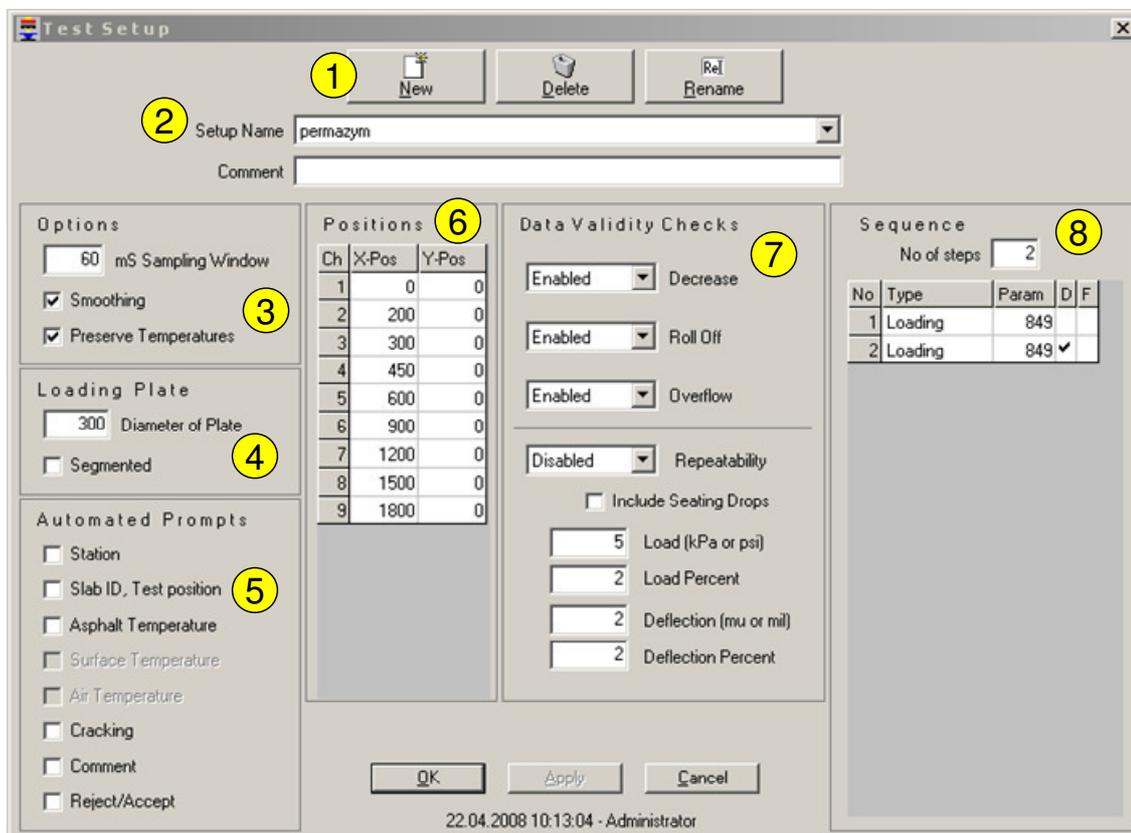


Abbildung 25: Screenshot – Test Setup

- [1] Erstellen, löschen und umbenennen eines Test Setups
- [2] In diesem drop-down Menü kann ein bereits erstelltes Test Setup ausgewählt werden
- [3] Aufzeichnungsdauer pro Schlag (=60 ms)
- [4] Durchmesser der Lastplatte (=300 mm), Checkbox ob es sich um segmentierte Lastplatte handelt
- [5] Mit Hilfe „Automated Prompts“ besteht die Möglichkeit unterschiedliche Informationen für jeden Messpunkt aufzuzeichnen
- [6] Abstände und Anzahl der aktiven Deflektionsaufnehmer (Geophone)
- [7] Data Validity Checks = Plausibilitätskontrolle der Messdaten
- [8] Sequence: Erstellen der Mess-Sequenz

Für Standardmessungen sollten zwei Schläge aufgebracht werden, wobei nur der zweite für die Auswertung herangezogen wird.

Zu **(7)** Data Validity Cecks

In diesem Bereich hat der Anwender die Möglichkeit, die Messdaten auf ihre Plausibilität zu überprüfen. Falls sie aktiviert sind (Enabled) bricht die Messung bei Nichteinhaltung ab und eine Fehlermeldung erscheint.

- **Decrease:** Es wird überprüft, ob die Deflektionswerte mit steigendem Abstand vom Lastzentrum abnehmen.
- **Roll Off:** Es wird überprüft, ob nach dem Belastungsschlag Nachvibrationen auftreten. Die Ursache hierfür kann z.B. Splitt unter einem Geophon oder vorbeifahrender Schwerverkehr sein.
- **Overflow:** Die Geophone sind in der Lage Deflektionen bis 2000 mm zu messen. Sollte ein Deflektionswert größer sein, kann dies die Genauigkeit der Geophone beeinträchtigen.
- **Repeatability:** Es wird die Wiederholbarkeit eines Schlags überprüft. Für den Toleranzbereich können einerseits Absolutwerte, andererseits auch ein Prozentsatz des Messwert angegeben werden

Zu **(8)** Sequence

Hier wird die Anzahl der Schläge pro Messpunkt (**No of Steps**) und die gewünschte Kraft (**Loading**) in kPa eingegeben werden.

Die Umrechnung von KN/m² auf kPa erfolgt über die Fläche der Lastplatte mit dem Faktor 0,0707 ($r^2\pi = 0,15^2 \pi = 0,0707$)

Für Standardmessungen sollten mindestens zwei Schläge aufgebracht werden, wobei nur der zweite für die Auswertung herangezogen wird.

5.4 Information

Im Menüpunkt **Information** finden sich einige Punkte die Auskunft über den Systemstatus geben.

- **Voltages**

Das Anzeigefenster Voltages gibt Auskunft über den Spannungszustand der Pufferbatterien des FWD-Anhängers, der Temperatursensoren, der Kraftzelle und der Geophone.

Wird eine Schaltfläche durch Klicken angewählt, erscheint die aktuelle Spannung in dem großen Sichtfenster. Dies ermöglicht im Falle einer Fehlfunktion das Ablesen aus einiger Entfernung.

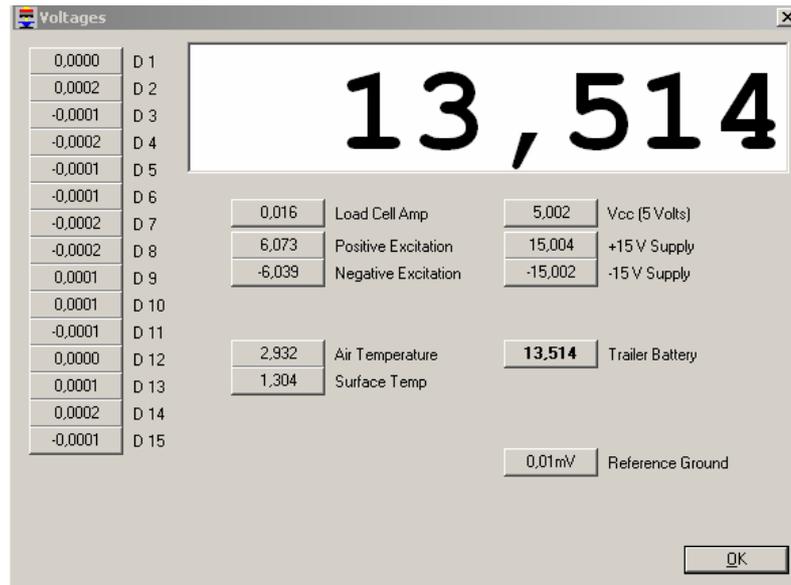


Abbildung 26: Screenshot- Voltages

Im linken Teil des Fensters ist die aktuelle Spannung der Geophone aufgelistet.

Diese sollte annähernd Null sein. Falls der Anzeigewert eines, oder mehrerer Geophone variiert, können Vibrationen bzw. ein defektes Geophon die Ursache sein.

- **Drift/Vibrations**

Nach Anwählen dieses Menüpunkts erscheint ein Echt-Zeit-Diagramm der Ausgabewerte der Geophone und der Kraftmessdose.

Auf der x-Achse ist die Zeit in Millisekunden aufgetragen und auf der y-Achse die Ausgabewerte der Geophone (positiv nach unten) und der Kraftmessdose (positiv nach oben).

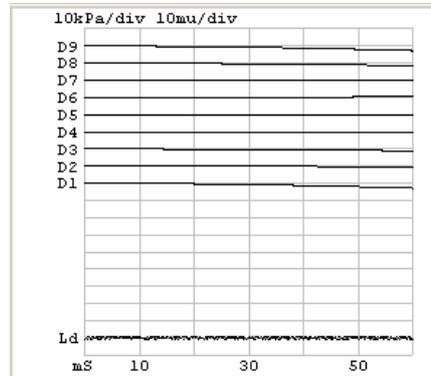


Abbildung 27: Screenshot – Drift/Vibrations

Die Horizontalen Linien repräsentieren im Bereich der Deflektionen einen Messwert von 10 Mikron und im Bereich der Kraftzelle einen Messwert von 10 kPa.

Zur Kontrolle des Systemstatus ist die Lastplatte mit dem Geophontragarm auf die Straßenoberfläche abzusenken. Die Geophone und die Lastplatte funktionieren ordnungsgemäß, wenn die entsprechenden Linien nahezu horizontal verlaufen und mit ihrer Basislinie übereinstimmen.

Fall die Ausgabewerte aller Geophone einen Ausschlag aufweisen, ist es wahrscheinlich, dass Vibrationen (z.B. vorbeifahrender Verkehr) die Ursache für diesen Ausschlag sind.

Schlägt jedoch nur ein Geophon aus, ist die ein Hinweis auf dessen Fehlfunktion.

- **Statistics**

In diesem Menü finden sich Aufzeichnungen über die Messgeschichte und die letzte Messequenz.

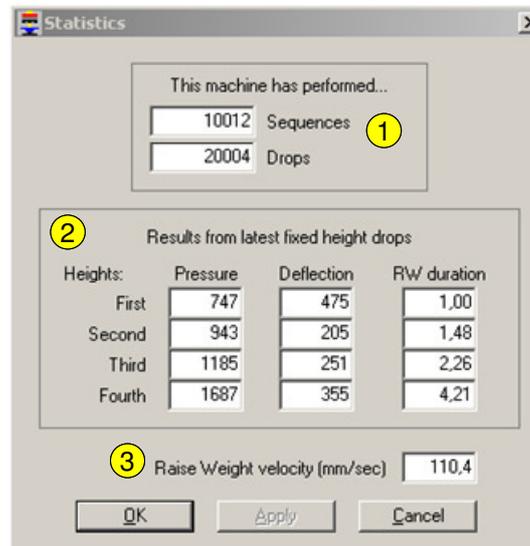


Abbildung 28: Screenshot - Statistics

[1] Anzahl aller mit dem FWD durchgeführten Messsequenzen und Schläge. Die Anzahl der Messungen und Belastungsschläge kann jedoch überschrieben werden.

[2] Für den jeweils Letzten von einer der vier voreingestellten Fallhöhen ausgeführten Schläge:

- Größe des Drucks auf die Lastplatte
- Maximal - Deflektion in Plattenmitte
- Zeit die für das Anheben des Fallgewichts erforderlich war,

[3] Geschwindigkeit, mit der das Fallgewicht gehoben wurde in mm/Sek.

Es wird empfohlen, die Werte aus [2] und [3] zu notieren wenn das System einwandfrei funktioniert oder nachdem das FWD zum Service bei Dynatest war. Diese Werte stellen eine gute Vergleichsmöglichkeit für spätere Zeitpunkte dar.

5.5 Manual Control

Im Untermenü **Manual Control** hat der Benutzer die Möglichkeit das Test-System manuell zu kontrollieren bzw. zu steuern.

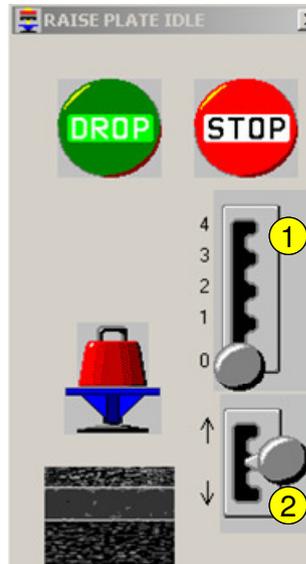


Abbildung 29: Screenshot – Manual Control

[1] Mit dem Raise Weight – Schalthebel wird das Fallgewicht angehoben. Es können hierbei die vier voreingestellten Fallhöhen angewählt werden. Das Symbol des Fallgewichts bewegt sich mit der Steuerung mit, so dass ersichtlich ist in welcher Höhe sich das Fallgewicht gerade befindet.

[2] Mit dem Raise/Lower Plate – Schalthebel kann die Lastplatte angehoben und abgesenkt werden.

Der Drop Druckknopf löst das Fallgewicht aus, und der Stop Druckknopf bricht jede gerade laufende Aktion ab.

5.6 Setup

Unter dem Menüpunkt Setup ist es möglich, die Einstellungen der einzelnen Gerätekomponenten einzusehen. Diese sind grundsätzlich **nicht** zu verändern.

Im Folgenden sind Screenshots sämtlicher Einstellungen des einwandfrei funktionierenden Test Systems dargestellt. Dies soll im Falle einer Fehlfunktion das Auffinden einer eventuellen Fehlerquelle erleichtern/ermöglichen.

Weiters besteht die Möglichkeit die Temperatursensoren sowie das Distanzmessgerät über dieses Menü zu kalibrieren.

Der genaue Ablauf der Kalibrierungen kann der Arbeitsanweisung „AA 611 Kalibrieranweisungen für das Falling Weight Deflektometer (FWD)“ entnommen werden.

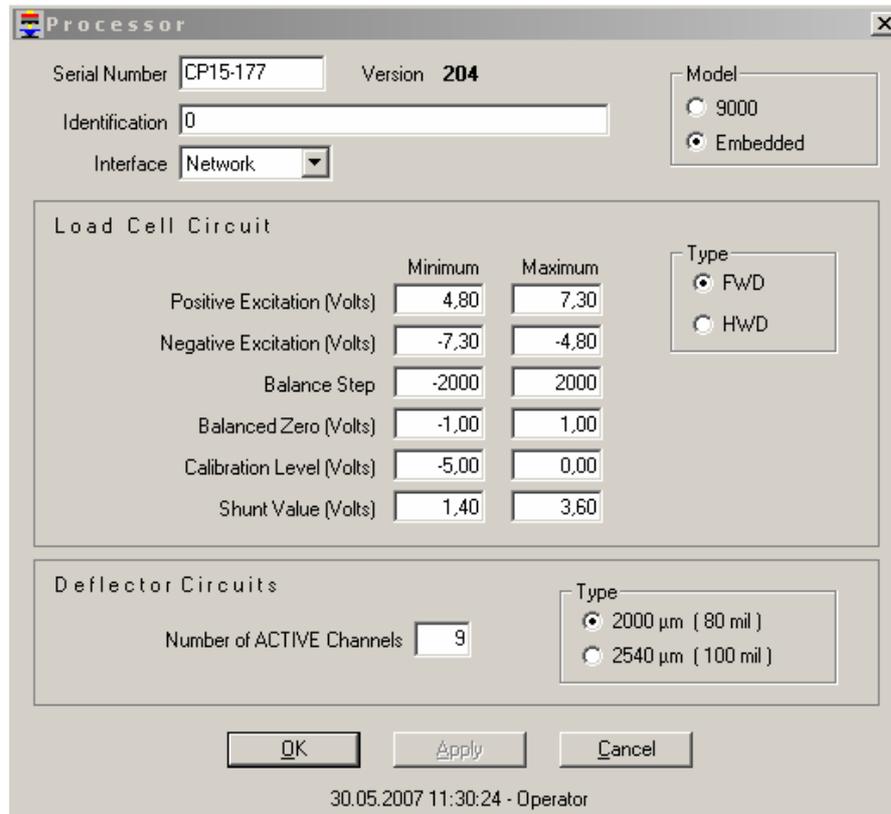


Abbildung 30: Screenshot Processor

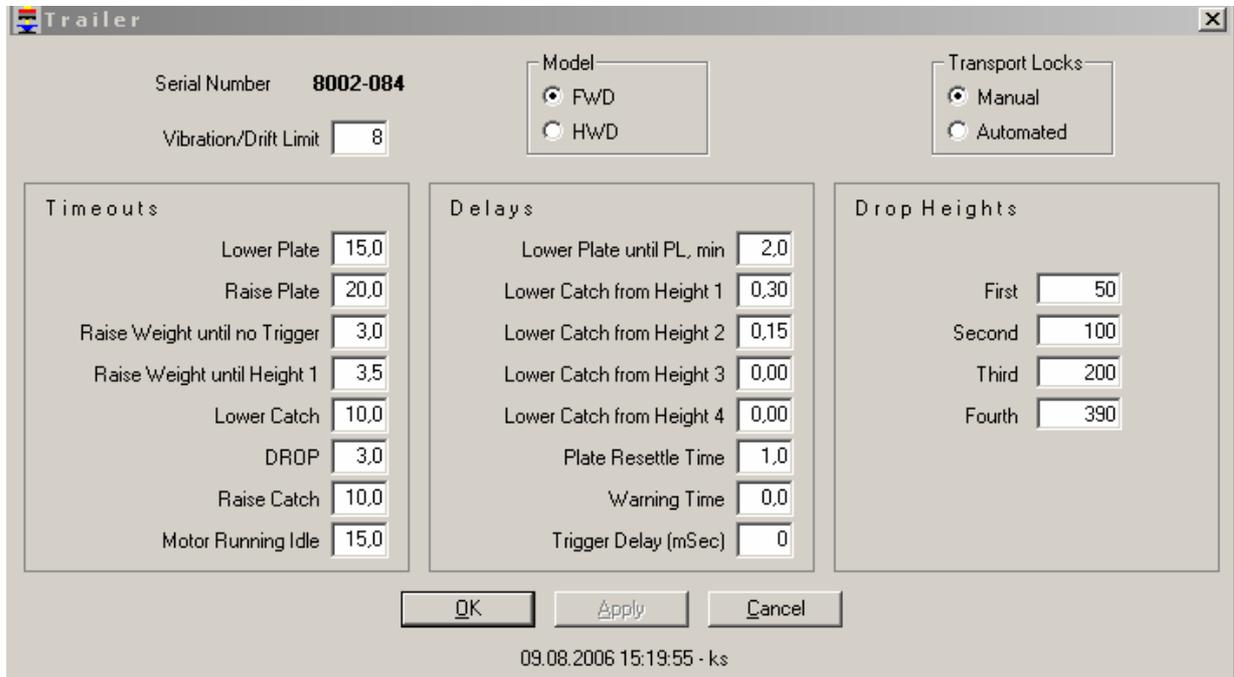


Abbildung 31: Screenshot Trailer

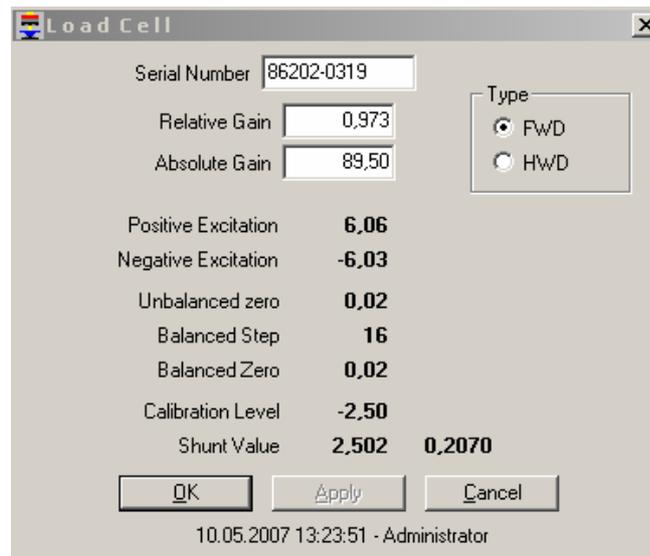


Abbildung 32: Screenshot Load Cell

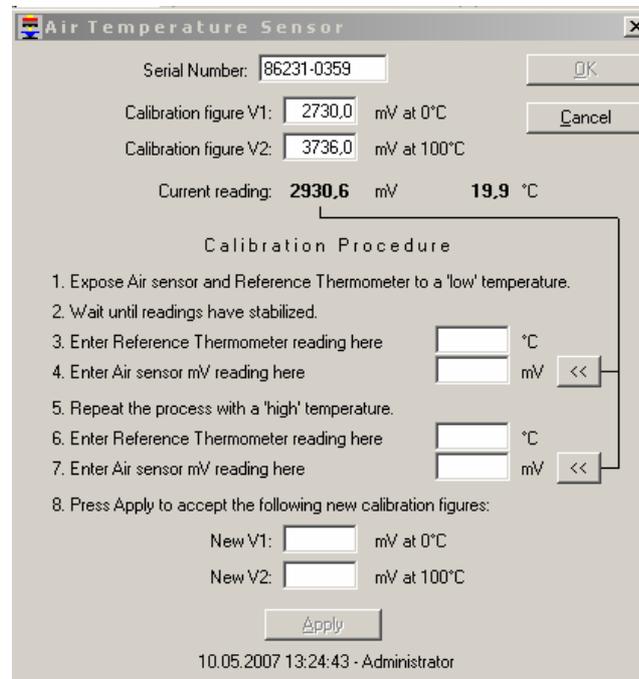


Abbildung 33: Screenshot Air Temperatur Sensor

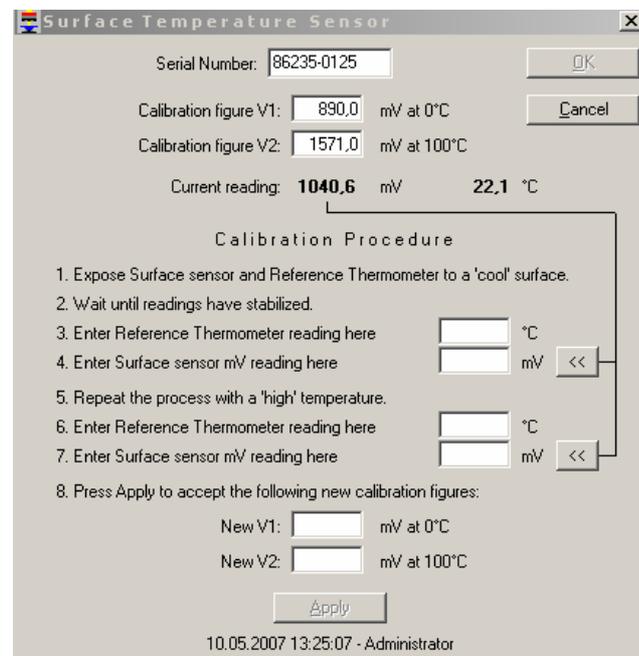
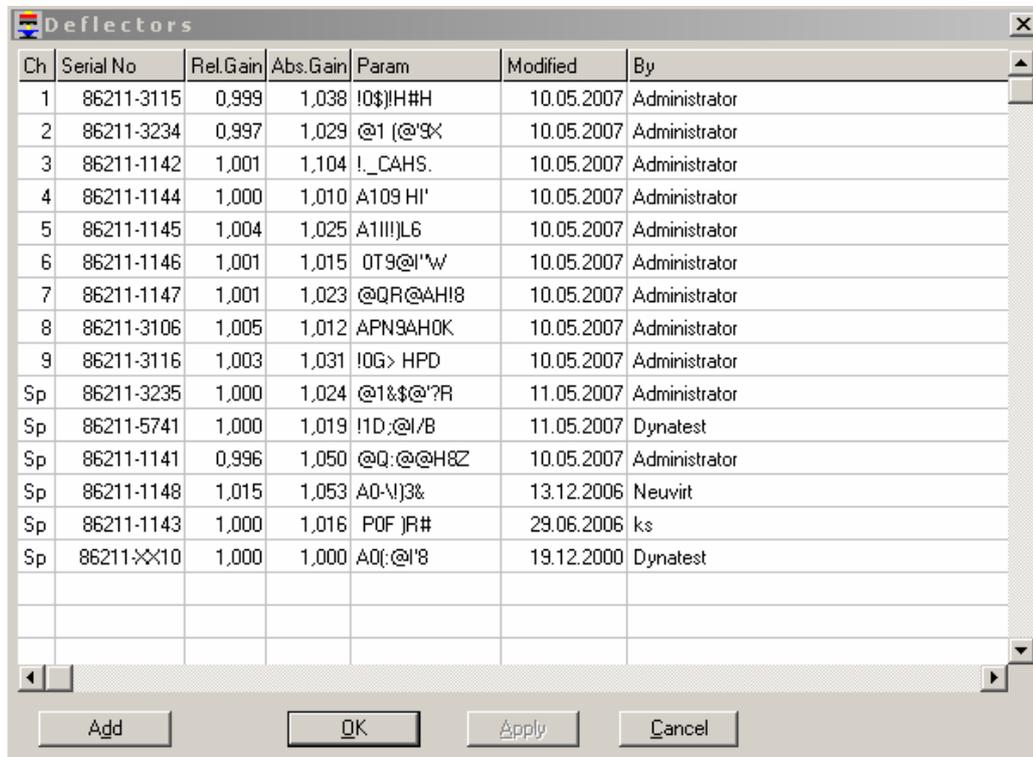
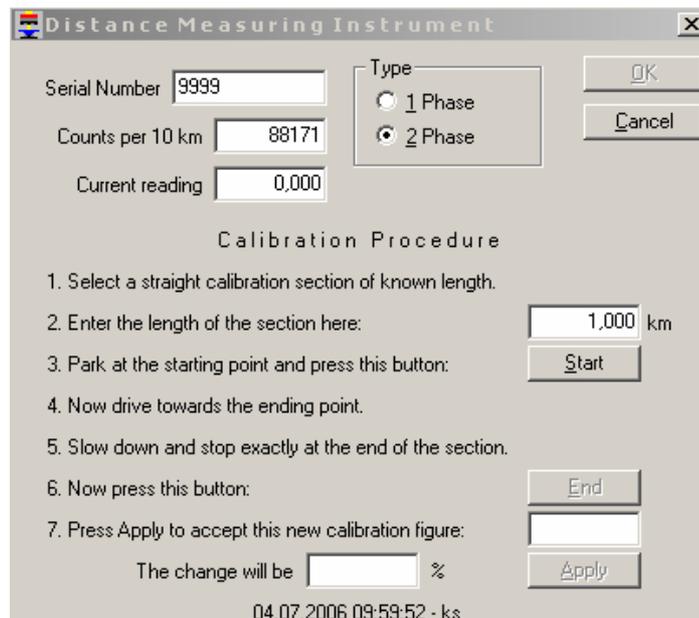


Abbildung 34: Screenshot Surface Temperatur Sensor



Ch	Serial No	Rel.Gain	Abs.Gain	Param	Modified	By
1	86211-3115	0,999	1,038	!0\$)IH#H	10.05.2007	Administrator
2	86211-3234	0,997	1,029	@1 (@'9K	10.05.2007	Administrator
3	86211-1142	1,001	1,104	!_CAHS.	10.05.2007	Administrator
4	86211-1144	1,000	1,010	A109 HI'	10.05.2007	Administrator
5	86211-1145	1,004	1,025	A1111JL6	10.05.2007	Administrator
6	86211-1146	1,001	1,015	0T9@!'W	10.05.2007	Administrator
7	86211-1147	1,001	1,023	@QR@AH!8	10.05.2007	Administrator
8	86211-3106	1,005	1,012	APNSAHOK	10.05.2007	Administrator
9	86211-3116	1,003	1,031	!0G> HPD	10.05.2007	Administrator
Sp	86211-3235	1,000	1,024	@1&\$@'?R	11.05.2007	Administrator
Sp	86211-5741	1,000	1,019	!1D:@!B	11.05.2007	Dynatest
Sp	86211-1141	0,996	1,050	@Q:@@H8Z	10.05.2007	Administrator
Sp	86211-1148	1,015	1,053	A0-V)3&	13.12.2006	Neuvirt
Sp	86211-1143	1,000	1,016	P0F)R#	29.06.2006	ks
Sp	86211-XX10	1,000	1,000	A0(:@!'8	19.12.2000	Dynatest

Abbildung 35: Screenshot Deflectors



Distance Measuring Instrument

Serial Number: 9999

Counts per 10 km: 88171

Current reading: 0,000

Type: 1 Phase 2 Phase

Calibration Procedure

- Select a straight calibration section of known length.
- Enter the length of the section here: km
- Park at the starting point and press this button:
- Now drive towards the ending point.
- Slow down and stop exactly at the end of the section.
- Now press this button:
- Press Apply to accept this new calibration figure:

The change will be %

04.07.2006 09:59:52 - ks

Abbildung 36: Screenshot DMI

6 KONFIGURATION DES FWDS

Folgende Inhalte sind aus dem Dynatest User Manual übersetzt und für die Durchführung der FWD-Messung nicht erforderlich.

6.1 Kontrolle der FWD Hardware

Vier Druckknöpfe sowie mehrere LED-Leuchten am Frontpaneel des Compact 15 sind für die manuellen Kontrolle und den Betrieb des FWD vorhanden. Die Druckknöpfe können erst nach Drehen und Halten des MAN Schlüssels im Uhrzeigersinn bedient werden. Die Betätigung des MAN Schlüssels deaktiviert die Steuerung des FWDS durch den Computer im Zugfahrzeug.

Sicherheitshinweis!

Falls sich eine Person in der Nähe von beweglichen Teilen des FWDS befindet, ist sicherzustellen dass die Energiezufuhr ausgeschaltet ist!

(ON.KEY auf OFF und falls die Steuerungsbox im Zugfahrzeug angeschlossen ist muss der SYSTEM ON Schalter auf OFF stehen. Kein LED am Compact 15 Kontrollpaneel darf leuchten)

Im Folgenden wird beschrieben, wie die FWD Hardware vorzubereiten und zu kontrollieren, ist. Der MAN Schlüssel muss gedreht sein, um die manuelle Steuerung über das Kontrollpaneel zu aktivieren.

1. Im hochgefahrenen Zustand (Transportstellung) des Fallgewichts ist zu kontrollieren ob der Deflektionshalter an der Unterseite der Lastplatte ca. 10-20 mm herausragt.
2. Kontrolle der Federn, der (Schaum-)Gummiführung und der Einstellung aller Deflektionsaufnehmer - Halterungen. Es ist sicherzustellen, dass die Spannung der Feder richtig eingestellt ist.

3. Kontrolle, ob das Kabel für den Hubstempel richtig an beiden Führungsrollen/Umlenkrollen/Lenkrollen positioniert ist
4. Bei gedrehten MAN Schlüssel kurz den RP (Raise Plate) Druckknopf betätigen, so dass das Fallgewicht auf seine Höchstposition hochgefahren wird. Dies führt zu einer Entlastung der Transportsperre
5. Entriegeln der Transportsperre. Falls eine automatische Transportsperre vorhanden ist, wird diese durch Drücken des LC Knopfes entriegelt.
6. Entfernen des Sicherungsstifts am vordersten Ende des Hubstempels
7. Die Lastplatte durch Drücken des LP/RW (Lower Plate/Raise Weight) Knopfes auf den Boden absenken. Der LP/RW Knopf soll hierbei gedrückt bleiben, bis der PL LED erlischt.
8. Kontrolle, ob das vordere Ende des Hubstempel nun am *Boden aufliegt*
9. Durch Drücken des RP Druckknopfes die Platte wieder anheben. Kontrolle, ob der Hubstempel gleichzeitig mit der Lastplatte nach oben fährt. Den RP Knopf solange gedrückt halten, bis die Platte ihre Höchstposition erreicht hat.
10. Befindet das FWD sich noch nicht auf der Messstelle, wird die Transportsperre wieder verriegelt. Es ist sicherzustellen, dass die Transportsperre auf **BEIDEN** Seiten eingerastet ist. Ist dies der Fall, ist der LP/RW Druckknopf so lange zu drücken, bis der Motor stoppt.
11. Verriegeln des Hubstempels
12. Falls erwünscht, kann nun die Fallhöhe eingestellt werden. (siehe dazu 6.2)

6.2 Einstellen der Fallhöhe

An der hinteren vertikalen Schiene der Fallgewichtsgruppe sind vier verstellbare Auslöser (Haltepunkte) platziert. Ihnen gegenüber befindet sich ein Näherungssensor (bezeichnet „WH“ = Weight High), welcher aktiviert wird, sobald er von einem der Auslöser passiert wird.

Sicherheitshinweis!

Vor dem Ändern der Fallhöhereinstellungen müssen die Lastplatte auf ihrer Höchstposition und das Fallgewicht mit der Transportsicherung gesichert sein.

Der Stopp für die größte Fallhöhe wird als Haltepunkt Nr. 1 (zugehörig zur Höhe h1) bezeichnet. Dies ist der erste Punkt, welcher den Näherungssensor passiert, wenn das Gewicht gehoben wird. Die aktuelle Höhe h1 kann als vertikaler Abstand der Oberkante des Haltepunkt Nr. 1 bis zur oberen Kante des Näherungssensors gemessen werden, wenn das Fallgewicht sich in seiner Ausgangsposition befindet.

Die Fallhöhen h2, h3 und h4 können auf dieselbe Weise gemessen werden.

Im Feldprogramm kann das Menü „load targeting“ ausgewählt werden um die Fallhöhen zu definieren. Dies ist jedoch im Normalfall nicht erforderlich wenn die Haltepunkte bereits vernünftig gewählt wurden (z.B. h1=50 mm, h2=100 mm, h3= 200 mm, h4=390 mm)

Folgende Regeln sind bei der Wahl der Haltepunkte zu berücksichtigen:

1. $h1 < h2 < h3 < h4$
2. Jeder der Haltepunkte ist abnehmbar. Es ist jedoch wichtig, dass alle vier Haltepunkte gesetzt sind, da der COMPACT15 auf das Erfassen von vier Impulsen des Näherungssensors programmiert ist.
3. h1 sollte nicht kleiner als 50 mm und nicht größer als 100 mm sein
4. Der Abstand zwischen zwei Haltepunkten sollte nicht kleiner als 50 mm sein
5. h4 sollte nicht größer als 390 mm sein

Das Verstellen der Haltepunkte erfolgt mittels einem 4 mm Inbusschlüssel. Der Haltepunkt ist dabei nur so weit zu lösen, dass er sich bewegen lässt und danach wieder vorsichtig anzuziehen um die Führungsschiene nicht zu beschädigen.

Soll eine bestimmte Höchstlast aufgebracht werden kann die folgende theoretische Gleichung zur Ermittlung der erforderlichen Fallhöhe herangezogen werden:

$$h \text{ [mm]} = (P_{\max}/k)^2$$

Der Beiwert k ist vom gewählten Belastungsmodus abhängig und für Lastplatten mit einem Durchmesser von 300mm geeignet. Falls eine Lastplatte mit einem Durchmesser von 450mm zum Einsatz kommt, muss der Wert durch 2,25 dividiert werden.

Bevor die Fallhöhe ermittelt werden kann ist es jedoch notwendig, die geeignete Gewichtseinstellung (50, 150, 250 oder 350 kg) aus folgender Tabelle zu wählen.

Gewicht [kg]	k [KN]
350	6
250	4,2
150	2,5
50	1

Tabelle 2

Gewicht [kg]	Lastbereich [KN]
350	40-120
250	27-85
150	16-50
50	7-20

Tabelle 3

6.3 Ändern der Gewichtseinstellung

Durch das Ändern der Masse des Fallgewichts kann jeder Lastbereich zwischen 7 KN und 120 KN ausgewählt werden.

Das Fallgewicht besteht grundsätzlich aus einem 50 kg Gewicht zu welchem nach Bedarf vier, acht oder 12 der abnehmbaren 25 kg Gewichte hinzugefügt werden können. Zu der jeweiligen Gewichtseinstellung (50, 150, 250 oder 350 kg) muss die richtige Anzahl an Gummipuffern (2,4 oder 6) montiert sein.

Um das Gewicht zu ändern, sind folgende Schritte durchzuführen:

1. Einschalten des Compact15
2. Lösen der Transportsperre durch Drehen des MAN-Schlüssels und kurzes Drücken de RP Druckknopfes
3. Lösen der Transportsperre durch Drücken des LC Druckknopfes
4. Drehen des MAN-Schlüssel und gleichzeitiges Drücken des LP/RW Druckknopfes bis die Lastplatte komplett am Boden aufsitzt und die Gewichte so weit gehoben sind, dass die zwei Sicherheitshalterungen im Uhrzeigersinn gedreht werden können und auf der Seite der Gewichtsgruppe angelehnt sind.
5. Drehen des MAN-Schlüssels und erneutes Drücken des LP/RW Druckknopfes bis die Sicherheitshalterung in ihre Sperrposition einrastet.
6. Eventuell kann das Gewicht, durch manuelles Aktivieren des „A“ Schiebers/Ventil (der/das nächstliegenden zum Hydraulikölfilter), mittels Schraubenzieher auf die Sicherheitshalterungen herabgelassen werden. **Nie den LC Druckknopf für diese Einstellung verwenden!**
7. Die komplette Energiezufuhr ausschalten (nur grüne LED mit der Bezeichnung „12V Bat.“ leuchtet)
8. Die Gummipuffer nach Aufschrauben der entsprechenden Schnellspannverschlüsse entfernen
9. Entfernen oder Hinzufügen, der gewünschten 25kg Gewichte, bis die gewünschte Masse erreicht ist
10. Anbringen der Gummipuffer, entsprechend der gewählten Gewichtseinstellung, wie im folgenden erläutert:

50 kg (keine zusätzlichen 25kg Gewichte)

Anbringen von zwei kleinen (70mm) Puffern, je einen in den mittleren Steckplatz auf beiden Seiten des Gewichts.

150 kg (vier zusätzliche 25kg Gewichte, zwei auf jeder Seite)

Anbringen von zwei großen Puffern, je einen in den mittleren Steckplatz auf beiden Seiten des Gewichts. Zusätzliches Anbringen von zwei langen PVC Abstandhalter.

250 kg (acht zusätzliche 25kg Gewichte, vier auf jeder Seite)

Anbringen von vier großen Puffern, jeweils in den zwei äußeren Steckplätzen auf beiden Seiten des Gewichts. Zusätzliches Anbringen von vier kurzen PVC Abstandhalter.

350 kg (zwölf zusätzliche 25kg Gewichte, sechs auf jeder Seite)

Anbringen von sechs großen Puffern, drei auf jeder Seite des Gewichts.

Anmerkung: Wenn die Gummipuffer angebracht sind, ist es sehr wichtig, dass die Erhöhung in deren Mitte in die dafür vorgesehene Aussparung an der Unterseite des Gewichts passt, sodass der Puffer sich nicht seitwärts bewegen kann.

11. Einschalten der COMPACT15 Stromversorgung
12. Anheben des Gewichts um ca. 5 cm (LP/RW Druckknopf) und sicherstellen, dass beide Sicherheitshalterungen abwärts in ihre Ausgangsposition zurückfallen
13. Das Gewicht komplett herunterfahren (LC Druckknopf)
14. Das Gewicht um 5-10 cm anheben (LP/RW Druckknopf)
15. Das Fallgewicht auslösen durch gleichzeitiges Drücken des LP/RW und des roten DROP Druckknopfes (den DROP Knopf als erstes drücken und als letztes loslassen)
16. LC drücken
17. Nachspannen der Schnellspanverschlüsse
18. Wiederholen von Schritt 14. bis 17. mit maximaler (bzw. maximal für den Untergrund zulässigen) Fallhöhe
19. Falls nicht sofort gemessen werden soll RP drücken und alle Transportsperrern verriegeln
20. Ausschalten des Compact15

Anmerkung: Hin und wieder, jedoch vor allem nach einer Änderung der Gewichtseinstellung sollte nachgeprüft werden ob sich keiner der Spannverschlüsse gelockert hat

7 MITGELTENDE UNTERLAGEN UND NORMEN

Dynatest FWD/HWD „Owner`s Manual“

AA 611 – Kalibrieranweisungen für das Falling Weight Deflektometer (FWD)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

Technische Universität Wien

Labor des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung

AA 610

**Tragfähigkeitsmessungen mit dem
Falling Weight Deflektometer (FWD)**

Ausgabe 1

Seite 44 von 46

8 VERTEILER

QMH

AGL

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Dynatest FWD 8002.....	3
Abbildung 2: Funktionsschema FWD (Fuchs, 2001)	4
Abbildung 3 Anschlüsse Zugfahrzeug	6
Abbildung 4: Dynatest 8002 FWD Anhänger.....	7
Abbildung 5: Frontpaneel des Compact 15.....	8
Abbildung 6 Remote Control Box (vorne/hinten).....	9
Abbildung 7: Remote Control Box inkl. Parksinal - Kurzschlussstecker	9
Abbildung 8 Anhängervorrichtung, Sicherungsleine, Stützrad.....	12
Abbildung 9 Rücklichtverbindung.....	13
Abbildung 10 Transportsicherung	13
Abbildung 11 Sicherungsstift Geophonarm	13
Abbildung 12 Handbremse FWD Anhänger	14
Abbildung 13 NATO Stecker (links), Anschlussbild (rechts).....	15
Abbildung 14: Anschlussbild Remote Control Box	15
Abbildung 15 Anschluss Netzwerkkabel	16
Abbildung 16: ISTU - Bus während einer Messfahrt.....	16
Abbildung 17: Schema einer Bohrlochtemperaturmessung	17
Abbildung 18: Screenshot - Programmstart	19
Abbildung 19: Screenshot - Benutzeroberfläche FwdWin	20
Abbildung 20: Screenshot - Datenerfassungsfenster.....	21
Abbildung 21: Screenshot – Erstellen eines neuen Datenfiles	22
Abbildung 22: Screenshot- Beispiel für die Eingabe der Streckendaten	23
Abbildung 23: Screenshot – Sequence	23
Abbildung 24: manuelles Entlasten der Hydraulik.....	25
Abbildung 25: Screenshot – Test Setup	28
Abbildung 26: Screenshot- Voltages.....	30
Abbildung 27: Screenshot – Drift/Vibrations	31
Abbildung 28: Screenshot - Statistics.....	32



AA 610

**Tragfähigkeitsmessungen mit dem
Falling Weight Deflektometer (FWD)**

Ausgabe 1

Seite 46 von 46

Abbildung 29: Screenshot – Manual Control	33
Abbildung 30: Screenshot Processor	34
Abbildung 31: Screenshot Trailer	35
Abbildung 32: Screenshot Load Cell	35
Abbildung 33: Screenshot Air Temperatur Sensor	36
Abbildung 34: Screenshot Surface Temperatur Sensor	36
Abbildung 35: Screenshot Deflectors	37
Abbildung 36: Screenshot DMI	37

AA 611 – Kalibrieranweisungen für das Falling Weight Deflektometer (FWD)

Inhalt

1	Allgemeines.....	2
2	Kalibrieranweisung zur Überprüfung der Position der Deflektionsaufnehmer	4
2.1	Intervall	4
2.2	Prüfgeräte	4
2.3	Durchführung	4
2.4	Auswertung	4
3	Kalibrieranweisung zur Kurzzeit-Wiederholbarkeitsüberprüfung.....	5
3.1	Intervall	5
3.2	Prüfgeräte	5
3.3	Durchführung	5
3.4	Auswertung	6
4	Kalibrieranweisung zur Langzeit-Wiederholbarkeitsprüfung	7
4.1	Intervall	7
4.2	Durchführung	7
4.3	Auswertung	7
5	Relative Kalibrierung der FWD-Deflektionsaufnehmer.....	8
5.1	Intervalle.....	8
5.2	Prüfgeräte	8
5.3	Durchführung	8
5.4	Auswertung	9
6	Referenzkalibrierung des FWD-Distanzmessgerätes	9
6.1	Intervall	9
6.2	Prüfgeräte	9
6.3	Durchführung	10
7	Verteiler	11
8	Mitgeltende Unterlagen und Normen	11
9	Beilagen	11

1 ALLGEMEINES

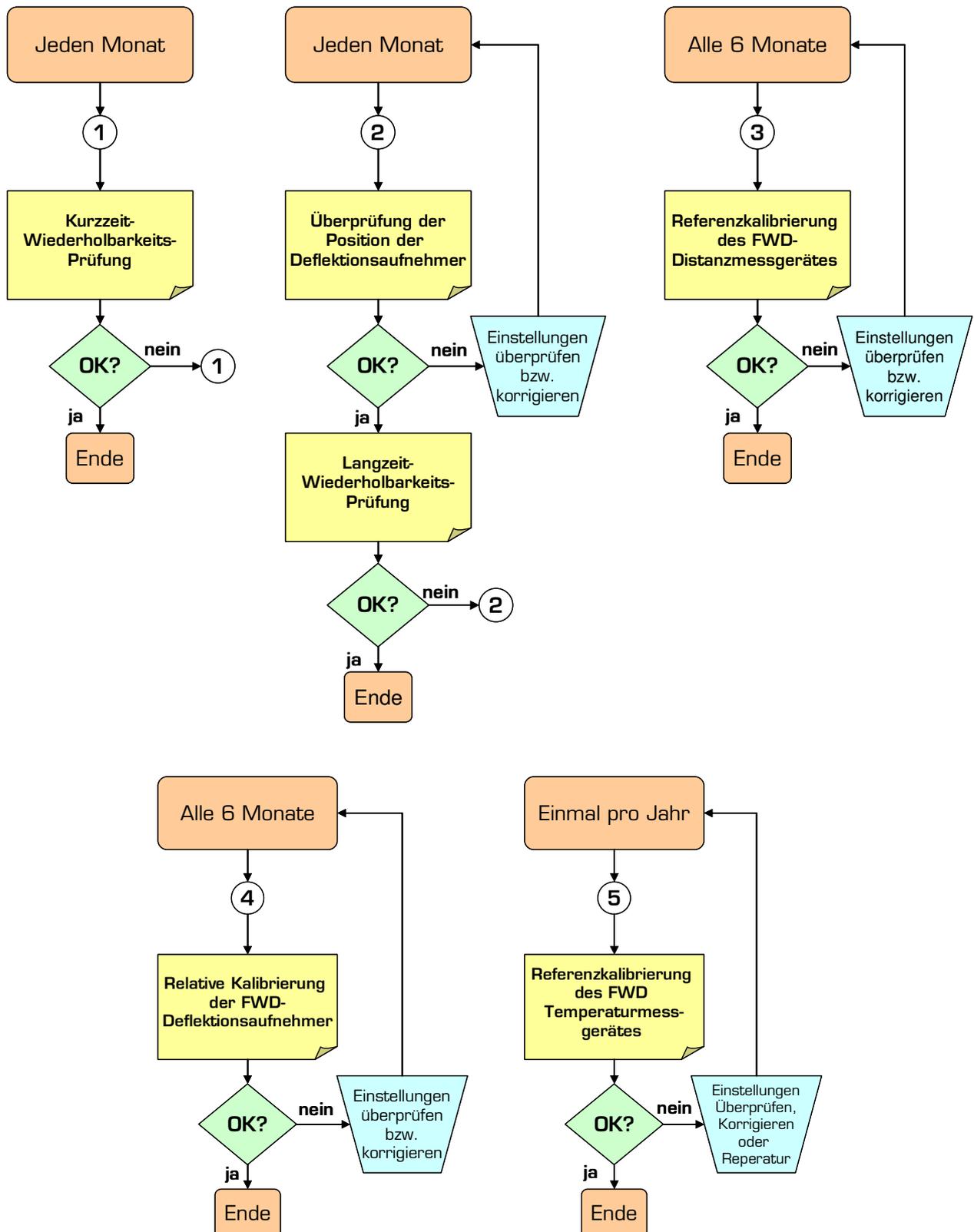
Um die Vergleichbarkeit und Richtigkeit der gemessenen Deflektionen zu gewährleisten ist es erforderlich die Bestandteile des FWDs regelmäßig zu kalibrieren.

Die Durchführung und Auswertung der folgenden Kalibrierverfahren wird in dieser Arbeitsanweisung behandelt:

- Überprüfung der Position der Deflektionsaufnehmer
- Kurzzeit-Wiederholbarkeitsprüfung
- Langzeit-Wiederholbarkeitsprüfung
- Relative Kalibrierung der FWD- Deflektionsaufnehmer
- Referenzkalibrierung des FWD- Temperaturmessgerätes
- Referenzkalibrierung des FWD- Distanzmessgerätes

Die Durchführung der Referenzkalibrierung der FWD- Temperaturmessgeräte (Oberflächen- und Lufttemperatursensor) ist sehr aufwendig und sollte im Zuge der Wartung und Inspektion von der Firma Dynatest durchgeführt werden.

Die Reihenfolge und Häufigkeit in der die Kalibrierungen durchzuführen sind, sind in Folgendem Flussdiagramm dargestellt.



2 KALIBRIERANWEISUNG ZUR ÜBERPRÜFUNG DER POSITION DER DEFLEKTIONS-AUFNEHMER

Ziel dieser Kalibrieranweisung ist es, die genaue Position und Montage der Deflektionsaufnehmer entlang des Messbalkens zu prüfen, um falsche Analyseergebnisse und damit verbundene falsche Einschätzungen von Konstruktionen zu vermeiden.

2.1 Intervall

Die Kalibrierung ist einmal monatlich bzw. jedes Mal, wenn Deflektionsaufnehmer verschoben werden sollen bzw. bewegt worden sind durchzuführen.

2.2 Prüfgeräte

- Referenzmaßband
- Kartonstreifen (20 x 200 cm)

2.3 Durchführung

1. Auf dem Kartonstreifen werden mittels Lackstift und Maßband die Soll-Positionen der Deflektionsaufnehmer markiert. Beim Anbringen der Markierungen ist zu berücksichtigen, dass der Kartonstreifen an die Lastplatte angelegt wird. Dies bedeutet, dass von dem Abstand zwischen den beiden ersten Deflektionsaufnehmern der Radius der Lastplatte abzuziehen ist.
2. Der FWD-Anhänger wird auf eine glatte und ebene Fläche aufgestellt.
3. Die Lastplatte wird manuell auf den Boden abgesenkt.
4. Der Kartonstreifen wird unter dem Geophontragarm an die Lastplatte angelegt.
5. Der Geophontragarm wird nun heruntergelassen, so dass die Stifte der Geophone Löcher in den Kartonstreifen drücken
6. Der Geophontragarm wird wieder angehoben und der Kartonstreifen entfernt.

Eine alternative Ausführung auf weißem Papier ist ebenfalls möglich, wenn dazu die Stifte der Deflektionsaufnehmer mit Tinte eingefärbt werden.

2.4 Auswertung

Die gemessenen Abstände sind in das Kalibrierprotokoll F611-1 einzutragen.

Anschließend ist zu prüfen, inwieweit die geforderten Positionierungen den tatsächlichen entsprechen, bzw. ob die Abweichungen noch im Toleranzbereich (4 mm + 0,5% des radialen Abstandes) liegen.

Falls die Abweichungen außerhalb des Toleranzbereichs liegen sind die jeweiligen Deflektionsaufnahmehalterungen zu lockern und auf die richtige Position zu verschieben. Anschließend sind die Halterungen wieder festzuziehen.

3 KALIBRIERANWEISUNG ZUR KURZZEIT-WIEDERHOLBARKEITSÜBERPRÜFUNG

Diese Kalibrieranweisung hat das Ziel, zu überprüfen, ob das FWD in der Lage ist für einen Versuchsstandort einheitliche Ergebnisse zu liefern.

Zur Überprüfung der Kurzzeit-Wiederholbarkeit der FWD Messung werden an einem Messpunkt zwölf aufeinander folgende Schläge ausgeführt. Anschließend wird die Standardabweichung der umgerechneten Deflektionen s_d sowie die Standardabweichung der Versuchslast s_F ermittelt, wobei die ersten beiden Schläge nicht in die Analyse einfließen.

Die ermittelten Standardabweichungen müssen, falls das Gerät einwandfrei funktioniert, kleiner als ein bestimmter Vorgabewert sein.

Die Ergebnisse der Kurzzeitwiederholbarkeitsüberprüfung werden weiters für die Überprüfung der Langzeitwiederholbarkeit herangezogen. Es ist daher darauf zu achten, dass die Überprüfung stets am selben Messpunkt mit identischer Versuchslast durchgeführt wird.

3.1 Intervall

Die Überprüfung muss mindestens einmal im Monat durchgeführt werden.

3.2 Prüfgeräte

- FWD Dynatest 8002 Test-System
- Temperaturmessgerät

3.3 Durchführung

1. Das FWD wird auf einer glatten, ebenen Fläche ohne sichtbare Risse, mit Schutz vor der Witterung, in der Nähe des FWD- Stützpunktes aufgestellt.
2. Die Asphalttemperatur T_{Asphalt} wird in der Mitte der Asphaltsschicht mittels Bohrlochtemperaturmessung bestimmt.
3. Der Messpunkt ist dauerhaft zu markieren

4. Die Größe des Lastimpulses ist so zu wählen das im Lastzentrum eine Deflektion zwischen 250 µm und 600 µm auftritt. Bei der ersten Durchführung kann die Belastung frei gewählt werden. Bei den darauf folgenden monatlichen Überprüfungen ist diese Belastung beizubehalten.
5. Im Feldprogramm FwdWin ist das Testsetup „Short time repeatability 12 drops“ zu wählen
6. Der Messpunkt wird durch wiederholtes Aufbringen von 12 Schlägen so lange konditioniert bist die gemessenen Lasten und Deflektionen fast gleichmäßig sind. Es darf hierbei keine stetig zu- oder abnehmende Tendenz erkennbar sein.
7. Ist dies erfolgt wird die tatsächliche Messung durchgeführt und die erhaltenen Messdaten aufgezeichnet.

3.4 Auswertung

Die Belastung, die gemessenen Deflektionen sowie die Asphalttemperatur werden anschließend in das Kalibrierprotokoll F611-2 eingetragen, wobei die ersten zwei Schläge für die weitere Berechnung weggelassen werden.

Die Standardabweichung der Last s_F sowie der normierten Deflektionen s_{dj} errechnet sich zu:

$$s_{dj} = \sqrt{\frac{10 * \sum_{i=1}^{10} d_{ij}^2 - (\sum_{i=1}^{10} d_{ij})^2}{10 * (10 - 1)}}$$

$$s_F = \sqrt{\frac{10 * \sum_{i=1}^{10} F_i^2 - (\sum_{i=1}^{10} F_i)^2}{10 * (10 - 1)}}$$

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Die Standardabweichung der Last $s_F \leq 2\%$ des Mittelwert der Belastung
- Wenn der Mittelwert der Deflektionen ≤ 40 mm ist, muss die Standardabweichung der Deflektionen $s_{dj} \leq 2$ µm sein.
- Wenn der Mittelwert der Deflektionen > 40 mm ist, muss die Standardabweichung der Deflektionen $s_{dj} \leq 1,5$ µm + 1,25 % des Mittelwerts der Deflektionen sein.

Wenn die geforderte Standardabweichung für die Last oder für eines oder mehrerer Geophone nicht eingehalten werden kann, ist der Versuch an einer anderen Stelle zu wiederholen.

Falls das Wiederholbarkeitskriterium wieder nicht erfüllt ist eine nähere Untersuchung der Deflektionsaufnehmer und ihrer Halterungen erforderlich. Nichterfüllung macht die vom überprüften FWD gemessenen Daten ungültig.

4 KALIBRIERANWEISUNG ZUR LANGZEIT-WIEDERHOLBARKEITSPRÜFUNG

Hintergrund der Kalibrierung ist eine Kontrolle des FWDs auf die Lieferung zuverlässiger Messergebnisse. Ziel ist nicht das Ermitteln exakter Werte, sondern eine Einschätzung von Ergebnissen im Erwartungsbereich bzw. das Aufspüren unerwarteter Messausschläge.

Dieses Verfahren wird in Kombination mit der Kurzzeit-Wiederholbarkeitsüberprüfung (siehe Kapitel 3) durchgeführt.

Die Daten zur Überprüfung der Langzeit-Wiederholbarkeit werden aus den Prüfprotokollen der Kurzzeitwiederholbarkeitsüberprüfung F 611-2 entnommen.

4.1 Intervall

Die Kalibrierung ist mindestens einmal monatlich durchzuführen.

4.2 Durchführung

Die Durchführung erfolgt im Zuge der Überprüfung der der Kurzzeit-Wiederholbarkeit.

Es ist darauf zu achten, dass hierfür immer derselbe Messpunkt sowie die gleiche Versuchslast herangezogen wurde.

4.3 Auswertung

Nach der Durchführung und Auswertung der monatlich durchzuführenden Überprüfung der Kurzzeit-Wiederholbarkeit werden aus dem Formblatt F611-2 „Kalibrierprotokoll - Kurzzeit-Wiederholbarkeitsüberprüfung“ für jeden Deflektionsaufnehmer der Mittelwert der normierten Deflektion sowie die gemessene Asphalttemperatur T_{Asphalt} in das Formblatt F611-3 „Kalibrierprotokoll - Langzeit-Wiederholbarkeitsüberprüfung“ kopiert.

Die Deflektionen sowie die Temperatur werden im unteren Teil des Formblatts als Diagramm dargestellt.

In Abhängigkeit von der jeweiligen Asphalttemperatur müssen die gemessenen Deflektionen qualitativ denselben Verlauf haben.

Ist dies nicht der Fall, ist dies ein Indikator für eine mögliche Fehlfunktion. Die Deflektionsaufnehmer sowie die Lastzelle müsse daraufhin überprüft werden.

5 RELATIVE KALIBRIERUNG DER FWD-DEFLEKTIONS-AUFNEHMER

Bei dieser Überprüfung soll dafür gesorgt werden, dass die FWD-Deflektionsaufnehmer eines Gerätes zueinander kalibriert sind.

5.1 Intervalle

Die Kalibrierung ist mindestens alle sechs Monate sowie nach Reparatur- oder Wartungsarbeiten durchzuführen

5.2 Prüfgeräte

- FWD Dynatest 8002 Test-System
- Kalibrierständer für die Deflektionsaufnehmer



5.3 Durchführung

1. Alle Deflektionsaufnehmer werden aus ihren Halterungen am Geophontragarm entnommen. Es ist dabei darauf zu achten, dass jedes Geophon mit seiner Normalposition beschriftet ist (z.B. Nr. 1-9).
2. Die Deflektionsaufnehmer sind in derselben Reihenfolge in den Kalibrierständer zu stellen.
3. Der Kalibrierständer ist vertikal so nah wie möglich neben der Lastplatte zu positionieren (siehe Foto)
4. Im Feldprogramm fwdWin ist das Testsetup „Short time repeatability 12 drops“ zu wählen.
5. Die Größe des Lastimpulses ist so zu wählen das von den Geophonen eine Deflektion zwischen 250 μm und 600 μm gemessen wird.
6. Der Messpunkt wird durch wiederholtes Aufbringen von 12 Schlägen so lange konditioniert bist die gemessenen Lasten und Deflektionen fast gleichmäßig sind. Es darf hierbei keine stetig zu- oder abnehmende Tendenz erkennbar sein.
8. Ist dies erfolgt wird die tatsächliche Messung durchgeführt und die erhaltenen Messdaten aufgezeichnet.

5.4 Auswertung

Die Belastung und die gemessenen Deflektionen werden anschließend in das Kalibrierprotokoll F611-4 eingetragen, wobei die ersten zwei Schläge für die weitere Berechnung weglassen werden.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Der Deflektionsbereich rd_j jedes Deflektionsaufnehmers muss kleiner als $4 \mu\text{m}$ sein. Ist dies nicht der Fall ist die Relativkalibrierung zu wiederholen
- Das Mittelwertverhältnis R_j jedes Deflektionsaufnehmers muss in einem Bereich zwischen 0,995 und 1,005 liegen.

Ist dies für einen oder mehrere Deflektionsaufnehmer nicht der Fall so ist ihre Position am Kalibrierständer zu ändern und die Messung zu wiederholen. Liegt das Mittelwertverhältnis noch immer außerhalb des erlaubten Bereiches sollte der Kalibrierfaktor des Deflektionsaufnehmer mit dem berechneten Mittelwertverhältnis als Multiplikator nachjustiert werden.

- Liegt das Mittelwertverhältnis unter 0,980 oder über 1,020 deutet dies auf einen beschädigten Deflektionsaufnehmer hin der ersetzt oder repariert werden muss.

6 REFERENZKALIBRIERUNG DES FWD-DISTANZMESSGERÄTES

Diese Kalibrierung wird angewendet, um einen zuverlässigen Vergleich mit anderen aufgenommenen Felddaten bzw. die Durchführung weiterer Feldversuche (z.B. Bohrkernentnahmen) zu ermöglichen.

Hierfür ist im Feldprogramm FwdWin bereits eine Kalibrieroutine implementiert.

6.1 Intervall

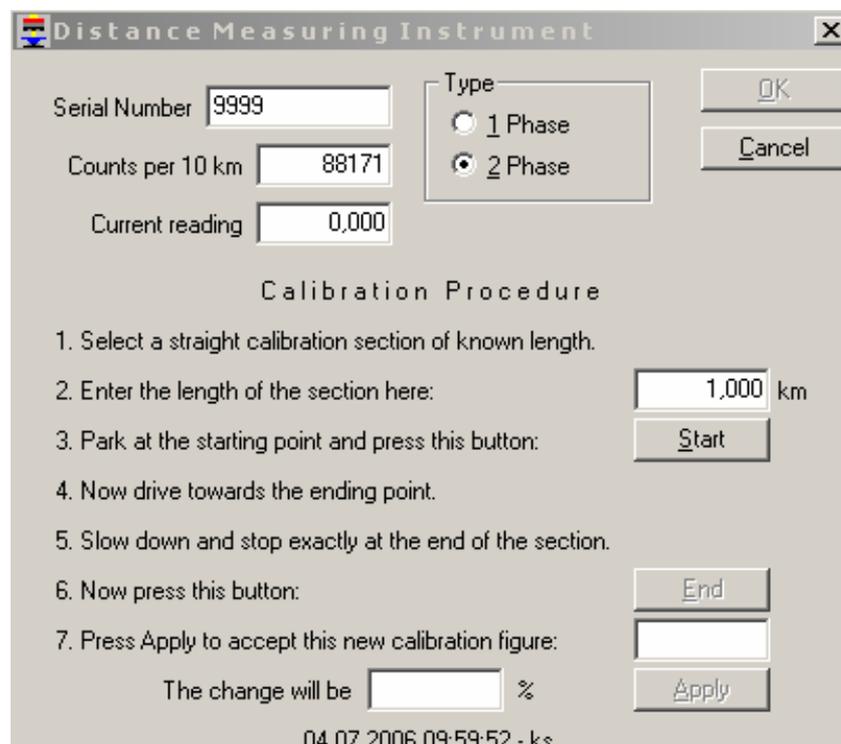
Die Kalibrierung ist mindestens einmal in sechs Monaten sowie nach Reifenwechsel am Fahrzeug oder Anhänger, auf dem der Messzähler montiert ist, sowie nach Reparatur- oder Wartungsarbeiten am Messgerät durchzuführen..

6.2 Prüfgeräte

- FWD Dynatest 8002 Test-System
- 25 m langes Maßband oder ein Messrad, beides mit einer relativen Genauigkeit von mindestens 0,1 %

6.3 Durchführung

1. In der Nähe des Stützpunkts in ein mindestens 500 Meter langer, schwach befahrener, glatter Asphaltstraßenabschnitt ausfindig zu machen.
2. Mit dem Messrad/Maßband ist ein 500 bis 1000 Meter langer Abschnitt exakt einzumessen.
3. Der Beginn und das Ende diese Abschnitts sind zu markieren (z.B. mittels Klebeband oder Farbspray)
4. Am Zugfahrzeug ist eine Markierung (z.B. Klebebandstreifen) anzubringen um es im Weiteren genau am Beginn/Ende des Kalibrierabschnitts ausrichten zu können.
5. Das FWD-Test System und das Feldprogramm FwdWin sind zu starten und unter dem Menüpunkt **Setup** ist der Unterpunkt **DMI** auszuwählen. Folgender Bildschirm erscheint



6. Die Länge der Strecke ist in das dafür vorgesehene Feld einzutragen.
7. Das FWD-Zugfahrzeug wird am Beginn der Strecke positioniert, und die Markierung am Fahrzeug genau und auf jene am Beginn der Strecke ausgerichtet.
8. Die **Start** Schaltfläche wird angeklickt und die Mess-Strecke wird mit sanfter Beschleunigung mit max. 15 km/h abgefahren.

9. Am Ende der Strecke wird die Geschwindigkeit reduziert, sodass genau an jeder Stelle gehalten werden kann, an welcher die Markierung am Zugfahrzeug mit der Endmarkierung der Teststrecke übereinstimmt und die **End** Schaltfläche wird betätigt.
10. Der neue Distanzmessgerät-Kalibrierfaktor wird automatisch berechnet

7 VERTEILER

QMH

AGL

8 MITGELTENDE UNTERLAGEN UND NORMEN

AA 610 Tragfähigkeitsmessungen mit dem Falling Weight Deflektometer (FWD)

F 611-1: Kalibrierprotokoll - Überprüfung der Position der Deflektionsaufnehmer

F 611-2: Kalibrierprotokoll - Kurzzeit-Wiederholbarkeitsüberprüfung

F 611-3: Kalibrierprotokoll - Langzeit-Wiederholbarkeitsüberprüfung

F 611-4: Kalibrierprotokoll - Relativkalibrierung der Deflektionsaufnehmer

COST 336 „Fallgewichtsdeflektionsmessung zur Tragfähigkeitsbestimmung“, Fuchs M, 2001

9 BEILAGEN

F 611-1: Kalibrierprotokoll - Überprüfung der Position der Deflektionsaufnehmer

F 611-2: Kalibrierprotokoll - Kurzzeit-Wiederholbarkeitsüberprüfung

F 611-3: Kalibrierprotokoll - Langzeit-Wiederholbarkeitsüberprüfung

F 611-4: Kalibrierprotokoll - Relativkalibrierung der Deflektionsaufnehmer



F611-1	Kalibrierprotokoll - Überprüfung der Position der Deflektionsaufnehmer	Ausgabe 1 Seite 1/1
---------------	---	--------------------------------

Auftraggeber:	Intern
Datum:	
Projekt:	
Projektleiter:	
Sachbearbeiter:	
Norm /AA:	AA 611 - Kalibrieranweisung FWD
Datenfile Name:	

Maschinen & Kalibrierdaten

FWD-Typ:	Dynatest 8002
FWD Serien Nr.:	
ID-Nr.:	
Datum letzte Überprüfung:	

Position der Deflektionsaufnehmer

Pos. Nr. Deflektions- aufnehmer	Serien Nr.	Soll-Pos. [mm]	Ist-Pos. [mm]	Δ [mm]	Pos. Neu [mm]
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					



F611-2	Kalibrierprotokoll - Kurzzeit- Wiederholbarkeitsüberprüfung	Ausgabe 1 Seite 1/1
---------------	--	--------------------------------

Auftraggeber:	Intern
Datum:	
Projekt:	
Projektleiter:	
Sachbearbeiter:	
Norm / AA:	AA 611 - Kalibrieranweisung FWD
Datenfile Name:	

Maschinen & Kalibrierdaten

FWD-Typ:	Dynatest 8002	Referenzlast [kN]:	
FWD Serien Nr.:		Temperatur [°C]:	
ID-Nr.:			
Datum letzte Überprüfung:			

Messdaten

Geophonabstand	0	200	300	450	600	900	1200	1500	1800
----------------	---	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------

Schlag Nr.	Kraft	Gemessene Deflektion [µm]							
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									

Schlag Nr.	Faktor	normierte Deflektion [µm]							
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									

Mittelwert d. norm. Defl.:									
----------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Standardabweichung:									
---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Standardabweichung der Lasten:

$$S_F = \sqrt{\frac{10 * \sum_{i=1}^{10} F_i^2 - (\sum_{i=1}^{10} F_i)^2}{10 * (10 - 1)}}$$

=

Standardabweichung der Deflektionen:

$$S_{d_j} = \sqrt{\frac{10 * \sum_{i=1}^{10} d_{ij}^2 - (\sum_{i=1}^{10} d_{ij})^2}{10 * (10 - 1)}}$$



F611-4	Kalibrierprotokoll - Relativkalibrierung der Deflektionsaufnehmer	Ausgabe 1 Seite 1/1
---------------	--	--------------------------------

Auftraggeber:	Intern
Datum:	
Projekt:	
Projektleiter:	
Sachbearbeiter:	
Norm /AA:	AA 611 - Kalibrieranweisung FWD
Datenfile Name:	

Maschinen & Kalibrierdaten

FWD-Typ:	Dynatest 8002	Referenzlast [kN]:	
FWD Serien Nr.:		Temperatur [°C]:	
ID-Nr.:			
Datum letzte Überprüfung:			

Messdaten

Geophonabstand	0	200	300	450	600	900	1200	1500	1800
----------------	---	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------

Schlag Nr.	Kraft	Gemessene Deflektion [µm]								
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

Schlag Nr.	Faktor	normierte Deflektion [µm]								
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

Mittelwert d_{jm} :										
Maximalwert d_{jmax} :										
Minimalwert d_{jmin} :										

Deflektionsbereich rd_j :										
Gesamtmittelwert d_{mges} :										
Mittelwertverhältnis R_j :										