



Institut für  
Materialprüfung,  
Bauberatung  
und Analytik.

# Material-Eigenschaften: Ermüdung und Steifigkeit

## Propriétés des matériaux: Fatigue et rigidité



IMP Bautech AG  
impbautech.ch

Dr. Liliane Huber  
17.03.2026

1



Theorie / Théorie

## Ermüdung und Steifigkeit, was heisst das? *Fatigue et rigidité, cela veut dire quoi?*

### Steifigkeit (Modul):

- Widerstandsfähigkeit gegenüber Verformung unter Belastung.
- Weicher Asphalt verformt sich, Spurrinnen entstehen
- Steifer Asphalt: verformt sich kaum, erträgt Belastungen gut
- Zu steifer Asphalt: Risse bei tiefer Temperatur oder hoher Belastung

### Rigidité (module):

- *Capacité de résistance aux déformations sous sollicitations.*
- *Un enrobé „mou“ se déforme et des ornières apparaissent.*
- *Un enrobé rigide se déforme peu et peut donc supporter de plus grosses charges.*
- *Enrobé trop rigide: fissuration à basses températures ou sous fort chargement.*

2

## Ermüdung und Steifigkeit, was heisst das? *Fatigue et rigidité, cela veut dire quoi?*

### Ermüdung:

- Wie lange hält die Strasse?
- Entstehung von Mikrorissen durch wiederholte Lastaufbringung
- Lebensdauer vorhersagen
- Das Resultat ist Temperatur und Frequenzabhängig

### Fatigue:

- *Quelle est la durée de vie de la chaussée?*
- *Apparition de microfissures suite à la répétition des charges.*
- *Prédiction de la durée de vie.*
- *Le résultat dépend de la température et de la fréquence.*

## Ermüdung und Steifigkeit, Belastung? *Fatigue et rigidité, chargement?*

Mikrostrain: Dehnung = Weg \* Geometrischer Faktor  
*Microdef: Déformation = Déplacement \* Facteur géom.*

$$\varepsilon = z * K$$

Probekörper masse	Mindestmasse der Probekörper		
	D ≤ 14 mm	14 < D ≤ 22 mm	22 < D ≤ 40 mm
B	(56 ± 1) mm	(70 ± 1) mm	(70 ± 1) mm
b	(25 ± 1) mm	(25 ± 1) mm	(25 ± 1) mm
e	(25 ± 1) mm	(25 ± 1) mm	(50 ± 1) mm
h	(250 ± 1) mm	(250 ± 1) mm	(250 ± 1) mm



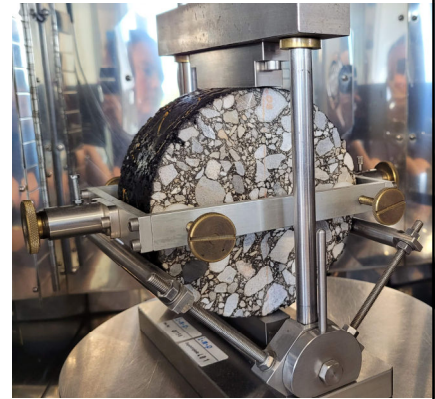
## Ermüdung und Steifigkeit, Methoden nach Norm 12697-24/26 *Fatigue et Rigidité, méthodes selon normes 12697-24/26*

Gemäss Schweizer Norm:  
Ermüdung und Steifigkeit nach Anhang A: 2-Punkt  
Trapezoid (Französische Methode)

In der Praxis auch angewendet:  
Steifigkeit nach Anhang F: IT-CY  
zylindrischer Körper (Deutsche Methode)

*Selon la normalisation Suisse:  
Fatigue et rigidité selon Annexe A: Flexion deux points  
sur éprouvettes trapézoïdales (méthode française)*

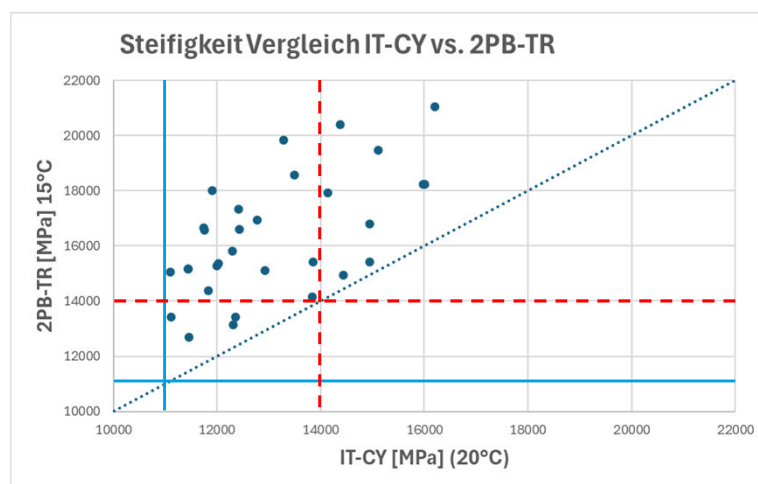
*Egalement utilisé en pratique:  
Rigidité selon Annexe F: IT-CY  
Éprouvettes cylindriques (méthode allemande)*



## Vergleichbarkeit der Methoden / *Comparatif des méthodes*

C1

C2



**Normanforderung Steifigkeit (SN EN 13108-1): 10 Hz, 15°C**  
**Exigences normatives rigidité (SN EN 13108-1): 10 Hz, 15 °C**

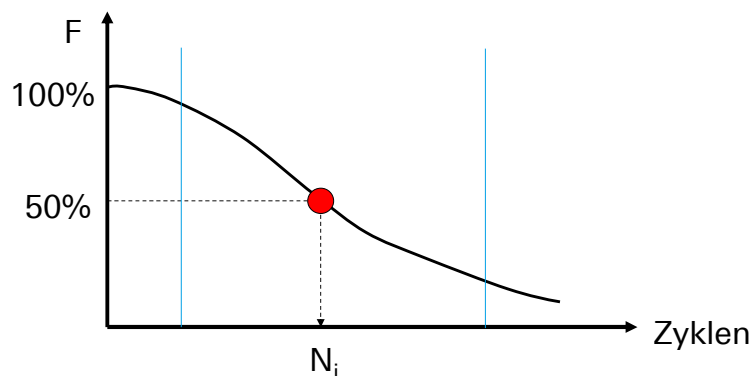
**AC EME C1:  $S_{\min} \geq 11'000$  MPa**

**AC EME C2:  $S_{\min} \geq 14'000$  MPa**

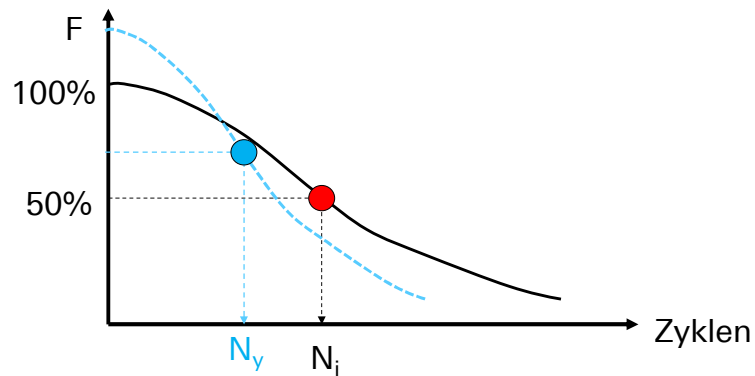
Mittelwert von 4 PK, bei einer Belastung von weniger als 40 Mikrostrain

*Valeur moyenne de 4 échantillons, sous chargement inférieur à 40 Microdef.*

**Ermüdung:** Kraft um Verschiebung  $z_i$  zu erreichen  
**Fatigue:** Force afin d'atteindre une déformation  $z_i$



**Ermüdung:** Kraft um Verschiebung  $z_i$  zu erreichen  
**Fatigue:** Force afin d'atteindre une déformation  $z_i$



### Probenherstellung / Confection des échantillons

MG Herstellung  
*Production enrobé*



Platten verdichten  
*Compaction plaques*



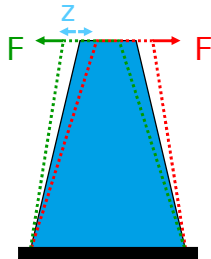
Trapez Ausschneiden  
*Découpage trapèzes*



i.m.p

Theorie / Théorie

## Messprinzip Principe de mesure



F konstant  $\Rightarrow$  z nimmt zu  
oder  
z konstant  $\Rightarrow$  F nimmt ab

*F constante  $\Rightarrow$  z augmente  
ou  
z constante  $\Rightarrow$  F diminue*



11 Ermüdung und Steifigkeit

11

i.m.p

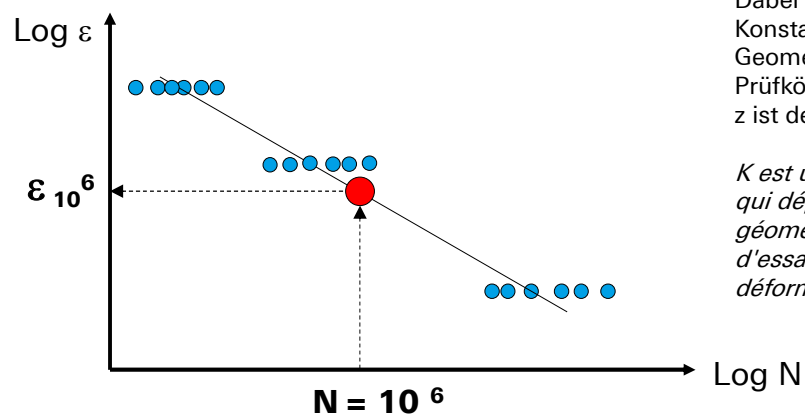
Ermüdung / Fatigue

Ermüdungsprüfung - Resultat:  
*Essai de fatigue - Résultats:*

$$\varepsilon = K \cdot z$$

Dabei ist K eine  
Konstante die von der  
Geometrie des  
Prüfkörpers abhängt.  
z ist der Weg

*K est une constante  
qui dépend de la  
géométrie du corps  
d'essai. z est la  
déformation.*



12 Ermüdung und Steifigkeit

12

**Normanforderung Ermüdung (SN EN 13108-1): 25 Hz, 10°C**  
**Exigences normatives fatigue (SN EN 13108-1): 25 Hz, 10°C**

AC EME C1:  $F_{at} \geq 100$  [Mikrostrain]

AC EME C2:  $F_{at} \geq 130$  [Mikrostrain]

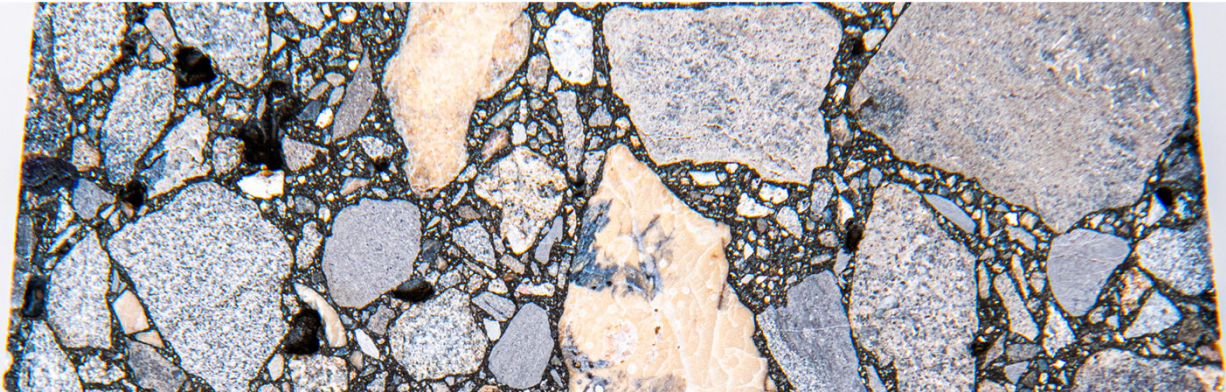
18 Prüfkörper, 1/3 mehr als 1 Mio Zyklen, 1/3 weniger

*18 échantillons, 1/3 plus de 1 Mio cycles, 1/3 moins*



i.m.p

Bruchbilder / *Images de ruptures*

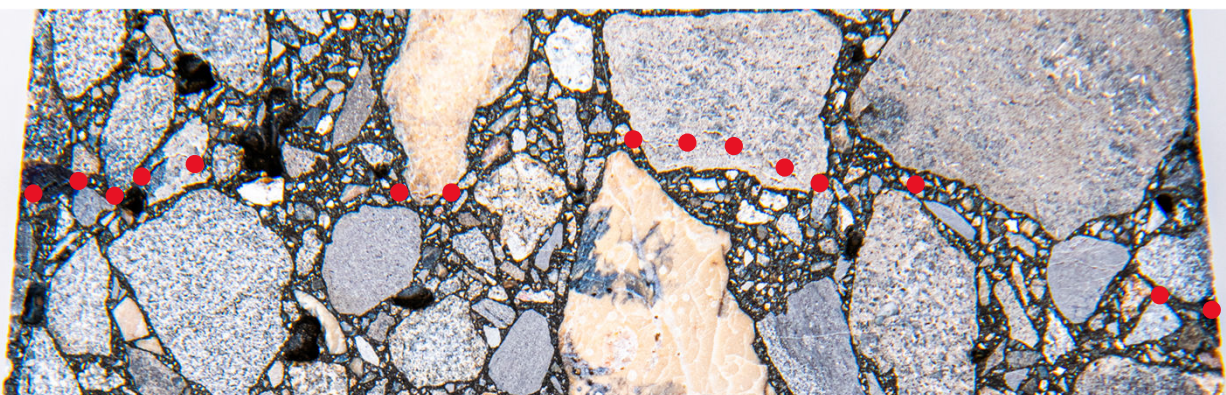


15 Ermüdung und Steifigkeit

15

i.m.p

Bruchbilder / *Images de ruptures*



16 Ermüdung und Steifigkeit

16

i.m.p

Bruchbilder / *Images de ruptures*



17 Ermüdung und Steifigkeit

17

i.m.p

**Herzlichen Dank.**



**IMP Bautest AG**  
impbautest.ch

**Dr. Liliane Huber**  
17.03.2026

18

i.m.p

Workshop

# Auswertung der Tragfähigkeit

## Évaluation de la capacité de portance



**IMP Bautest AG**  
impbautest.ch

**Nimet Coskun & Dr. Jürg Leckebusch**  
17.03.2026

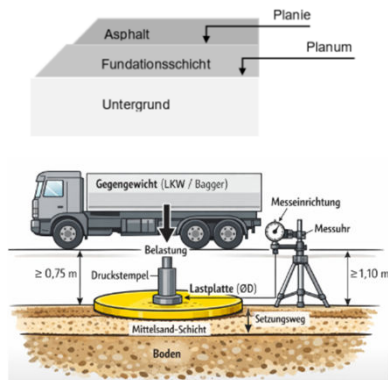
1

i.m.p

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

#### ✓ Belastung

Mindestens **6 Laststufen**



### PLATTENDRUCKVERSUCH ME-MESSUNGEN NACH VSS 70 317:2019

#### ✓ Entlastung

**3 Stufen**

#### ✓ Zweitebelastung

bis zur vorletzten Stufe

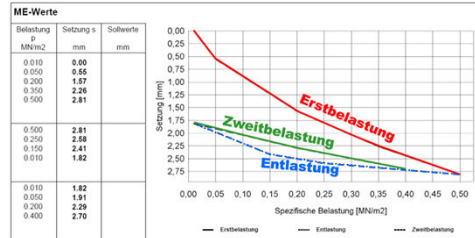


2 Workshop | MUS

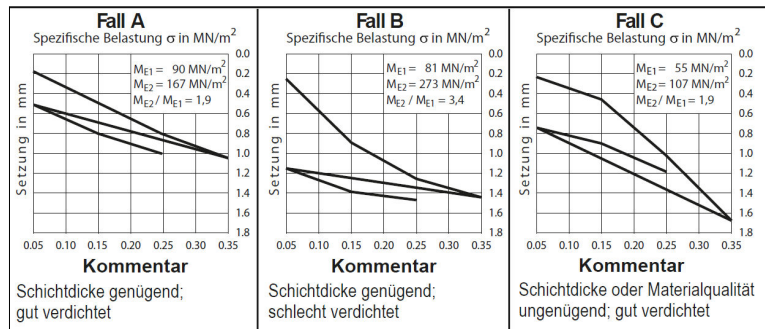
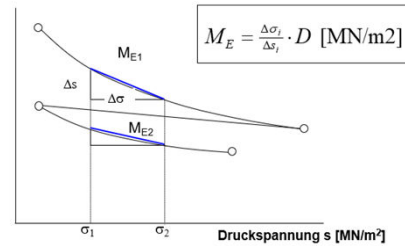
2

✓ **Spannungs-Setzungs-Kurve**

- ✓ Diagramm: **Last / Spannung** auf der x-Achse
- ✓ **Setzung** auf der y-Achse
- ✓ Zeigt das **Verformungsverhalten des Bodens**
- ✓ **Linearer Verlauf** → elastisches, gutes Tragverhalten
- ✓ **Stark gekrümmt (konkav)** → nachgiebiger oder schlecht verdichteter Boden



Setzung s [mm]



5 Vergleichende Zusammenfassung

Fall	ME <sub>1</sub>	ME <sub>2</sub>	ME <sub>2</sub> / ME <sub>1</sub>	Bewertung
A	hoch	hoch	1,9	guter Boden
B	mittel	sehr hoch	3,4	schlecht verdichtet
C	niedrig	niedrig	1,9	Schicht zu dünn / Untergrund schwach

**ME-Messungen sind geeignet für:**

- ✓ Grobkörnige Böden: Kies, Schotter, Sand
- ✓ Steife bis harte feinkörnige Böden: steifer Lehm, harter Ton
- ✓ Gemischtkörnige Böden: Sand-Kies-Gemische, Schotter mit Feinanteil
- ✓ Ungebundene Schichten

$D_{\max} < 10 \text{ cm}$

Wassergehalt; **Proctor-Optimum  $\pm 2 \%$**

**ME-Messungen sind NICHT geeignet für:**

- ✓ Weiche, breiiger Tone
- ✓ Organische Böden
- ✓ Torf
- ✓ Gebundene Schichten

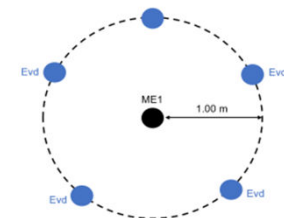
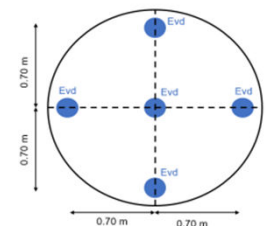
$D_{\max} > 10 \text{ cm}$

Wassergehalt; Nicht auf aufgeweichter oder verkrusteter Boden



- Eine Messstelle => **5 Messpunkte**
- Pro Messpunkt => **3 Vorbelastungs- +3 Messstöße**
- Kalibrierung mit ME-Messung erforderlich
- der **Korrekturfaktor K** berechnen => Korrekturfaktor  $K = M_{E1} / E_{vd}$
- 15....70 MN/m<sup>2</sup> mit dem Fallgewicht mit einer Masse von 10 kg

$$E_{vd} = 1,5 \cdot \gamma \cdot \frac{1000 \cdot \sigma_{\max}}{\bar{s}_{\max}} = \frac{45,0}{\bar{s}_{\max}}$$



- Messpunkt mit dem Plattendruckversuch (ME1)
- Messpunkte mit dem Leichten Fallgewichtsgerät (Evd)

## i.m.p EINFLUSSFAKTOREN

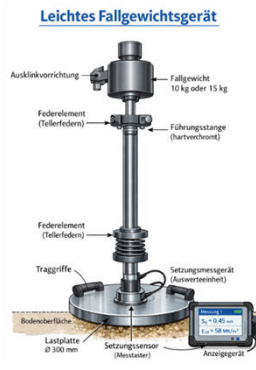
## LFG - DYNAMISCHER PLATTENDRUCKVERSUCH NACH VSS 70 313:2025

### LFG-Messungen sind geeignet für:

- ✓  $D_{\max} < 63 \text{ mm}$
- ✓ Wassergehalt; **Proctor-Optimum  $\pm 2 \%$**
- ✓ Durchführung nur bei trockener Witterung
- ✓ Lufttemperatur  $0-40 \text{ }^\circ\text{C}$

### LFG-Messungen sind NICHT geeignet für:

- ✓ Gefrorenem Boden
- ✓ Starkem Regen
- ✓ Sehr feuchtem Untergrund
- ✓  $D_{\max} > 63 \text{ mm}$



7 Workshop | MUS

7

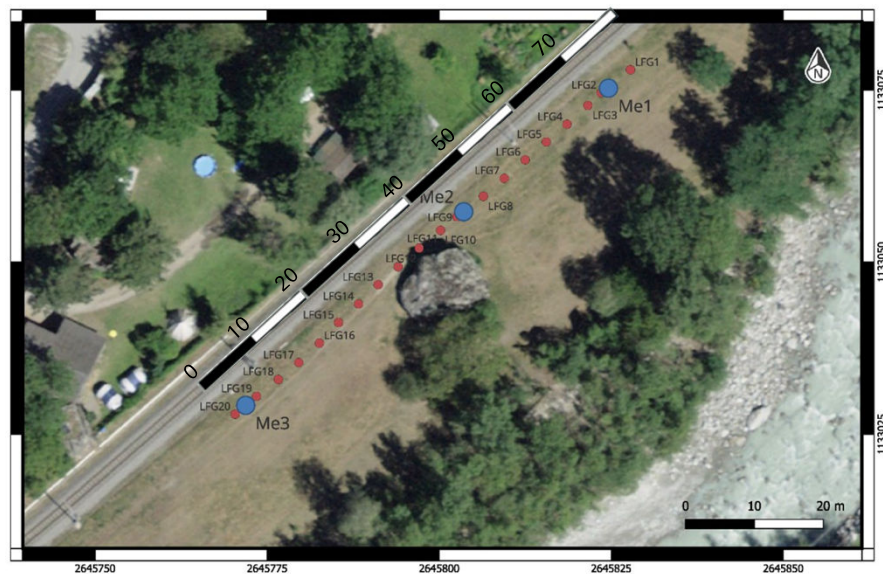
## i.m.p

## VERGLEICHSMESSUNG UND BESTIMMUNG KORREKTURFAKTOR

**Messbereich:** 76 m

**LFG-Messungen:** 20 Stk.

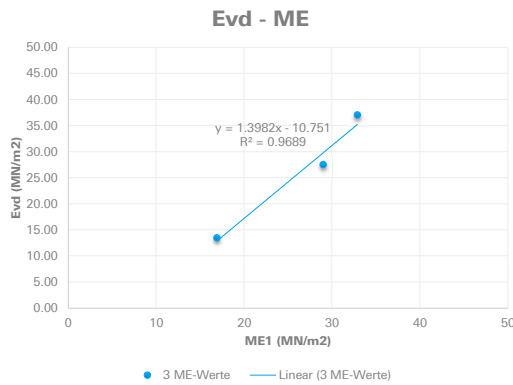
**ME-Messungen:** 3 Stk.



8 Workshop | MUS

8

	ME1	ME2	ME3
ME (MN/m <sup>2</sup> )	29.0	16.9	32.9
bei LFG	LFG 2	LFG 9	LFG 20
Evd	27.48	13.44	37.00



Nr.	Bez.	Lage, Profil, km	1. Messstoss			2. Messstoss			3. Messstoss			E <sub>vd</sub> MW	M <sub>cr</sub> MW	E <sub>cr</sub> MW	E <sub>cr</sub> MW
			s [mm]	v [mm/s]	E <sub>cr(1)</sub> [MN/m²]	s [mm]	v [mm/s]	E <sub>cr(2)</sub> [MN/m²]	s [mm]	v [mm/s]	E <sub>cr(3)</sub> [MN/m²]				
1	LFG-1	912	1.014	268.1	22	0.992	260.1	23	1.196	285.8	19	21	23	5	2)
2	LFG-2	908	0.563	207.2	40	0.940	278.1	24	0.997	298.2	23	27	27	3	2)
3	LFG-3	904	0.485	185.9	46	0.505	189.7	45	0.680	239.7	33	40	37	2	2)
4	LFG-4	900	0.535	198.5	42	0.743	248.8	30	0.708	243.2	32	34	32	4	2)
5	LFG-5	896	1.527	352.6	15	1.370	333.0	16	1.413	351.3	16	16	19	3	2)
6	LFG-6	892	2.034	408.1	11	2.134	435.9	11	2.016	429.3	11	11	15	5	2)
7	LFG-7	888	2.643	489.0	9	3.073	563.6	7	3.060	581.7	7	8	13	4	2)
8	LFG-8	884	2.188	427.7	10	2.130	422.1	11	2.200	441.1	10	10	15	4	2)
9	LFG-9	880	1.605	348.7	14	1.660	361.0	14	1.838	393.3	12	13	17	4	2)
10	LFG-10	876	1.048	263.4	21	1.053	264.1	21	1.083	272.3	21	21	23	4	2)
11	LFG-11	872	0.728	214.6	31	0.753	219.6	30	0.723	215.3	31	31	30	4	2)
12	LFG-12	868	0.943	261.9	24	0.938	262.7	24	0.930	262.9	24	24	25	4	2)
13	LFG-13	864	0.910	251.2	25	0.853	241.6	26	0.900	254.0	25	25	26	3	2)
14	LFG-14	860	0.675	206.0	33	0.695	211.0	32	0.678	205.5	33	33	31	4	2)
15	LFG-15	856	0.727	222.6	31	0.727	224.9	31	0.693	215.8	32	31	30	3	2)
16	LFG-16	852	0.650	208.5	35	0.603	199.0	37	0.547	189.3	41	38	35	3	2)
17	LFG-17	848	0.915	227.0	25	0.905	226.3	25	0.843	216.1	27	25	26	4	2)
18	LFG-18	844	0.903	248.3	25	0.857	236.9	26	0.823	237.8	27	26	26	3	2)
19	LFG-19	840	0.503	178.5	45	0.553	199.8	41	0.493	186.5	46	44	39	3	2)
20	LFG-20	836	0.548	192.8	41	0.715	225.9	31	0.568	197.6	40	37	34	4	2)

Legende  
 \* Anzahl Messpunkte für Mittelwert. Messbereich E<sub>cr</sub> 15 ... 70 MN/m<sup>2</sup> (VSS 2002/501)  
 \*\* 1) ME1-Wert gemessen  
 2) Umrechnungsfaktor M<sub>cr</sub>-Wert K = (Evd + 10.751) / 1.398 Prüfbericht der ME-Messungen: Drittlabor

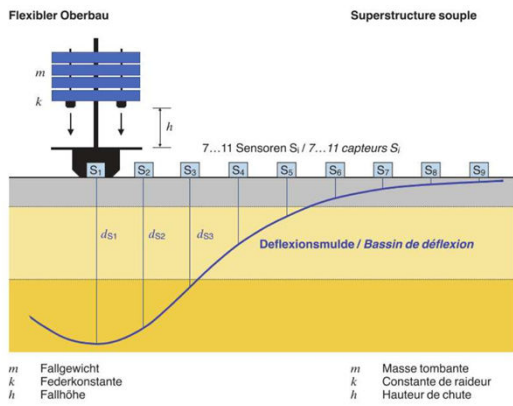
VSS 70313 – Dynamischer Test (LFG)

VSS 70317 – Statischer Plattendrucktest (ME)

<b>Lastart</b>	Dynamisch durch Fallgewicht (Impulse)	Statisch/stufenweise Belastung
<b>Messwerttyp</b>	Dynamischer Modul <i>Evd</i>	Statischer Modul ME
<b>Durchführungsgeschwindigkeit</b>	Schnell und Mobil (Minuten pro Messpunkt)	Langsam(er), viele Laststufen (mind. 30 min.)
<b>Genauigkeit</b>	Mittel, mit Korrelation	Hoch
<b>Ausrüstung</b>	Leicht, transportabel	Schweres, aufwändigeres Setup
<b>Aussage</b>	Schnelle Lagekontrollen, nicht genormt	Detaillierte, ingenieurmässige Bewertung, Norm
<b>Anwendungsbereich</b>	Oberflächennahe, schnelle Verdichtungs-/Qualitätskontrolle	Tieferegehende Tragfähigkeitsbemessung
<b>Wirkungsbereich</b>	eher punktuell Versuch, geringe Tiefe repräsentativ, Tiefe ca. 0.8-1.0 D (Ø 300 mm)=30 cm	eher flächenhaft Versuch, Tiefe ca. 1.5 D (Ø 300 mm) = 60 cm
<b>Messbereich</b>	Bei schlecht zugänglichen Bereichen, Randbereichen von Strassen, Leitungs- und Kanalgräben	mehr Platz benötigt (LKW)

Simulation einer Lastwagendurchfahrt mit 70 km/h

Fallgewicht wird aus Lastplatte fallengelassen (2 – 135 kN)  
9 Geophone registrieren Deflexionsmulde (Länge 2 m)



11 Workshop | MUS

11

**FWD-Messungen sind geeignet für:**

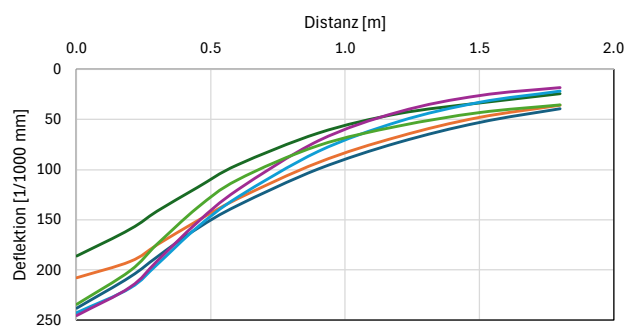
- ✓ Asphalt
- ✓ Strukturelle Tragfähigkeit der Strasse
- ✓ Identifikation von schwachen Bereichen
- ✓ Oberbauverstärkung (Benkelman)

$5\text{ °C} < T_{\text{Asphalt}} < 30\text{ °C}$

**FWD-Messungen sind NICHT geeignet für:**

- ✓ Verdichtungskontrolle
- ✓ Bestimmung der Schichtdicken -> Georadar

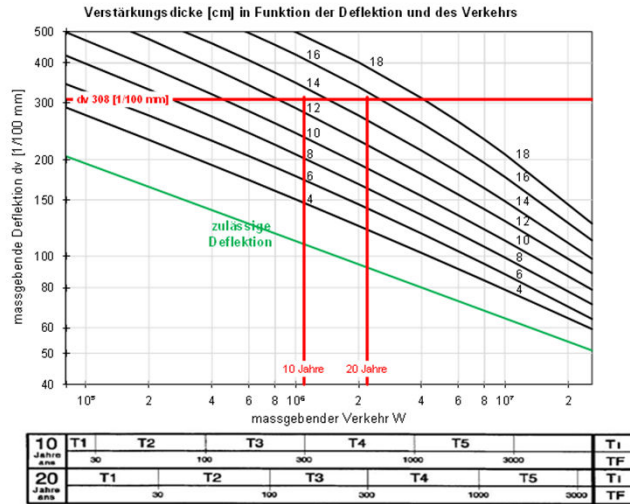
**FWD: Deflexionsmulden**



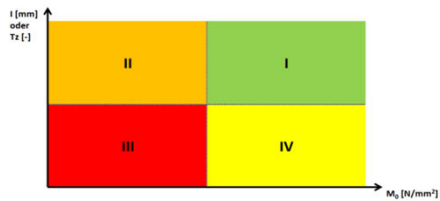
12 Workshop | MUS

12

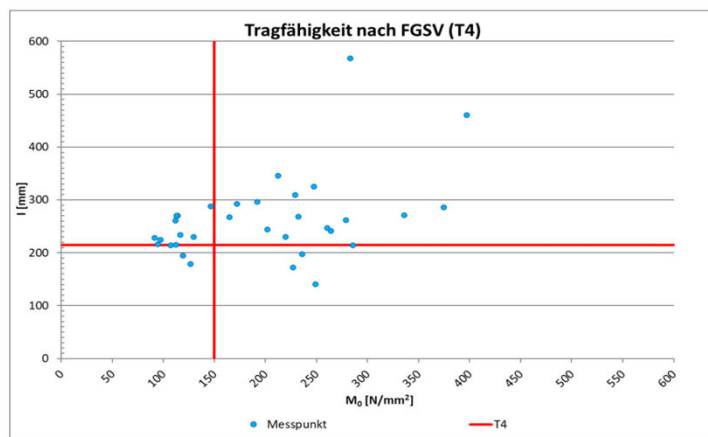
Geophon in Mitte Lastplatte  
 Umrechnung FWD -> Benkelman  
 gemäss COST 336 (Faktor 1.24)  
 nach Verkehrslastklasse (T3)

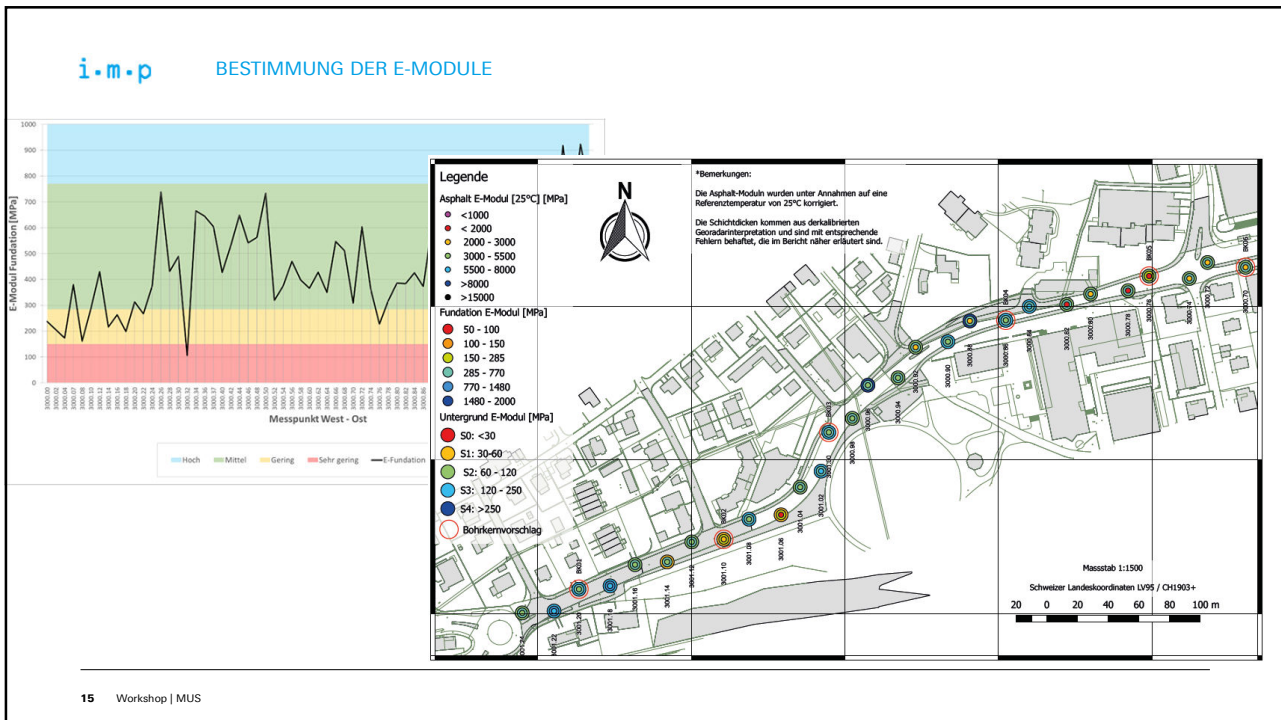


Klassierung in Orientierungsbereiche I - IV



Klassifizierung der Tragfähigkeitskenngrößen





15

**i.m.p VERGLEICH FWD – LFG – ME**

Verfahren	typische Last	Plattendurchmesser	Belastungsart	Eindringtiefe / beeinflusste Schichten
<b>FWD</b> Falling Weight Deflectometer	30 – 120 kN	ca. 300 mm	dynamischer Puls	Gesamter Oberbau bis ca. <b>1 – 2 m</b>
<b>LFG</b> Leichtes Fallgewichtgerät	7 – 15 kN	meist 300 mm	dynamischer Puls	etwa <b>0.3 – 0.6 m</b>
<b>ME</b> Statischer Plattendruckversuch	50 – 100 kN	300 mm	<b>statisch</b>	etwa <b>0.6 – 1.0 m</b>

**✓ Praktische Einordnung**

- ME** → Referenzversuch gemäss Normen
- LFG** → schnelle Baustellenkontrolle
- FWD** → strukturelle Analyse bestehender Strassen

16 Workshop | MUS

16



17

i.m.p

Fehler	Folge
Zu nasser Boden	Ev2 zu niedrig
Zu trockene Kruste	Ev2 zu hoch
Grosse Steine	Streuung der Ergebnisse
Ungleichmässige Feuchte	Unzuverlässige Auswertung
Verdichtung beim Freilegen	Falsche Tragfähigkeitsbeurteilung

---

18 Workshop | MUS

18

i.m.p

Workshop

## Evaluation de la capacité de portance



**IMP Bautest AG**  
impbautest.ch

**Dr. Nicolas Bueche**  
17.03.2026

1

i.m.p

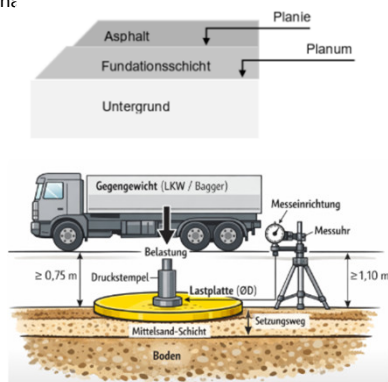
### DEROULEMENT DE L'ESSAI

ESSAI DE PLAQUE ME SELON VSS 70 317:2019

#### ✓ Chargement

Jusqu'à un **tassement d'env. 5 mm** ou **0,5 MN/m<sup>2</sup>**  
 Au moins **6 paliers de chargement**  
 Appliquer la charge de chaque palier en moins de **1 minute**

Passage au prochain palier lorsque  $\leq 0,02$  mm/min  
 La charge



#### ✓ Déchargement

En **3 paliers** (env. 50 %, 25 %, pré-charge 0,01 MN/m<sup>2</sup>)  
 Ensuite, deuxième cycle de charge jusqu'à l'avant-dernier palier



2 Workshop | MUS

2

**i.m.p** **FACTEURS D'INFLUENCE** **ESSAI DE PLAQUE ME SELON VSS 70 317:2019**

**Essais de plaque ME adaptés pour :**


- ✓ Sols grossiers: Gravier, ballast, sable
- ✓ Sols fins durs à très durs: argiles dures
- ✓ Sols mélangés: Mélanges sables et gravier, ballast avec sable
- ✓ Couches non traitées

$D_{max} < 10 \text{ cm}$   
Teneur en eau; **optimum Proctor  $\pm 2 \%$**

**Essais de plaque ME NON adapté pour :**

- ✓ Argiles molles et pâteuses
- ✓ Sols avec matière organique
- ✓ Tourbe
- ✓ Couchées traitées

$D_{max} > 10 \text{ cm}$   
Teneur en eau; Pas pour des surfaces détrempées ou desséchées.



3 Workshop | MUS

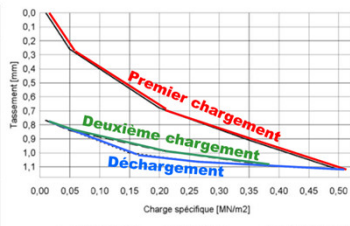
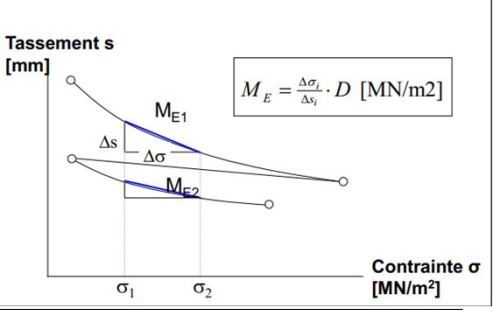
3

**i.m.p** **QUE MESURE-T-ON EXACTEMENT LORS DES MESURES DE PORTANCE ?**

Plus l'**affaissement** est **petit**, plus la **portance du sol** est **élevée**

- ✓ **Courbe contrainte - affaissement**
  - ✓ Diagramme: **Charge / Contrainte** sur l'axe x
  - ✓ **Affaissement** sur l'axe y
  - ✓ Indique le **comportement du sol en matière de déformation**
  - ✓ **Evolution linéaire** → Comportement à la portance élastiques et bon
  - ✓ **Fortement incurvée (concave)** → plus souple ou mal compacté

Charge p MN/m <sup>2</sup>	Tassement s mm	Valeur normale mm
0.010	0.00	
0.050	0.26	
0.200	0.68	
0.350	0.91	
0.500	1.12	
0.500	1.12	
0.250	1.06	
0.150	1.00	
0.010	0.77	
0.010	0.77	
0.050	0.84	
0.200	0.98	
0.400	1.10	

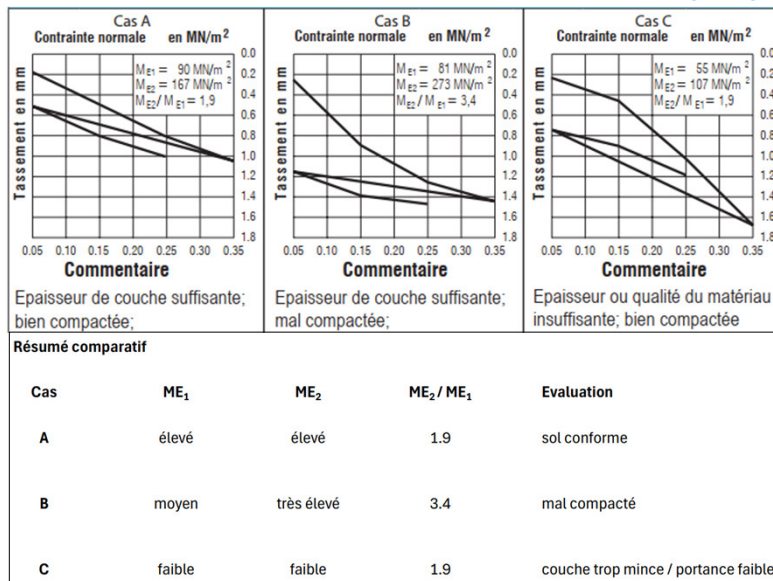
$M_E = \frac{\Delta \sigma_i}{\Delta s_i} \cdot D \text{ [MN/m}^2\text{]}$

4 Workshop | MUS

4

i.m.p

## INTERPRETATION DES ESSAI DE PLAQUE ME



5 Workshop | MUS

5

i.m.p

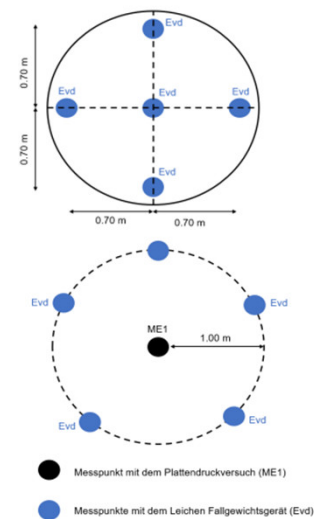
## DEROULEMENT DE L'ESSAI

## ESSAI DE PLAQUE DYNAMIQUE SELON VSS 70 313:2025

- Un emplacement d'essai => **5 points de mesures**
- Par mesure => **3 impacts de pré-charge + 3 impacts de mesure**
- Calibration avec des essais de plaque ME nécessaire
- Calcul du facteur de **correction K** =>  $K = M_{E1} / E_{vd}$
- Le domaine de mesure dépend de la masse tombante utilisée

$$E_{vd} = 1,5 \cdot r \cdot \frac{1000 \cdot \sigma_{\max}}{\bar{s}_{\max}} = \frac{45,0}{\bar{s}_{\max}}$$

- 15....70 MN/m<sup>2</sup> avec une masse tombante de 10 kg



6 Workshop | MUS

6

i.m.p

FACTEURS D'INFLUENCE

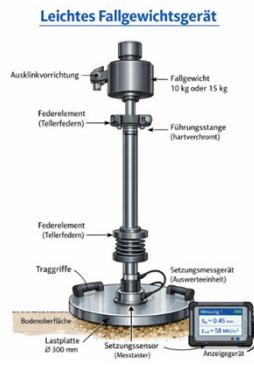
ESSAI DE PLAQUE DYNAMIQUE SELON VSS 70 313:2025

**Essais de plaque dynamiques adaptés pour :**

- ✓  $D_{max} < 63 \text{ mm}$
- ✓ Teneur en eau; **optimum Proctor  $\pm 2 \%$**
- ✓ A réaliser uniquement par temps sec
- ✓ Température de l'air 0-40 °C

**Essais de plaque dynamiques NON adapté pour :**

- ✓ Sols gelés
- ✓ Lord de fortes précipitations
- ✓ Support très humides
- ✓  $D_{max} > 63 \text{ mm}$



7 Workshop | MUS

7

i.m.p

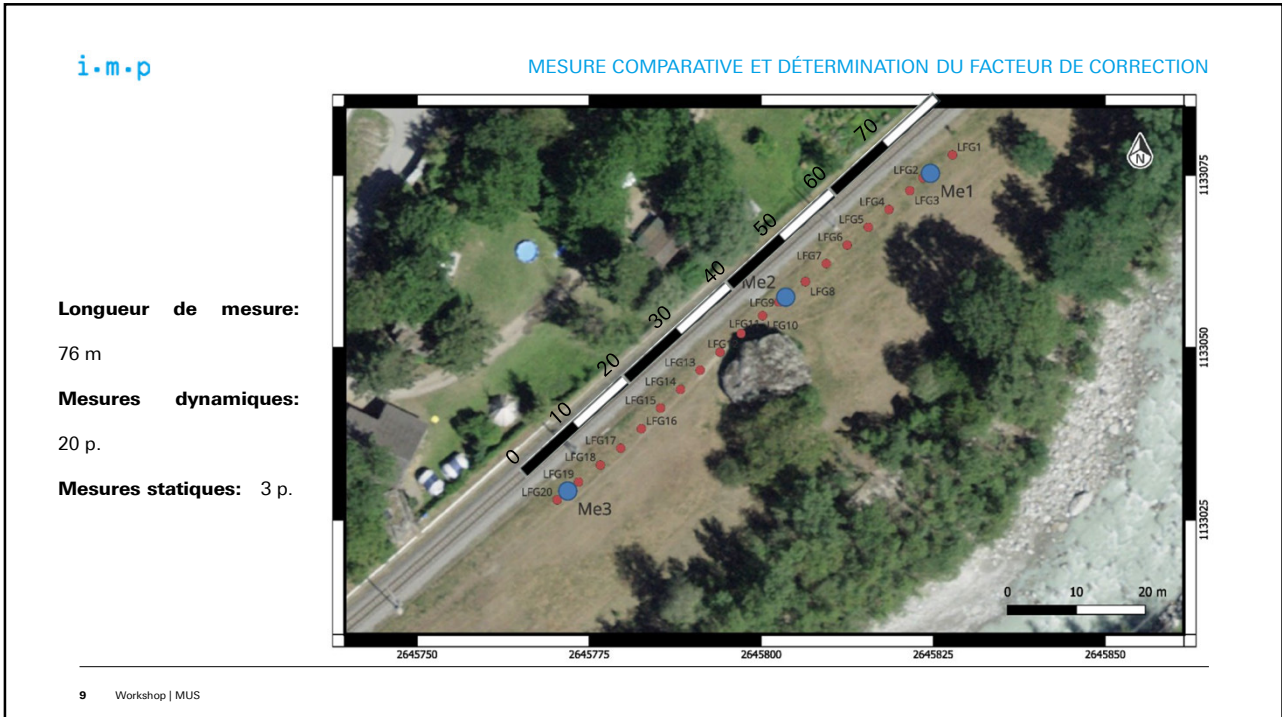
COMPARAISON MESURE STATIQUE ET DYNAMIQUE

**VSS 70 313 – Essai dynamique****VSS 70 317 – Essai statique (ME)**

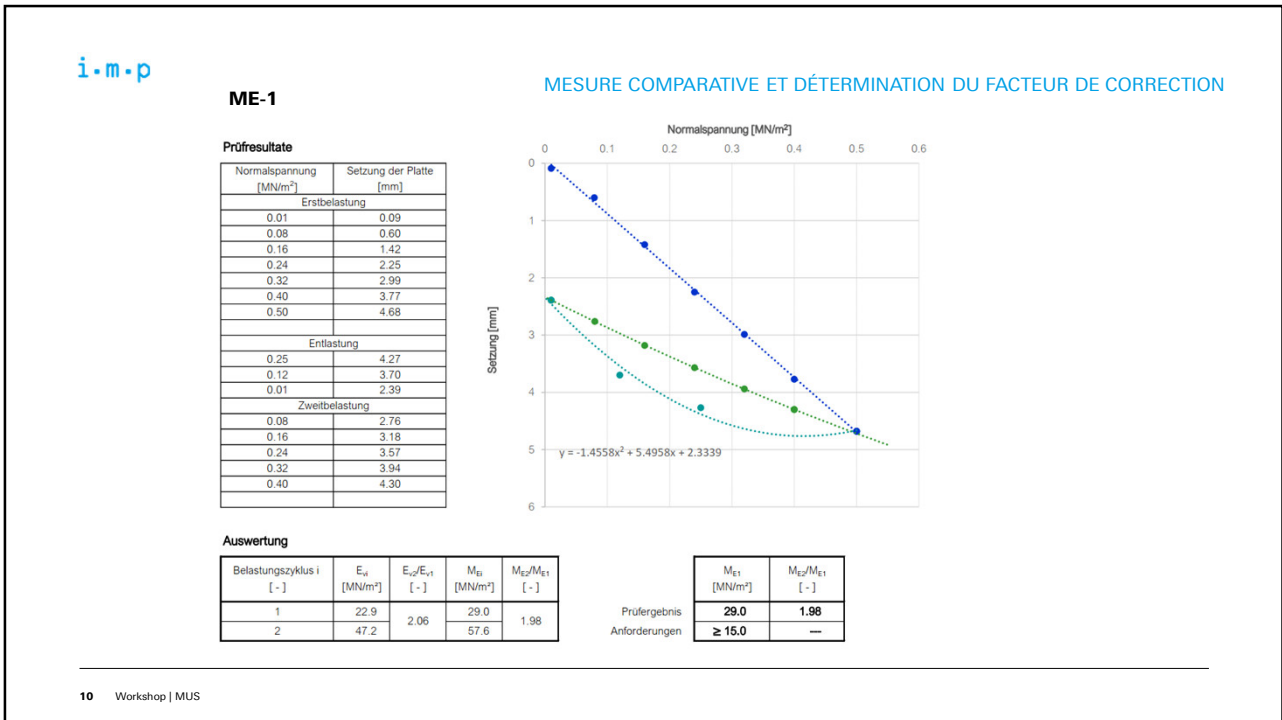
<b>Type de chargement</b>	Dynamique avec une masse tombante (impact)	Statique/charge progressive
<b>Type de valeur de mesure</b>	Module dynamique $Evd$	Module statique ME
<b>Vitesse d'exécution</b>	Rapide et mobile (quelques par point de mesure)	Lent, beaucoup de paliers de chargement (au moins 30 min.)
<b>Précision</b>	Moyenne, avec corrélation	Elevée
<b>Équipement</b>	Léger, transportable	Lourd, équipement coûteux
<b>Exploitation</b>	Adapté pour les contrôles rapides de la portance, non normalisé	Évaluation technique détaillée, normalisée
<b>Domaine d'utilisation</b>	Contrôle rapide du compactage et de la qualité à la surface de la couche	Calcul approfondi de la capacité portante
<b>Champ d'application</b>	Essai plutôt ponctuel, représentatif à faible profondeur, Profondeur env. 0.8-1.0 D (Ø 300 mm) = 30 cm	Essai à effet plutôt plat ou volumétrique, Profondeur env. 1.5 D (Ø 300 mm) = 60 cm
<b>Surface de mesure</b>	Dans les zones difficiles d'accès, les excavations de fondations, les bords de routes, les tranchées pour conduites et canalisations	Nécessite plus de place (contre-poids)

8 Workshop | MUS

8

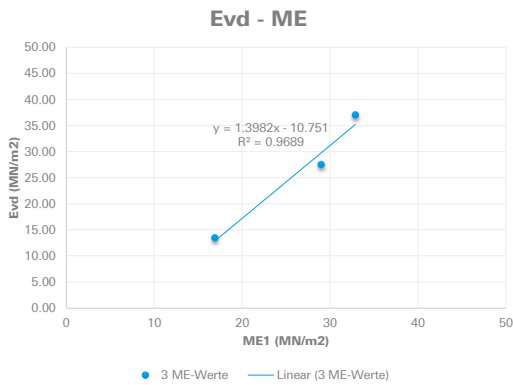


9



10

	ME1	ME2	ME3
ME (MN/m <sup>2</sup> )	29.0	16.9	32.9
bei LFG	LFG 2	LFG 9	LFG 20
Evd	27.48	13.44	37.00

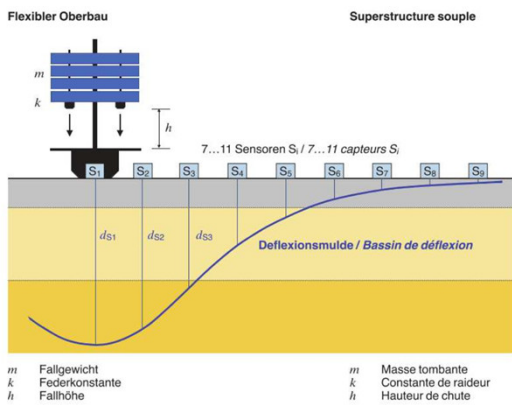


Nr	Bez.	Lage, Profil, km	1. Messstoss			2. Messstoss			3. Messstoss			E <sub>vd</sub> MW	M <sub>cr</sub> MW	n	
			s [mm]	v [mm/s]	E <sub>vd(1)</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	s [mm]	v [mm/s]	E <sub>vd(2)</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	s [mm]	v [mm/s]	E <sub>vd(3)</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]				
1	LFG-1	912	1.014	268.1	22	0.992	260.1	23	1.196	285.8	19	21	23	5	2)
2	LFG-2	908	0.563	207.2	40	0.940	278.1	24	0.997	298.2	23	27	27	3	2)
3	LFG-3	904	0.485	185.9	46	0.505	189.7	45	0.680	239.7	33	40	37	2	2)
4	LFG-4	900	0.535	198.5	42	0.743	248.8	30	0.708	243.2	32	34	32	4	2)
5	LFG-5	896	1.527	352.6	15	1.370	333.0	16	1.413	351.3	16	16	19	3	2)
6	LFG-6	892	2.034	408.1	11	2.134	435.9	11	2.016	429.3	11	11	15	5	2)
7	LFG-7	888	2.643	489.0	9	3.073	563.6	7	3.060	581.7	7	8	13	4	2)
8	LFG-8	884	2.188	427.7	10	2.130	422.1	11	2.200	441.1	10	10	15	4	2)
9	LFG-9	880	1.605	348.7	14	1.660	361.0	14	1.838	393.3	12	13	17	4	2)
10	LFG-10	876	1.048	263.4	21	1.053	264.1	21	1.083	272.3	21	21	23	4	2)
11	LFG-11	872	0.728	214.6	31	0.753	219.6	30	0.723	215.3	31	31	30	4	2)
12	LFG-12	868	0.943	261.9	24	0.938	262.7	24	0.930	262.9	24	24	25	4	2)
13	LFG-13	864	0.910	251.2	25	0.853	241.6	26	0.900	254.0	25	25	26	3	2)
14	LFG-14	860	0.675	206.0	33	0.695	211.0	32	0.678	205.5	33	33	31	4	2)
15	LFG-15	856	0.727	222.6	31	0.727	224.9	31	0.693	215.8	32	31	30	3	2)
16	LFG-16	852	0.650	208.5	35	0.603	199.0	37	0.547	189.3	41	38	35	3	2)
17	LFG-17	848	0.915	227.0	25	0.905	226.3	25	0.843	216.1	27	25	26	4	2)
18	LFG-18	844	0.903	248.3	25	0.857	236.9	26	0.823	237.8	27	26	26	3	2)
19	LFG-19	840	0.503	178.5	45	0.553	199.8	41	0.493	186.5	46	44	39	3	2)
20	LFG-20	836	0.548	192.8	41	0.715	225.9	31	0.568	197.6	40	37	34	4	2)

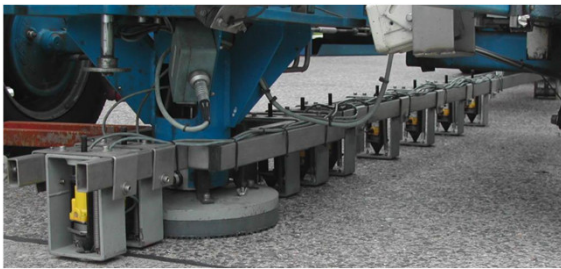
Legende  
 \* Anzahl Messpunkte für Mittelwert. Messbereich E<sub>vd</sub> 15 ... 70 MN/m<sup>2</sup> (VSS 2002/501)  
 \*\* 1) ME1-Wert gemessen  
 2) Umrechnungsfaktor M<sub>cr</sub>-Wert K = (Evd + 10.7510) / 1.398 Prüfbericht der ME-Messungen: Drittlabor

Simulation du passage d'un camion circulant à 70 km/h

Masse tombante sur une plaque de chargement (2 – 135 kN)  
 9 géophones enregistrent le bassin de déflexion (longueur 2 m)



m Fallgewicht  
 k Federkonstante  
 h Fallhöhe  
 m Masse tombante  
 k Constante de raideur  
 h Hauteur de chute



**Les mesures FWD sont adaptées pour:**

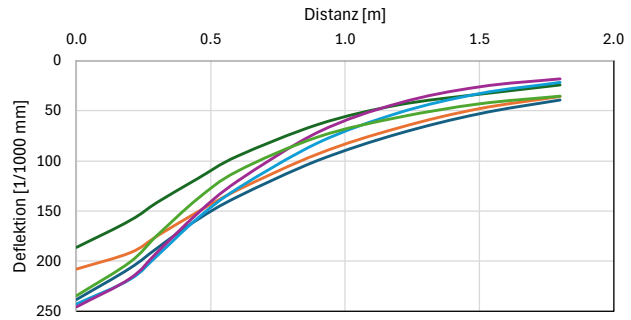
- ✓ Enrobé bitumineux
- ✓ Portance de la chaussée
- ✓ Identification de zones de faiblesses
- ✓ Calcul du renforcement (Benkelman)

$5\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\text{Asphalt}} < 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

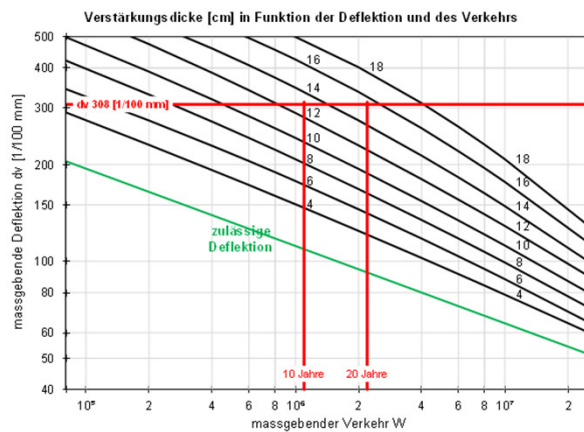
**Les mesures FWD ne sont pas adaptées pour:**

- ✓ Contrôle de compactage
- ✓ Détermination de l'épaisseur des couches-> Géoradar

**FWD: Deflektionsmulden**

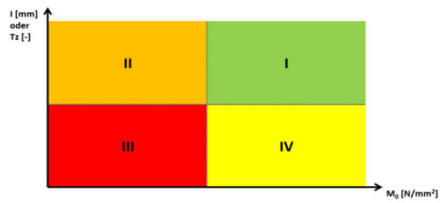


Géophone en milieu de plaque  
 Conversion FWD -> Benkelman  
 selon COST 336 (Faktor 1.24)  
 Selon classe de trafic (T3)

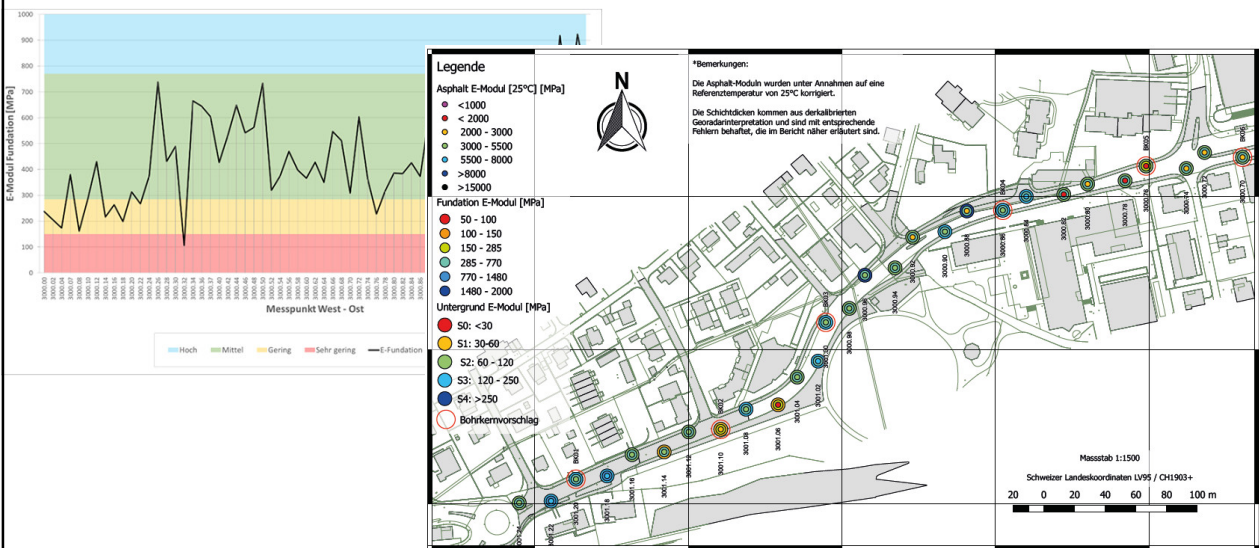
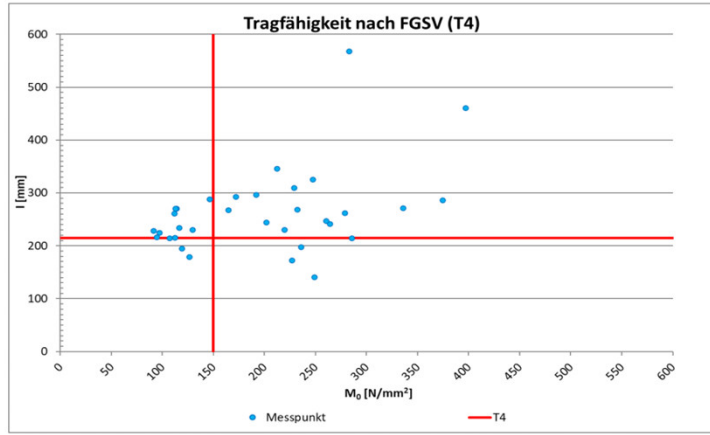


<b>10</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T1</b>
Jahre	30	100	300	1000	3000	TF
<b>20</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T1</b>
Jahre	30	100	300	1000	3000	TF

Classification en domaines I - IV



Klassifizierung der Tragfähigkeitskenngrossen



Méthode	Chargement standard	Diamètre de plaque de chargement	Type de chargement	Zone d'influence / couches
<b>FWD</b> Falling Weight Deflectometer	30 – 120 kN	ca. 300 mm	Dynamique (impulsion)	Chaussée complète jusqu'à <b>1 – 2 m</b>
<b>LFG</b> Leichtes Fallgewichtgerät	7 – 15 kN	meist 300 mm	Dynamique (impulsion)	Environ <b>0.3 – 0.6 m</b>
<b>ME</b> Statischer Plattendruckversuch	50 – 100 kN	300 mm	<b>Statique</b>	Environ <b>0.6 – 1.0 m</b>

✔ **Classification pratique**

- ME** → Méthode de référence selon normalisation
- LFG** → Contrôle rapide de chantiers
- FWD** → Analyse structurelle de chaussées existantes



i.m.p

Erreur	Conséquence
Sol trop mouillé	Ev2 trop faible
Sol trop sec	Ev2 trop haut
Présence de gros cailloux	Dispersion des résultats
Humidité inégale	Evaluation peu fiable
Rebondissement trop important lors de l'impact	Evaluation erronée de la portance