# Verhältniszahlen ME2/ME1,

## Grundlagen zur Revision der Norm SN 640 585, «Verdichtung, Anforderung»

Rapports ME2/ME1
Bases à la révision de la norme SN 640 585 «Compactage, Exigences»

Institut für Geotechnik (IGT) der ETH Zürich
Ingenieurbüro Heierli AG, Zürich
P. Amsler, Géotechnique-Fondations, Chêne-Bougeries

Dr. M. Caprez, dipl. Ing. ETH
F.-L. Yang, dipl. Ing. ETH
P. Amsler, dipl. Ing. ETH

Forschungsauftrag 4/88 auf Antrag der
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)

März 1994

ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Ecole polytechnique fédérale de Zurich
Politecnico federale di Zurigo
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

2607

**Institut für Geotechnik (IGT)**
ETH-Hönggerberg
CH-8093 Zürich
Fax 01 / 371 23 01

**Ingenieurbüro Heierli AG**
Culmannstrasse 56
CH-8033 Zürich
Fax 01 / 361 11 77

**P. Amsler, Géotechnique-Fondations**
Rue de Chêne-Bougeries 31
CH-1224 Chêne-Bougeries
Fax 022 / 349 51 22

# Verhältniszahlen ME2/ME1,
## Grundlagen zur Revision der Norm SN 640'585, 'Verdichtung Anforderung'

## Rapports ME2/ME1
**Bases à la révision de la norme SN 640'585 'Compactage Exigences'**

Schlussbericht zu Forschungsauftrag 4/88

EVED
Bundesamt für Strassenbau
3003 Bern

auf Antrag
VSS Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute
8001 Zürich

März 1994

Amsler Pierre
Caprez Markus
Yang Fei-Loung

# Inhalt

Seite:

**Zusammenfassung** III
**Résumé** IV
**Summary** V
**Anhang- und Beilagenverzeichnis** VI

**1 Auftrag** 1
1.1 Vorgeschichte 1
1.2 Auftrag im Wortlaut 1
1.3 Auftragsanalyse 2

**2 Einleitung** 3
2.1 Plattendruckversuche, Allgemeines 3
2.2 Theoretische Grundlagen zur Auswertung des Plattendruckversuches 5
2.2.1 Setzung einer schlaffen, kreisförmigen Flächenlast p auf dem elastischen, isotropen Halbraum 6
2.2.2 Setzung einer starren, kreisförmigen Platte auf dem elastischen, isotropen Halbraum 7
2.3 Europäische Normen für Plattendruckversuche (Ueberblick) 8
2.4 Vergleich ME-Versuch und EV-Versuch 12
2.4.1 Tabellarische Aufzählung der Unterschiede 12
2.4.2 Vergleich einer ME- und EV-Auswertung mit theoretisch konstruierten Messwerten 13
2.4.3 Vergleich einer ME- und EV-Auswertung mit Messwerten eines ausgewählten Versuches 14

**3 Vorgehen und Ergebnis** 17
3.1 Beschaffung und statistische Auswertung vorhandener Daten von ME1- und ME2-Versuchen in der Schweiz 17
3.2 Durchgeführte Vergleichsmessungen 21
3.2.1 Messungen auf dem Gelände des Flughafen Kloten 21
3.2.2 Messungen auf dem Gelände der Grossversuchsanlage Rundlauf der ETHZ-IVT 25

**4 Schlussfolgerung und Empfehlung** 28
4.1 Empfehlung zur Aenderung der Norm SN 670'317a Plattendruckversuch 28
4.2 Empfehlung zur Norm SN 640'585 Verdichtung Anforderungen 29
4.3 Verdichtungskontrolle mit dynamischen Messgeräten 29
4.4 Auswirkungen einer allfälligen Aenderung der Norm SN 670'317a auf die Dimensionierung 29

**5 Literatur** 31
5.1 Normen 31
5.2 Fachbücher, Autographien, Publikationen 31

# Zusammenfassung

Für die Verdichtungskontrolle wird in der Schweiz der $M_E$ -, in den Nachbarländern der $E_V$ -Wert gemessen (Plattendruckversuch). Bei beiden Messungen wird eine kreisförmige Druckplatte mit einem Durchmesser von 300 mm benutzt. Die Geräte unterscheiden sich nicht grundsätzlich, nur die Belastungsstufen und Auswerteformeln der beiden Messungen weisen Unterschiede auf. Dies erklärt, dass beide Werte, $M_E$ und $E_V$, grundsätzlich nicht identisch sein können.

Beim Plattendruckversuch werden die $M_E$ - bzw. $E_V$ -Werte aus der Erstbelastung ($M_{E1}$, $E_{V1}$) und aus der Wiederbelastung ($M_{E2}$, $E_{V2}$) ausgewertet. Die Verhältniszahl $f_E = M_{E2}/M_{E1}$ bzw. $f_V = E_{V2}/E_{V1}$ stellt ein Mass zur Beurteilung der Verdichtung dar und ist in unseren Nachbarländern normiert. Dort wird $f_V \leq 2.5$ vorgeschrieben. Hingegen ist ein Mindestwert für den $f_E$ - Wert in der Schweiz bis heute noch nicht vorgeschrieben. Mit der Revision der Schweizer Norm über Anforderungen an die Verdichtung soll die maximal zulässige Verhältniszahl $f_E$ vorgeschrieben werden.

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurden die in der Schweiz gemessenen $M_E$ - Werte gesammelt und statistisch ausgewertet. Die Auswertung bringt eine Ueberraschung an den Tag: in den meisten Kantonen überschreitet die Verhältniszahl $f_E = M_{E2}/M_{E1}$ den Wert von 2.5 weit. Die Auswertung zeigt ferner, dass die Verhältniszahl $f_E$ eindeutig näher an den Wert von 2.5 herankommt, je besser der Untergrund ist. Die Gründe dafür konnten erklärt werden.

Die Einhaltung der Bedingung $f_E \leq 2.5$ konnte allerdings mit eigenen $M_E$ - Messungen auf der Rundlauf-Anlage der ETH-Zürich bestätigt werden.

Die Untersuchungen führen zu folgenden Empfehlungen:

1. Die bestehende Norm SN 670'317a (Plattendruckversuch) soll revidiert werden. Dabei sind
   (a) Zeitintervalle bis zum Aufbringen der weiteren Belastungsstufen,
   (b) Spannungsintervalle für die Prüfung der verschiedenen Schichten und
   (c) Vorschriften über das Setzen und Vorbelasten der Platte neu zu überdenken und anzupassen.

2. Die bestehende Norm SN 640'585 (Verdichtung, Anforderungen) soll mit einer Ergänzung vervollständigt werden. Die Ergänzung betrifft die Einhaltung der Verhältniszahl $f_E = M_{E2}/M_{E1}$, welche für Fundations- und Tragschichten $f_E \leq 2.5$ betragen soll. Hingegen wird für den Unterbau (Messung auf dem Planum) vorläufig kein Abnahmewert $f_E$ empfohlen.

3. Die zu revidierende Norm SN 670'317a (Plattendruckversuch) soll auch Hinweise und Anforderungen bezüglich der Tiefenwirkung der Belastungsplatte (Schichtdicke) und Homogenität der zu prüfenden Schicht enthalten.

# Résumé

Le contrôle du compactage s'effectue, en Suisse par l'essai de plaque $M_E$, dans les pays voisins par l'essai $E_V$. Les deux types d'essais sont réalisés avec une même plaque de 300 mm de diamétre. Les paliers de charge ainsi que les formules de calcul des valeurs sont par contre differérents pour les deux esseis. C'est ce qui explique la differérence entre les valeurs $M_E$ et les valeurs $E_V$. Dans l'essai de plaque, les valeurs $M_E$ et $E_V$ sont déterminées pour la première charge ($M_{E1}$, $E_{V1}$) et pour la recharge ($M_{E2}$, $E_{V2}$). Les rapports $f_E = M_{E2}/M_{E1}$ et $f_V = E_{V2}/E_{V1}$ permettent d'évaluer le degré de compactage et sont normalisés dans les pays voisins. La valeur $f_V \leq 2.5$ est exigée. Ce rapport n'est pas encore normalisé en Suisse. Dans le cadre de la révision des normes sur le compactage, il est prévu de normaliser le rapport $f_E$.
Dans le cadre de la présente recherche, une grande quantité de valeurs $M_E$, ont été récoltées et analysées statistiquement. Quelle a été la surprise !. Dans la plupart des cantons, les valeurs $f_E = M_{E2}/M_{E1}$ obtenues dépassent largement 2.5. L'évaluation des résultats montre que le rapport $f_E$ se rapproche de 2.5 plus le sol présente une portance élevée. Les raisons sont exposées dans le rapport.

La condition $f_E \leq 2.5$ a toutefois pu étre respectée lors d'une série d'essais propres sur le carrousel de l' EPFZ à Dübendorf.

Les propositions suivantes sont faites à la suite de la présente recherche:

1. La norme actuelle SN 670'317a (essai de plaque) doit être révisée comme suit:

   (a) Modifier les intervalles de temps entre les paliers de charge.

   (b) Modifier les intervalles de charges en fonction des couches testées.

   (c) Adapter les exigences de tassements lors des paliers de charge et lors du préchargement.

2. Compléter la norme actuelle SN 640'585 (compactage, exigences) en introduisant dans la nouvelle norme la notion du rapport $f_E = M_{E2}/M_{E1}$. Ce dernier doit être $\leq 2.5$ pour les couches de fondations. Pour l'infrastructure (mesure sur la forme de l'infrastructure), il n'est pas prévu d'exiger une valeur de $f_E$ précise.

3. La norme SN 670'317a (essai de plaque) dont la révision est envisagée devra contenir également certaines indications sur la profondeur d'action de la plaque de charge et des exigences sur l'homogenéité de la couche de sol à contrôler.

# Summary

The $M_E$-value is used for compaction control in Switzerland, whereas in neighbouring countries the $E_V$-value is used (plate loading test). The same circular pressure plate with a diameter of 300 mm is used for both measurements. The loading cycles as well as the formulas are different, which explains the difference between the values of $M_E$ and $E_V$.

During the plate loading test, the $M_E$-values and the $E_V$-values are obtained from the first loading step ($M_{E1}$, $E_{V1}$) and from the second loading to the same value ($M_{E2}$, $E_{V2}$). The ratios $f_E = M_{E2}/M_{E1}$ and $f_V = E_{V2}/E_{V1}$ permit the evaluation of the degree of compaction and are normalised in the neighbouring countries. The value of $f_V \leq 2.5$ is compulsory. In Switzerland, the ratio $f_E$ has not yet been normalised, however, with the revision of the Swiss Standard for Compaction a normalisation of this will be included.

Within the framework of the present research work, a large amount of $M_E$-values were collected and evaluated statistically. The evaluation led to surprising results: In most of the Swiss cantons the ratio $f_E = M_{E2}/M_{E1}$ was much higher than the value 2.5. The evaluation of the results showed that the ratio $f_E$ is closer to the value of 2.5 for soils with higher bearing capacities. The reasons for this will be presented in this report.

During a series of tests carried out at the ETH research site in Dübendorf, it was possible to obtain a value of $f_E \leq 2.5$ .

The following recommendations have resulted from these tests:

1. The present Standard SN 670'317a (Plate Loading Test, $M_E$) should be revised as follows:
   (a) modify the time intervals between loading cycle
   (b) modify the stress intervals as a function of the layers tested
   (c) adapt the settlement requirements for the load steps and pre-loading steps

2. The present Standard SN 640'585 (Compaction, Requirements) should be completed with an amendment regarding the ratio $f_E = M_{E2}/M_{E1}$, which should be $\leq 2.5$ for foundation and bearing layers. However, no precise value $f_E$ will be recommended for the subconstruction.

3. The Standard SN 670'317a (Plate Loading Test, $M_E$) to be revised, shall include indications and requirements with regard to the influence of the depth as well as the homogenity of the soil layers under the steel plate.

# Anhang- und Beilagenverzeichnis


| | | Seite: |
|---|---|---|
| **Anhang 1** | **Daten schweizerischer $M_E$-Messungen** | **1.1** |
| Beilage 1 | Messungen der Stadt Zürich; Graphik | 1.2 |
| Beilage 1a | Messungen der Stadt Zürich; Zusammenstellung | 1.3 |
| Beilage 2 | Messungen des Kanton Bern; Graphik | 1.4 |
| Beilage 2a | Messungen des Kanton Bern; Zusammenstellung | 1.5 |
| Beilage 3 | Messungen des Kanton Graubünden; Graphik | 1.6 |
| Beilage 3a | Messungen des Kanton Graubünden; Zusammenstellung | 1.7 |
| Beilage 4 | Messungen des Kanton Jura; Graphik | 1.8 |
| Beilage 4a | Messungen des Kanton Jura; Zusammenstellung | 1.9 |
| Beilage 5 | Messungen der Betonstrassen AG; Graphik | 1.10 |
| Beilage 5a | Messungen der Betonstrassen AG; Zusammenstellung | 1.11 |
| Beilage 6 | Messungen des Kanton Aargau; Graphik | 1.12 |
| Beilage 6a | Messungen des Kanton Aargau; Zusammenstellung | 1.13 |
| Beilage 7 | Messungen des Kanton Zürich; Graphik | 1.14 |
| Beilage 7a | Messungen des Kanton Zürich; Zusammenstellung | 1.15 |
| Beilage 8 | Messungen des Kanton Zürich Unterbau; Graphik | 1.16 |
| Beilage 8a | Messungen des Kanton Zürich Unterbau; Zusammenstellung | 1.17 |
| Beilage 9 | Messungen des Kanton Zürich Tragschicht; Graphik | 1.18 |
| Beilage 9a | Messungen des Kanton Zürich Tragschicht; Zusammenstellung | 1.19 |
| Beilage 10 | Messungen des Kanton Genf Kiessand; Graphik | 1.20 |
| Beilage 10a | Messungen des Kanton Genf Kiessand; Zusammenstellung | 1.21 |
| Beilage 11 | Messungen des Kanton Genf Moräne; Graphik | 1.22 |
| Beilage 11a | Messungen des Kanton Genf Moräne; Zusammenstellung | 1.23 |
| Beilage 12 | Messungen des Kanton Genf Untergrund; Graphik | 1.24 |
| Beilage 12a | Messungen des Kanton Genf Untergrund; Zusammenstellung | 1.25 |
| **Anhang 2** | **Daten schweizerischer $M_E$-Messungen, zusammengefasst** | |
| Beilage 13 | Alle Daten in Funktion von $M_{E1}$; Graphik | 2.2 |
| Beilage 13a | Alle Daten in Funktion von $M_{E1}$; Zusammenstellung | 2.3 |
| Beilage 14 | Alle Daten in Funktion von $M_{E2}$; Graphik | 2.4 |
| Beilage 14a | Alle Daten in Funktion von $M_{E2}$; Zusammenstellung | 2.5 |
| **Anhang 3** | **Messungen auf dem Gelände des Flughafen Kloten** | |
| Beilage 15 | Punkt 200 und 200A, numerische Auswertung | 3.2 |
| Beilage 15a | Punkt 200 und 200A, Belastungs-Setzungskurven | 3.3 |
| Beilage 16 | Punkt 201 und 201A, numerische Auswertung | 3.4 |
| Beilage 16a | Punkt 201 und 201A, Belastungs-Setzungskurven | 3.5 |
| Beilage 17 | Punkt 208 und 208A, numerische Auswertung | 3.6 |
| Beilage 17a | Punkt 208 und 208A, Belastungs-Setzungskurven | 3.7 |
| Beilage 18 | Punkt 209 und 209A, numerische Auswertung | 3.8 |
| Beilage 18a | Punkt 209 und 209A, Belastungs-Setzungskurven | 3.9 |
| Beilage 19 | Punkt 211 und 211A, numerische Auswertung | 3.10 |
| Beilage 19a | Punkt 211 und 211A, Belastungs-Setzungskurven | 3.11 |
| Beilage 20 | Punkt 222 und 222A, numerische Auswertung | 3.12 |
| Beilage 20a | Punkt 222 und 222A, Belastungs-Setzungskurven | 3.13 |
| Beilage 21 | Punkt 223 und 223A, numerische Auswertung | 3.14 |
| Beilage 21a | Punkt 223 und 223A, Belastungs-Setzungskurven | 3.15 |
| Beilage 22 | Punkt 224 und 224A, numerische Auswertung | 3.16 |
| Beilage 22a | Punkt 224 und 224A, Belastungs-Setzungskurven | 3.17 |
| Beilage 23 | Punkt 225 und 225A, numerische Auswertung | 3.18 |
| Beilage 23a | Punkt 225 und 225A, Belastungs-Setzungskurven | 3.19 |

## Anhang 4 Messungen auf dem Gelände des Rundlauf ETH-IVT


| | | |
|---|---|---|
| Beilage 24 | Feld 41A, numerische Auswertung | 4.2 |
| Beilage 24a | Feld 41A, Belastungs-Setzungskurven | 4.3 |
| Beilage 25 | Feld 41B, numerische Auswertung | 4.4 |
| Beilage 25a | Feld 41B, Belastungs-Setzungskurven | 4.5 |
| Beilage 26 | Feld 42A, numerische Auswertung | 4.6 |
| Beilage 26a | Feld 42A, Belastungs-Setzungskurven | 4.7 |
| Beilage 27 | Feld 42B, numerische Auswertung | 4.8 |
| Beilage 27a | Feld 42B, Belastungs-Setzungskurven | 4.9 |
| Beilage 28 | Feld 45B1, numerische Auswertung | 4.10 |
| Beilage 28a | Feld 45B1, Belastungs-Setzungskurven | 4.11 |
| Beilage 29 | Feld 45B2, numerische Auswertung | 4.12 |
| Beilage 29a | Feld 45B2, Belastungs-Setzungskurven | 4.13 |
| Beilage 30 | Feld 45B3, numerische Auswertung | 4.14 |
| Beilage 30a | Feld 45B3, Belastungs-Setzungskurven | 4.15 |
| Beilage 31 | Feld 45B4, numerische Auswertung | 4.16 |
| Beilage 31a | Feld 45B4, Belastungs-Setzungskurven | 4.17 |
| Beilage 32 | Feld 45B5, numerische Auswertung | 4.18 |
| Beilage 32a | Feld 45B5, Belastungs-Setzungskurven | 4.19 |
| Beilage 33 | Feld 50, numerische Auswertung | 4.20 |
| Beilage 33a | Feld 50, Belastungs-Setzungskurven | 4.21 |
| Beilage 34 | Feld 50, numerische Auswertung | 4.22 |
| Beilage 34a | Feld 50, Belastungs-Setzungskurven | 4.23 |


## Anhang 5 Beispiele ausländischer Messungen


| | | |
|---|---|---|
| Beilage 34 | Alle Daten in Funktion von $M_{E1}$; Graphik | 5.2 |
| Beilage 35 | Alle Daten in Funktion von $M_{E1}$; Zusammenstellung | 5.3 |

# Verhältniszahlen $M_{E2}/M_{E1}$,
## Grundlagen zur Revision der Norm SN 640'585, 'Verdichtung Anforderung'

# 1. Auftrag

## 1.1 Vorgeschichte

Im Strassenbau und in der Geotechnik spielen die **Verformungsmoduli** als quantifizierbare Bodenkennwerte bzw. Zustandswerte $M_E$ (oder $E_V$) eine wichtige Rolle. Die Verformungsmoduli sind die gebräuchlichsten Messwerte, welche zur Bemessung der Strassenoberbauten und zur Beurteilung der Tragfähigkeit von Unter- und Oberbauschichten herangezogen werden. Aufgrund geotechnischer Zusammenhänge lässt das Verhältnis der Wiederbelastungsmoduli ($M_{E2}$) zu den Erstbelastungsmoduli ($M_{E1}$) auf den Zustand der Verdichtung der geprüften Schicht schliessen. Im weiteren werden die $M_E$-Werte oder im Ausland die $E_V$-Werte häufig für das Kalibrieren anderer Bodenkennwerte wie dynamische Deflektionswerte oder Verdichtungswerte herangezogen.

Mit der Revision der Schweizer Norm über Anforderungen an die Verdichtung soll ein maximal zulässiges **Verhältnis $M_{E2}/M_{E1}$** vorgeschrieben werden. An der ETH durchgeführte Forschungsarbeiten zeigen, dass mit hoher Verdichtung wesentlich an Kiessandressourcen gespart werden kann. Um einen vernünftigen Anforderungswert an das Verhältnis $M_{E2}/M_{E1}$ vorschreiben zu können, müssen die Zusammenhänge zwischen Belastungsstufen, Belastungsgeschwindigkeit, Auswertung der Resultate, mögliche Fehlerquellen bei der Durchführung des Versuches sowie die effiziente praktische Handhabung des Versuchsgerätes ermittelt werden.

Es werden dazu umfangreiche **statistische Auswertungen** bisher durchgeführter Messungen in den verschiedenen Regionen der Schweiz gemacht. Im weiteren werden die Versuchsresultate mit ausländischen Normvorschriften ausgewertet und verglichen. Unter Laborbedingungen werden die gleichen Schichtaufbauten nach verschiedenen europäischen Normen geprüft und verglichen.

Die Forschungsarbeit wird vom Bundesamt für Strassenbau finanziert.

## 1.2 Auftrag im Wortlaut

Nach Prüfung unseres Gesuches hat das Bundesamt für Strassenbau gemäss Antrag der Kommission für Forschung im Strassenwesen verfügt: *Das Bureau d'Ingénieur P. Amsler, Géotechnique-Fondations, 1224 Chêne-Bougeries, das Ingenieurbüro Heierli AG, Culmannstrasse 56, 8033 Zürich, und das Institut für Geotechnik (vormals Institut für Grundbau und Bodenmechanik) an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich werden beauftragt, die Verhältniszahlen $M_{E2}/M_{E1}$ aufgrund vorhandener und noch zu messender Daten zu ermitteln und statistisch auszuwerten und danach Richtwerte für die Praxis auszuarbeiten. Die Resultate sollten zu Empfehlungen für die Revision der Verdichtungsnorm SN 640'585 a führen.*

## 1.3 Auftragsanalyse

In unseren Nachbarländern, vor allem in den deutschsprachigen Ländern existieren vergleichbare Plattendruckversuch-Normen wie in der Schweiz. Schweizerische sowie ausländische Erfahrungen und Diskussionen mit Kollegen aus dem benachbarten Ausland zeigen und bestätigen, dass das Verhältnis des Wiederbelastungs-Verformungsmoduls zum Erstbelastungs-Verformungsmodul sehr gut zum Beurteilen des Verdichtungszustandes einer Schicht herangezogen werden kann. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass ein kleiner werdendes Verhältnis zwischen Wieder- und Erstbelastungs-Verformungsmodul einen besseren Verdichtungszustand einer Schicht anzeigt. Allerdings ist die absolute Grösse dieses Verhältnisses offensichtlich auch von der Versuchsvorschrift bzw. Versuchsdurchführung abhängig.

In vielen europäischen Ländern, vor allem auch in Deutschland und in Oesterreich muss eine gut verdichtete Schicht ein Verhältnis des Wiederbelastungs- zum Erstbelastungs-Verformungsmodul von $E_{V2}/E_{V1}$ kleiner als 2.5 aufweisen. Aufgrund schweizerischer Erfahrungen mit unserer Plattendruckversuch-Norm ($M_{E2}/M_{E1}$) gelingt es aber **in den wenigsten Fällen,** ein solches Verhältnis von **kleiner als 2.5** zu messen, obwohl davon ausgegangen werden muss, dass nicht alle Schichten, welche einen grösseren Wert dieses Verhältnisses aufweisen, ungenügend verdichtet worden sind. Es war deshalb Ziel dieser Arbeit, **die Ursachen für diese Abweichungen festzustellen, und Vorschläge für deren Beseitigung zu Erarbeiten.**

Die Notwendigkeit für eine erweiterte Messmethode zur Bestimmung des Verdichtungszustandes von Schichten im Strassenbau ergibt sich aus der Tatsache, dass die heute gebräuchliche Methoden der Dichtemessungen mit Sandersatz, Ballonmethode o.ä. relativ zeitaufwendig und fehleranfällig sind. Die Dichtemessung und vor allem die Messung der Homogenität der verdichteten Schicht mittels Nukleodensitometer ist vom Blickpunkt des Zeitaufwandes her gesehen gut, weil die Resultate sofort vorliegen und damit die Möglichkeit besteht, entsprechende Sanierungsmassnahmen rechtzeitig an die Hand zu nehmen. Allerdings wird mit dieser Messung eigentlich nur ein Relativwert gemessen, wobei zu beachten ist, dass der Messbereich des erfassten Volumens relativ klein ist. Die Intensität der Strahlung an der Schichtoberfläche, also in einer eher gestörten Zone ist am grössten. Für eine genügende Aussage sind mehrere Messungen notwendig. Absolute Werte, welche eine aufwendige Kalibrierung dieser Geräte für jeden Bodentyp voraussetzen, sind nicht sehr zuverlässig.

Untersuchungen haben gezeigt, dass kleine Dichteunterschiede zu recht grossen Tragfähigkeitsunterschieden der Schicht führen. Solche Dichteunterschiede liegen für optimal verdichtete Schichten im Bereich der Messgenauigkeit der üblichen Feld-Dichtemessmethoden. Daher muss festgestellt werden, dass für eine optimale Ausnützung der Tragfähigkeitsreserven von gut verdichteten Schichten die üblichen Feld-Dichtemessmethoden zu wenig sensitiv sind. Eine direkte Messung der Tragfähigkeit bzw. des Verformungsmoduls wie ihn der $M_E$- oder $E_V$-Wert darstellt, ist aus diesen Gründen sinnvoll und notwendig.

Durch die direkte Messung des Tragfähigkeitswertes können im weiteren die Dimensionierungsgrundlagen überprüft werden.

# 2. Einleitung

## 2.1 Plattendruckversuche, Allgemeines

Anlässlich des ersten Ausbaus des Flughafens Kloten im Jahre 1948 hat Robert Haefeli (ETH Zürich, VAWE) eine einfache Methode entwickelt, um die Zusammendrückbarkeit des Bodens in situ zu messen und zu quantifizieren [11], [12], [13]. Bei dieser Messung wurde der heute in der Schweiz und im Ausland bekannte Verformungsmodul $M_E$ (im Ausland $E_V$) eingeführt. Dieser Modul unterscheidet sich vom Elastizitätsmodul elastischer Stoffe - welcher auch eine Proportionalität zwischen Spannung und Dehnung mit der selben technischen Einheit beschreibt - grundsätzlich in zwei Haupteigenschaften. Erstens erfolgt die $M_E$ - Messung bei beinahe verhinderter oder zumindest stark behinderter Seitenausdehnung, während der Elastizitätsmodul bei unbehinderter Seitenausdehnung gemessen wird. Zweitens handelt es sich beim $M_E$-Wert nicht um eine Materialkonstante, sondern um eine Zustandsbeschreibung des Bodens, welche unter anderem von der Verdichtung, Spannungsgeschichte, Konsolidation und vom bei der Be- oder Entlastung aufgebrachten Spannungsintervall sowie vom Vorzeichen der Spannungsänderung (Be- oder Entlastung) abhängig ist.

E-Modul: konstant (Linearität zwischen Spannung und Dehnung über den praktischen Messbereich)

$M_E$-Modul: Spannungsabhängiger den Zustand beschreibender Proportionalitätsfaktor zwischen Spannung und Dehnung

Die von Robert Haefeli vorgeschlagene Methode wurde danach von der Kommission für Unterbau und Fundationsschichten der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS) standardisiert und in der Norm Plattenversuch $M_E$ SNV 670 317 beschrieben. Im Jahre 1981 wurde diese Norm revidiert (SNV 670 317a, 1981) und durch eine weitere Norm für den schnellen $M_E$-Versuch ergänzt (SNV 670 318, 1980).

Der Plattendruckversuch mit einer starren, kreisrunden Platte dient im Strassenbau und in der Geotechnik

- zur Ermittlung der Tragfähigkeit des Unterbaus und der ungebundenen Fundations- und Tragschichten
- zur Kontrolle der Verdichtung und der Gleichmässigkeit (Homogenität) der Verdichtung von Unterbau und ungebundenen Fundations- und Tragschichten im Oberbau
- zur Ermittlung von Verformungsmodulen bei der Setzungsberechnung von Fundationen und als Grundlage für die Berechnung der Steifeziffer oder der Bettungsziffer als Basis für die Anwendung des Bettungszifferverfahrens

Die Kurzbezeichnung des Verformungsmoduls wird in der Schweiz und in Belgien mit $M_E$, in Deutschland, Oesterreich und weiteren europäischen Ländern mit $E_V$ geschrieben.

Die Messausrüstung und die Messkonzepte wie sie in den verschiedenen europäischen Ländern in entsprechenden Normen beschrieben sind und gebraucht werden unterscheiden sich nicht wesentlich, wenn man von der Einwirkungszeit der Last bei jeder Belastungsstufe (Konsolidationszeit) und von der Grösse der Belastungsstufen absieht.

Lediglich bei der Auswertung des Verformungsmoduls gibt es Differenzen. In der Schweizerischen Norm wird das für die Auswertung relevante Spannungsintervall für $M_E$ zu 100 kN/m$^2$ festgelegt. Die Belastung der Versuchsplatte nach SN 670 317a ist für Tragschichten auf **350 kN/m$^2$** begrenzt, während die Ev Normen eine Belastung bis **500 kN/m$^2$** vorschreiben. Aufgrund dieser und weiterer Differenzen zwischen den Versuchsvorschriften kann es nicht verwundern, dass die $M_E$ und $E_V$ Werte für den gleichen Boden unterschiedliche Werte ergeben. Allerdings kann man damit noch nicht zweifelsfrei erklären, warum das Verhältnis $M_{E2}/M_{E1}$ so verschieden vom Verhältnis $E_{V2}/E_{V1}$ ist.

Mit dem Plattendruckversuch werden $M_{E1}$-, $E_{V1}$-Werte aus der Erstbelastung und $M_{E2}$-, $E_{V2}$-Werte aus der Zweitbelastung ermittelt. Das Verhältnis der Moduli der Zweit- zur Erstbelastung ($f_E = M_{E2}/M_{E1}$, $f_V = E_{V2}/E_{V1}$) ist ein aussagekräftiges Mass für die Beurteilung der Nachsetzungsempfindlichkeit oder der Nachverdichtbarkeit der geprüften Schicht. In Deutschland und in Oesterreich wird die Verdichtungskontrolle über dieses Verhältnis gemacht. Da die Tiefenwirkung der Versuchsplatte (D = 300 mm) praktisch ca. 400 - 500 mm beträgt, beschreibt dieses Verhältnis tatsächlich die meistens interessierenden Schichten des Strassenbaus. In den erwähnten Nachbarländern wird ein Verhältnis von max. $\mathbf{f_V \leq 2.5}$ für eine gut verdichtete Schicht gefordert. In der Schweiz wurde bis anhin auf eine solche Anforderung verzichtet.

## 2.2 Theoretische Grundlagen zur Auswertung des Plattendruckversuches

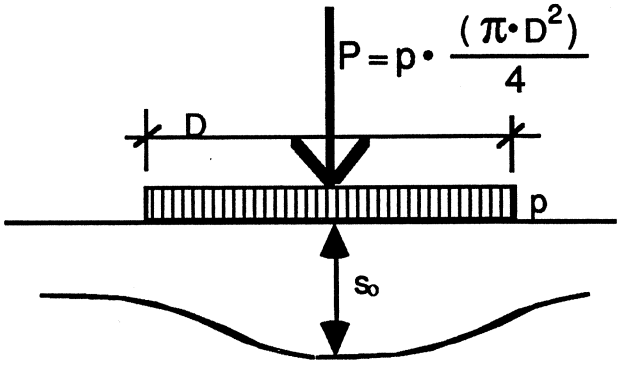
Die Theorie der Auswertung des Plattendruckversuches basiert ususgemäss auf der klassischen Elastizitätstheorie. Obwohl sich der Boden mit seiner Kornhaufenstruktur nur in einem sehr beschränkten Rahmen elastisch verhält, bietet die Modellierung als elastisches Kontinuum recht brauchbare Ergebnisse für den Plattendruckversuch, solange das Versuchsprozedere -Geometrie, Belstungsintervalle, Laststufen, Auswertealgorithmen- standardisiert angewandt werden.
Bei der Anwendung der Elastizitätstheorie für die Berechnung der Last-Setzungskurven von kreisrunden vertikal und zentrisch belasteten Platten auf dem elastischen isotropen Halbraum spielt die Steifigkeit der Belastungsplatte einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf das Resultat.

Für die praktische numerische Berechnung kann man mit einem der beiden Extreme (unendlich starre Platte oder schlaffe Flächenlast (Platte)) arbeiten. Beim Vergleich der Resultate von verschiedenen Versuchsvorschriften sind diese grundsätzlichen Annahmen neben den weiteren Randbedingungen zu berücksichtigen. (siehe 2.2.1 und 2.2.2).

Die aktuell gültige schweizerische Norm über Plattendruckversuche (SN 670'317a) setzt der Auswertetheorie die Setzungsberechnung der **schlaffen Platte** zugrunde. Im Gegensatz dazu wenden unsere europäischen Nachbarländer die Setzungstheorie der **unendlich starren Platte** an. Die Grundlagen der Theorie hat F.Schleicher in 'Zur Theorie des Baugrundes', Der Bauingenieur 1926 [20] dargelegt.

### 2.2.1 Setzung einer schlaffen, kreisförmigen Flächenlast p auf dem elastischen, isotropen Halbraum

Unter der Bezeichnung 'schlaffe Flächenlast' wird vorausgesetzt, dass p=const. ist. Die Setzung $s_0$ unter einer kreisförmigen, **schlaffen** Flächenlast p auf dem elastischen isotropen Halbraum beträgt:




Plattensteifigkeit = 0
schlaffe Platte

Setzung des Plattenmittelpunktes

$$s_o = \frac{1}{E} \cdot (1-\nu^2) \cdot p \cdot D \qquad (1)$$

$$\Delta s_o = \frac{1}{E} \cdot (1-\nu^2) \cdot \Delta p \cdot D \qquad (1a)$$

dabei bedeuten:
p: spezifische Flächenbelastung
$s_0$: Setzung der Versuchsplatte (in Plattenmitte)
D: Plattendurchmesser

**Bild 1** Skizze: Verformung-spezifische Belastung einer schlaffen Platte

Auf dieser Formel basiert in der Schweiz die Auswertung des Plattendruckversuches, wobei sich die Autoren der betreffenden Norm natürlich im klaren waren, dass die Versuchsplatte starr ist. Da das Spannungs-Setzungsdiagramm des Bodenmaterials nicht linear verläuft, wird der Verformungsmodul $M_E$ für eine Laststufe $\Delta p$ mit der entsprechenden Teilsetzung $\Delta s$ in der Schweizer Norm wie folgt definiert:

$$M_E = \frac{\Delta p}{\Delta s_0} \cdot D \qquad (2) \qquad \text{mit} \qquad \Delta p = \frac{4 \cdot \Delta P}{\pi \cdot D^2} \qquad (3)$$

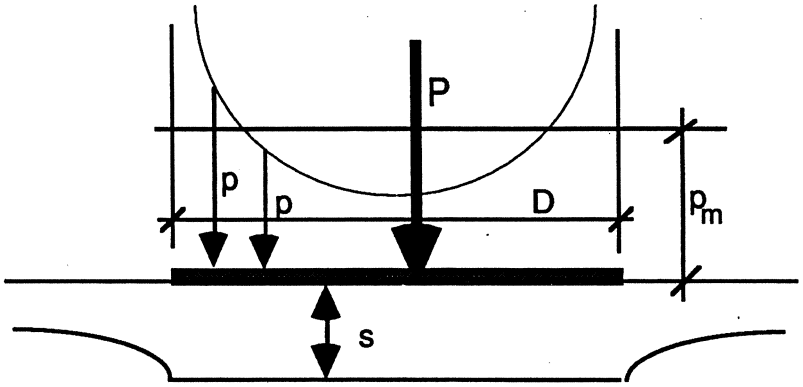
Das heisst, der $M_E$-Wert umfasst den Elastizitätsmodul E und die Poissonzahl $\nu$ formell in der nachstehenden Form:

aus (1a) und (2)

$$M_E = \frac{E}{1-\nu^2} \qquad (4)$$

### 2.2.2 Setzung einer starren, kreisförmigen Platte auf dem elastischen, isotropen Halbraum

Andere europäische Länder gehen bei der Auswertung des Plattendruckversuches von der Formel für die Setzung einer kreisförmigen, **starren** Platte infolge der zentrisch angreifenden Kraft P auf dem elastischen, isotropen Halbraum aus; nämlich:




starre Platte

$$s = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{E} \cdot (1 - \nu^2) \cdot p_m \cdot D \quad \text{worin} \quad p_m = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot D^2} \quad \text{ist} \qquad (5)$$

$$\Delta s = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{E} \cdot (1 - \nu^2) \cdot \Delta p_m \cdot D \qquad (5a)$$

**Bild 2** Skizze: Verformung-spezifische Belastung einer starren Platte

In Deutschland wird der Verformungsmodul $E_V$ dementsprechend für eine Laststufe $\Delta p_m$ und der dazugehörigen Teilsetzung $\Delta s$ wie folgt definiert:

$$E_v = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\Delta p_m}{\Delta s} \cdot D \qquad (6)$$

mit

$$\Delta p_m = \frac{4 \cdot \Delta P}{\pi \cdot D^2} \qquad (7)$$

Die Versuchsauswertungen basieren sowohl bei den $M_E$- als auch bei den $E_V$-Vorschriften auf den entsprechend standardisierten Sekantenmodulen.

$$\frac{\Delta p}{\Delta s_0} = \frac{\Delta p_m}{\Delta s} \qquad (8)$$

Obwohl in der Setzungsgleichung für den $M_E$ - Wert (1) gleich wie in der Setzungsgleichung für den $E_V$ - Wert (5) der elastische Kennwert $(1-\nu^2)/E$ jeweils durch die entsprechenden Verformungsmodule $1/M_E$ bzw. $1/E_V$ ersetzt wird, können $E_V$ und $M_E$ nicht gleichgesetzt werden, weil die entsprechenden Setzungsgleichungen nicht dieselben sind.

Aus den Formeln (1) mit $(1-\nu^2)/E=1/M_E$ und (5) mit $(1-\nu^2)/E=1/E_V$ ergibt sich die theoretische Beziehung zwischen dem $M_E$ - und dem $E_V$ - Wert:

$$\frac{E_V}{M_E} = \frac{\pi}{4} \approx 0.75 \qquad (9)$$

Diese Verhältniszahl ist beim Vergleich von Versuchsergebnissen in der Schweiz einerseits und in Deutschland und Oesterreich usw. andererseits neben weiteren Unterschieden bei der Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung zu beachten.

Dabei stellt sich die Frage, welche Versuchs- und Auswertungsmethode "genauer" sei, nicht. Wohl entspricht die Annahme einer starren Versuchsplatte der tatsächlichen Versuchsanordnung eher als die Annahme einer schlaffen Platte. Sie spielt aber insofern keine Rollte, als die Normen in beiden Fällen die **Versuchsanordnung**, die **Versuchsdurchführung** und die **Versuchsauswertung** vorschreiben und schlussendlich angeben, wie die Kennwerte ($M_E$ - oder $E_V$ -Werte) für die Praxis zu bewerten sind ("zulässige" oder "unzulässige" Werte). Jedes Versuchs- und Auswerte - System ist derart in sich geschlossen.

Anstatt den Umweg über die "Berechnung eines Moduls" zu machen, könnte man sich auch vorstellen, dass die Normen, bei vorgeschriebener Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung, für eine bestimmte Laststufe ein "zulässiges Setzungsmass" festlegen.

Allerdings dürfen die klassischen bodenmechanischen Gesetzmässigkeiten nicht ausser acht gelassen werden. Wir denken dabei an die Konsolidationszeit bis zum Eintreten der Endsetzung (primäre Konsolidation) unter jeder Laststufe und an das korrekte, vollflächige Aufliegen der Platte auf dem zu prüfenden Boden ohne störende Zwischenschicht aus Sand oder ähnlichem.

## 2.3 Europäische Normen für Plattendruckversuche (Ueberblick)

In den meisten europäischen Ländern wird der Verformungsmodul einer Bodenschicht mit der Bezeichnung $E_V$-Wert beschrieben. Der Verformungsmodul des Erstbelastungsastes wird mit dem Index 1 ($E_{V1}$), der des Zweitbelastungsastes mit einem Index 2 ($E_{V2}$) versehen. In der Schweiz bezeichnen wir die entsprechenden - bzw. nicht ganz entsprechenden - Werte mit $M_{E1}$ und $M_{E2}$. Da die meisten euro-

päischen Plattendruckversuch-Vorschriften gleich wie die deutsche DIN 18 134 aufgebaut sind, vergleichen wir im folgenden die Schweizerische $M_E$-Norm SN 670 317a mit DIN 18 134. Man kann dabei unter anderem die folgenden grundsätzlichen Unterschiede hinsichtlich der Auswerteformel, der Belastungsstufen und der Belastungsintervalle bzw. Konsolidationszeiten feststellen (siehe auch Kapitel 2.4).

## 1. Auswerteformel

Die Schweizerische Norm geht von einer Belastung des Bodens mit einer **schlaffen Versuchs-Platte** aus. Im Gegensatz dazu legt die DIN 18 134 dem Versuch eine **starre Platte** zugrunde. Dies hat unserer Meinung keinen allzu grossen Einfluss auf einen Vergleich der Versuchsresultate (man kann diese mit dem Proportionalitätsfaktor 0.75 miteinander vergleichen). Aufgrund der verschiedenen Belastungsannahmen lautet die deutsche Auswerteformel für den Ev-Wert:

$$E_v = 0.75 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot D \qquad (10)$$

siehe Gl. (6) und (9)

(Der Faktor, als 0.75 angenommen, lässt sich theoretisch aus dem Wert $\pi/4$ ableiten, wie unter 2.2 gezeigt).

Dabei ist zu erwähnen, dass das Spannungsintervall $\Delta p$, bei welchem der Ev - Wert gemäss DIN 18 134 ausgewertet wird, zwischen 30% und 70% (in der Regel $\Delta p$ = 200 kN/m2) der maximalen aufgebrachten Spannung während des Versuches beträgt.

Die Formel gemäss schweizerischer Norm SN 670 317a lautet:

$$M_E = 1 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot D \qquad (11)$$

Das Spannungsintervall für die Auswertung des $M_E$ - Wertes gemäss SN 670 317a beträgt immer 100 kN/m$^2$. und zwar bei:

- Untergrund und Unterbau zwischen 50 und 150 kN/m$^2$
- Fundationsschicht zwischen 150 und 250 kN/m$^2$
- Tragschicht zwischen 250 und 350 kN/m$^2$

## 2. Belastungsstufen

Die Schweizerische Norm schreibt für die drei Schichten, Unterbau- Fundations- und Tragschicht, starre Belastungsintervalle vor. Die deutsche Norm schreibt unabhängig von der geprüften Schicht etwa sechs gleich grosse Belastungsintervalle vor bis entweder eine Setzung von etwa 5 mm oder eine Normalspannung von etwa 500 kN/m$^2$ erreicht sind. Die Auswertung gemäss

schweizerischer Norm geschieht je nach geprüfter Schicht bei vorgeschriebenen Belastungsintervallen. Für die Auswertung des Verformungsmoduls gemäss deutscher Norm wird die Lastsetzungskurve aus der Neigung der Sekante zwischen den Punkten 0.3 und 0.7 mal der grössten Belastung berechnet.

## 3. Konsolidationszeiten bzw. Belastungsintervalle

Die übrigen europäischen Normen schreiben vor, dass nach jeder Erhöhung der Laststufe abgewartet werden muss, bis die Setzungen abgeklungen sind. Als Kriterium dafür wird angenommen, dass die Einsenkung der Platte vor jedem Erhöhen der Laststufe kleiner als 0.02 mm/min sein muss. Diese Anforderung an die Konsolidationszeit vor dem Aufbringen der nächsten Belastungsstufe ist in der österreichischen und in der deutschen Norm [6] und [8] enthalten. Die Schweizer Norm wurde anlässlich der letzten Revision (1981) insofern geändert, als die stufenweise Erhöhung der Belastung unabhängig von der Bodenart bereits nach 120 Sekunden vorgeschrieben wird. Die selbe Vorschrift ist nun auch entgegen den in dieser Studie dargelegten Resultate in der revidierten deutschen Norm [7] enthalten.

## 4. Berechnung des Verformungsmoduls $E_V$ aus den Messergebnissen

Für die Auswertung des Plattendruckversuches nach der revidierten DIN-Norm [7] werden zur Ermittlung der Verformungsmoduli sowie des Quotienten aus dem Verformungsmodul der Zweit- und der Erstbelastung ausgeglichene Drucksetzungslinien der Belastungsäste zugrundegelegt. Die ausgeglichenen Drucksetzungslinien werden durch ein Polynom zweiten Grades gemäss Formel (12) beschrieben. Die Konstanten dieses Polynoms werden durch Anpassung an die Versuchsergebnisse nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate gewonnen.

$$s = a_0 + a_1 \bullet \sigma_0 + a_2 \bullet \sigma_0^2 \qquad (12)$$

Darin bedeuten:

| | |
|---|---|
| $\sigma_0$ | mittlere Normalspannung unter der Platte in $MN/m^2$ |
| s | Setzung im Plattenzentrum in mm |
| $a_{0,1,2}$ | Konstanten des Polynoms 2. Grades. |

Für die Ermittlung der Konstanten des Erstbelastungsastes wird der Punkt s = 0 nicht berücksichtigt.

**Anmerkung 1:** Die Ausgleichung der Versuchsergebnisse durch das Polynom 2. Grades schliesst subjektive Einflüsse bei der Auswertung aus.

**Anmerkung 2:** Zur Berechnung der Konstanten des Polynoms aus den Versuchsergebnissen eines Belastungsastes sind die aufgeführten Normalgleichungen (13), (14), (15) auszuwerten. Als Rechenhilfe wird ein Taschenrechner empfohlen, der auf die Bildung und Auflösung dieser Gleichungen programmiert ist.

Die Normalgleichungen zur Berechnung der Konstanten für die Gleichung:

$$s = a_0 + a_1 \bullet \sigma_0 + a_2 \bullet \sigma_0^2 \qquad (12)$$

aus den Versuchsergebnissen $s_1$, $\sigma_{o1}$, $s_2$, $\sigma_{o2}$, ....$s_n$, $\sigma_{on}$ lauten:

$$a_0 \bullet n + a_1 \bullet \sum_{i=1}^{n} \sigma_{0i} + a_2 \bullet \sum_{i=1}^{n} \sigma_{0i}^2 = \sum_{i=1}^{n} s_i \qquad (13)$$

$$a_0 \bullet \sum_{i=1}^{n} \sigma_{0i} + a_1 \bullet \sum_{i=1}^{n} \sigma_{0i}^2 + a_2 \bullet \sum_{i=1}^{n} \sigma_{0i}^3 = \sum_{i=1}^{n} s_i \bullet \sigma_i \qquad (14)$$

$$a_0 \bullet \sum_{i=1}^{n} \sigma_{0i}^2 + a_1 \bullet \sum_{i=1}^{n} \sigma_{0i}^3 + a_2 \bullet \sum_{i=1}^{n} \sigma_{0i}^4 = \sum_{i=1}^{n} s_i \bullet \sigma_i^2 \qquad (15)$$

Der Verformungsmodul errechnet sich für die Drucksetzungslinie aus der Neigung der Sekante zwischen den Punkten 0.3 • $\sigma_{1max}$ und 0.7 • $\sigma_{1max}$ nach der Beziehung (16):

$$E_v = 1.5 \bullet r \bullet \frac{1}{a_1 + a_2 \bullet \sigma_{1max}} \qquad (16)$$

mit

| | |
|---|---|
| r | Radius der Lastplatte in mm |
| $\sigma_{1max}$ | maximale mittlere Normalspannung der Erstbelastung in MN/m2 |

Der Verformungsmodul des Erstbelastungsastes wird mit einem Index 1, der des Zweitbelastungsastes mit einem Index 2 versehen.

Die zwei unter Punkt 2 (Belastungsstufen) und 3 (Konsolidationszeiten) aufgeführten Unterschiede zwischen der schweizerischen und den übrigen europäischen Normen scheinen uns massgebend zu sein, um die unterschiedliche Aussagekraft der Verformungsmoduli zu erklären. Insbesondere widerspricht es der bodenmechanischen Betrachtung der effektiven Spannungen, eine weitere Belastungsstufe aufzubringen bevor sichergestellt ist, dass die Setzungen unter der bestehenden Belastungsstufe abgeklungen (konsolidiert) sind. Eine Weiterbelastung der nicht genügend konsolidierten Schicht hat zur Folge, dass die gemessenen Grössen von Spannung und Setzung sich nicht ausschliesslich auf das Tragfähigkeitsverhalten des Korngerüstes beziehen, sondern vermischt werden mit dem mechanischen Verhalten der Porenphase (Wasser und Luft). Damit können Zufallsresultate nicht ausgeschlossen werden.

(Bemerkung der Verfasser: Man misst nicht, um Zeit zu sparen sondern, um richtige und zuverlässige Resultate zu erhalten)

## 2.4 Vergleich $M_E$-Versuch und $E_V$-Versuch

### 2.4.1 Tabellarische Aufzählung der Unterschiede

*Tabelle 1 Unterschiede zwischen $M_E$- und $E_V$-Versuchsvorschriften*

| | $M_E$ gemäss SN 670 317a | $E_V$ gemäss DIN 18 134 |
|---|---|---|
| Berechnungsformel | $M_E = 1 \cdot D \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta s}$ | $E_v = 0.75 \cdot D \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta s}$ |
| Plattendurchmesser | D = 300 mm | D = 300 mm |
| Anzahl Messuhren | 1 | 1 |
| Position der Messuhren | zentrisch | zentrisch |
| Laststufen in kN/m² | | alle Schichten gleich |
| Unterbau Belastung | 50 - 100 - 150 - 200 | 80-160-240-320-400-450-500 |
| Unterbau Entlastung | 200 - 150 - 100 - 50 | 500 - 250 - 120 - 0 |
| Unterbau Zweitbelastung | 50 - 100 - 150 | 80-160-240-320-400-450 |
| Fundationsschicht Belastung | 50 - 150 - 250 - 350 | 80-160-240-320-400-450-500 |
| Fundationsschicht Entlastung | 350 - 250 - 150 - 50 | 500 - 250 - 120 - 0 |
| Fundationssch. Zweitbelastung | 50 - 150 - 250 | 80-160-240-320-400-450 |
| Tragschicht Belastung | 50 - 150 - 250 - 350 - 450 | 80-160-240-320-400-450-500 |
| Tragschicht Entlastung | 450 - 350 - 250 - 150 - 50 | 500 - 250 - 120 - 0 |
| Tragschicht Zweitbelastung | 50 - 150 - 250 - 350 | 80-160-240-320-400-450 |
| Wartezeit zwischen zwei Belastungsstufen | 120 Sekunden | 120 Sekunden |
| Maximale Plattendruck-spannung in kN/m² | | alle Schichten gleich |
| Unterbau: | | |
| Erstbelastung | 200 | 500 oder 5 mm Setzung |
| Zweitbelastung | 150 | 450 |
| Fundationsschicht: | | |
| Erstbelastung | 350 | 500 oder 5 mm Setzung |
| Zweitbelastung | 250 | 450 |
| Tragschicht: | | |
| Erstbelastung | 450 | 500 oder 5 mm Setzung |
| Zweitbelastung | 350 | 450 |
| Spannungsintervall für die Auswertung in kN/m² | | alle Schichten gleich |
| | von bis $\Delta\sigma$ | von bis $\Delta\sigma$<br>$0.3\sigma_{max}$ $0.7\sigma_{max}$ $0.4\sigma_{max}$ |
| Unterbau: | | |
| Erstbelastung | 50 150 100 | 150 350 200 |
| Zweitbelastung | 50 150 100 | 135 315 180 |
| Fundationsschicht: | | |
| Erstbelastung | 150 250 100 | 150 350 200 |
| Zweitbelastung | 150 250 100 | 135 315 180 |
| Tragschicht: | | |
| Ertbelastung | 250 350 100 | 150 350 200 |
| Zweitbelastung | 250 350 100 | 135 315 180 |

### 2.4.2 Vergleich einer $M_E$- und $E_V$- Auswertung mit theoretisch konstruierten Messwerten

Um den Vergleich einer Auswertung aus theoretischer Sicht in einem Beispiel aufzuzeigen, wird die in Bild 3 willkürlich konstruierte Lastsetzungskurve nach den beiden Verfahren SN 670 317a und DIN 18 134 ausgewertet. Die beiden Belastungskurven sind so angenommen worden, dass sie einen konvexen Verlauf ergeben.

*Tabelle 2 Zusammenstellung der Resultate*

| Auswerteverfahren | gemäss SN 670 317a für Fundationsschicht | DIN 18 134 |
|---|---|---|
| Erstbelastungsast | $M_{E1}$ = 214'300 kN/m2 | $E_{V1}$ = 125'000 kN/m2 |
| Zweitbelastungsast | $M_{E2}$ = 428'600 kN/m2 | $E_{V2}$ = 300'000 kN/m2 |
| Verhältnis Zweit-/Erstbelastung | $f_E = M_{E2}/M_{E1} = 2.0$ | $f_V = E_{V2}/E_{V1} = 2.4$ |

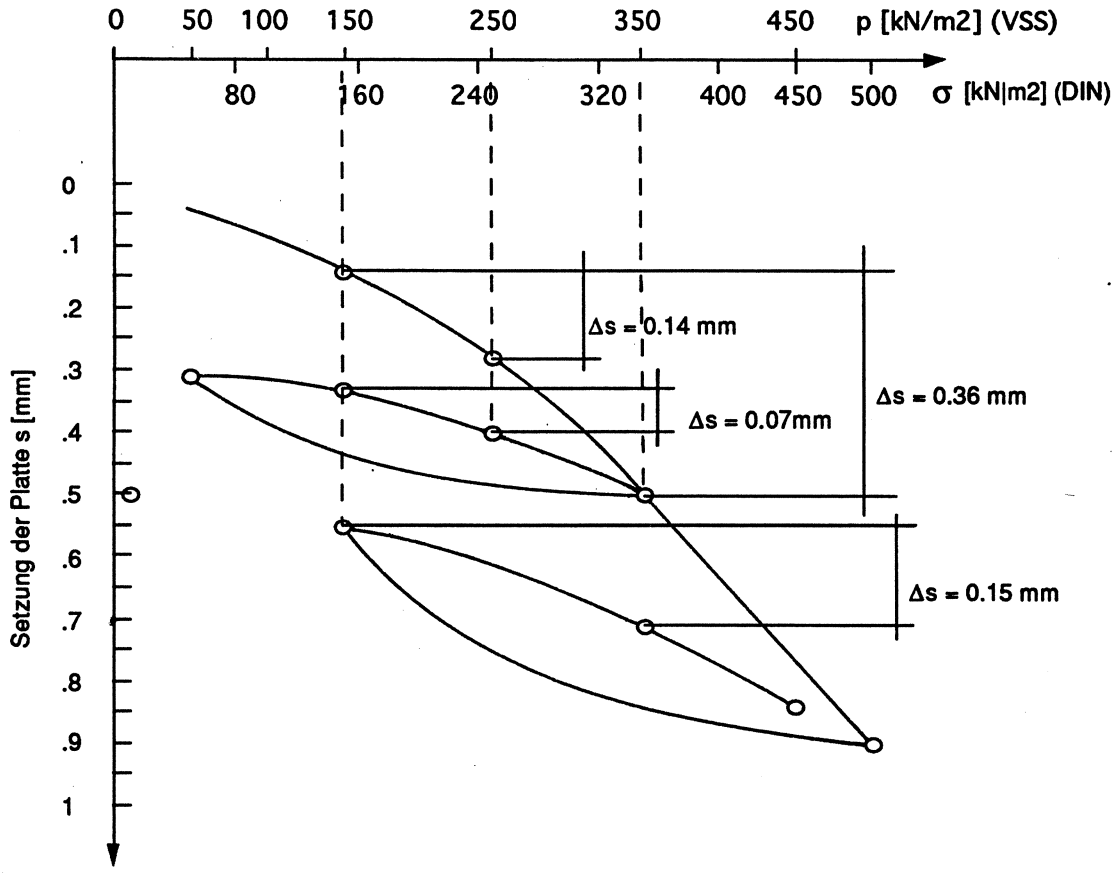



**Bild 3** Lastsetzungskurve eines theoretisch konstruierten Beispieles für den Vergleich der verschiedenen Auswertemethoden

Auswertung des Beispiels aus Bild 3 gemäss DIN 18 134

$$E_{v1} = 0.75 \bullet D \bullet \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} = \frac{0.75 \bullet 300 \bullet 200}{0.36} = 125'000 \, kN/m^2 \tag{17}$$

$$E_{v2} = 0.75 \bullet D \bullet \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} = \frac{0.75 \bullet 300 \bullet 200}{0.15} = 300'000 \, kN/m^2 \tag{18}$$

$$\frac{E_{V2}}{E_{V1}} = 2.4 \tag{19}$$

Auswertung des Beispiels aus Bild 3 gemäss SN 670 317a

$$M_{E1} = 1.0 \bullet D \bullet \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} = \frac{1.0 \bullet 300 \bullet 100}{0.14} = 214'300 \, kN/m^2 \tag{20}$$

$$M_{E2} = 1.0 \bullet D \bullet \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} = \frac{1.0 \bullet 300 \bullet 100}{0.07} = 428'600 \, kN/m^2 \tag{21}$$

$$\frac{M_{E2}}{M_{E1}} = 2.0 \tag{22}$$

### 2.4.3 Vergleich einer $M_E$- und $E_V$- Auswertung mit Messwerten eines ausgewählten Versuches

In Bild 4 sind die gemessenen Werte aus einem $M_E$-Feldversuch gemäss SNV 670 317a dargestellt (ausgezogene Kurven, Messwerte mit o markiert). Die Kurve der Erstbelastung verläuft konkav, was in der Praxis bei unseren Böden und gemäss unserer Versuchsvorschrift (SN 670 317a) gemessen nicht untypisch ist. Um mit diesen Messwerten eine Auswertung für $E_V$-Werte nach DIN 18 134 zu ermöglichen, wurden die Kurven extrapoliert (verlängert, gestrichelte Linien). Dabei wird angenommen, dass die Kurve der Zweitbelastung für $E_{V2}$ parallel zu derjenigen für $M_{E2}$ verlaufe.

Die sich daraus ergebenden $M_E$- und $E_V$-Werte sind in der nachstehenden Tabelle 3 zusammengestellt:

*Tabelle 3 Zusammenstellung der Resultate*

| Auswerteverfahren | gemäss SN 670 317a für Fundationsschicht | DIN 18 134 |
|---|---|---|
| Erstbelastungsast | $M_{E1}$ = 85'700 kN/m2 | $E_{V1}$ = 75'000 kN/m2 |
| Zweitbelastungsast | $M_{E2}$ = 272'700 kN/m2 | $E_{V2}$ = 187'500 kN/m2 |
| Verhältnis Zweit-/Erstbelastung | $f_E = M_{E2}/M_{E1} = 3.2$ | $f_V = E_{V2}/E_{V1} = 2.5$ |

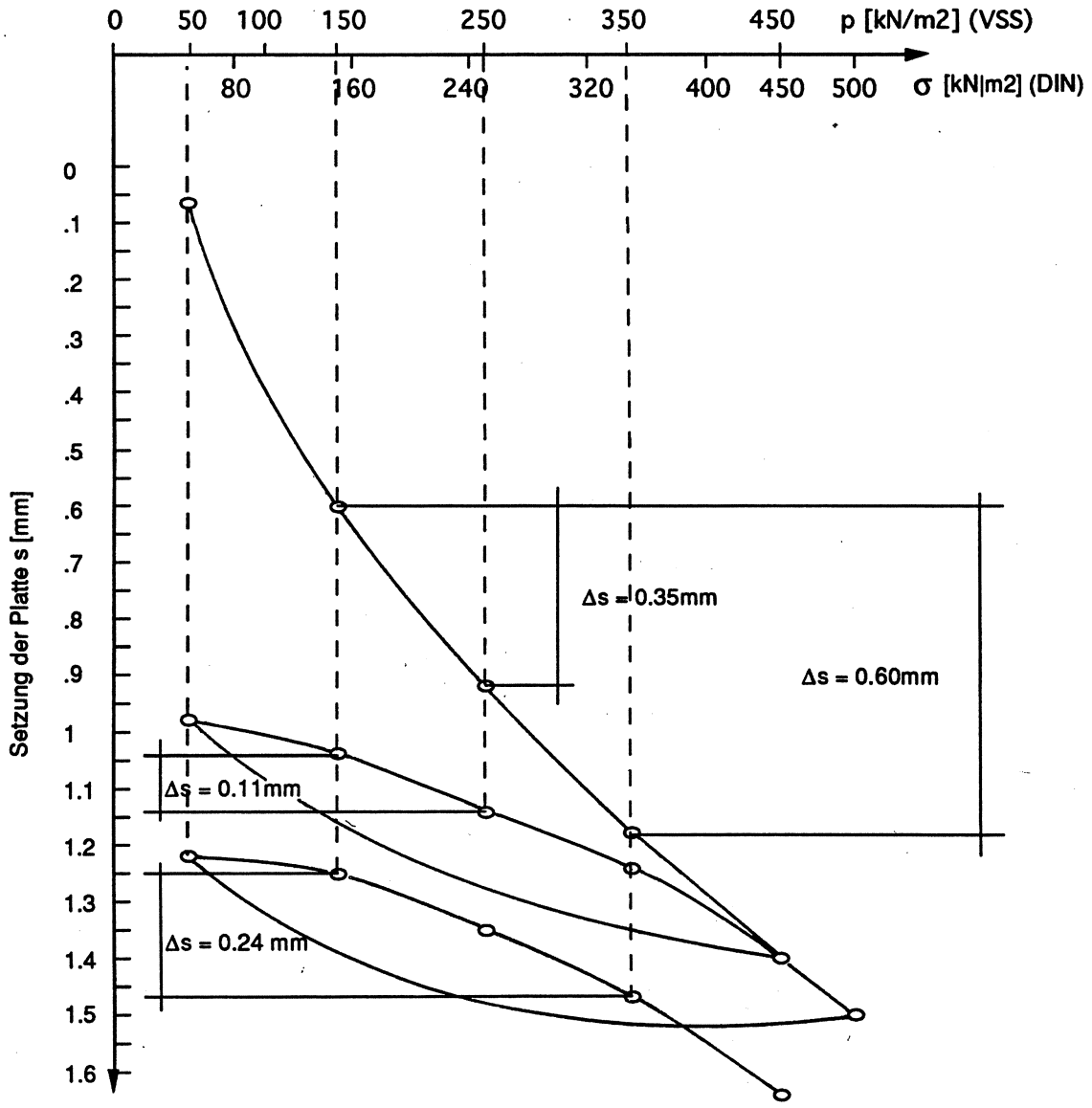



**Bild 4** Lastsetzungskurve einer ausgewählten Messung für den Vergleich der verschiedenen Auswertemethoden

Die beiden Verhältniszahlen $f_V$ und $f_E$ sind recht unterschiedlich, obwohl sie aus den gleichen Messwerten ermittelt wurden. Im ersten Fall $f_E$=2.0 zu $f_V$=2.4 (Unterschied plus 20%), im zweiten Fall $f_E$=3.2 zu $f_V$=2.5 (Unterschied minus 22%). Dies ist leicht verständlich aus der Tatsache, dass die für die Auswertung massgebenden Spannungsbereiche und die maximalen Belastungen der beiden Messungen nicht gleich sind. Die obigen zwei Zahlenbeispiele wurden später noch erweitert, indem 12 konstruierte und 13 effektiv gemessene Messkurven ausgewertet wurden. Die sich daraus ergebenden Wertepaare der Verhältniszahlen $f_E$ - $f_V$ sind in Bild 5 dargestellt.

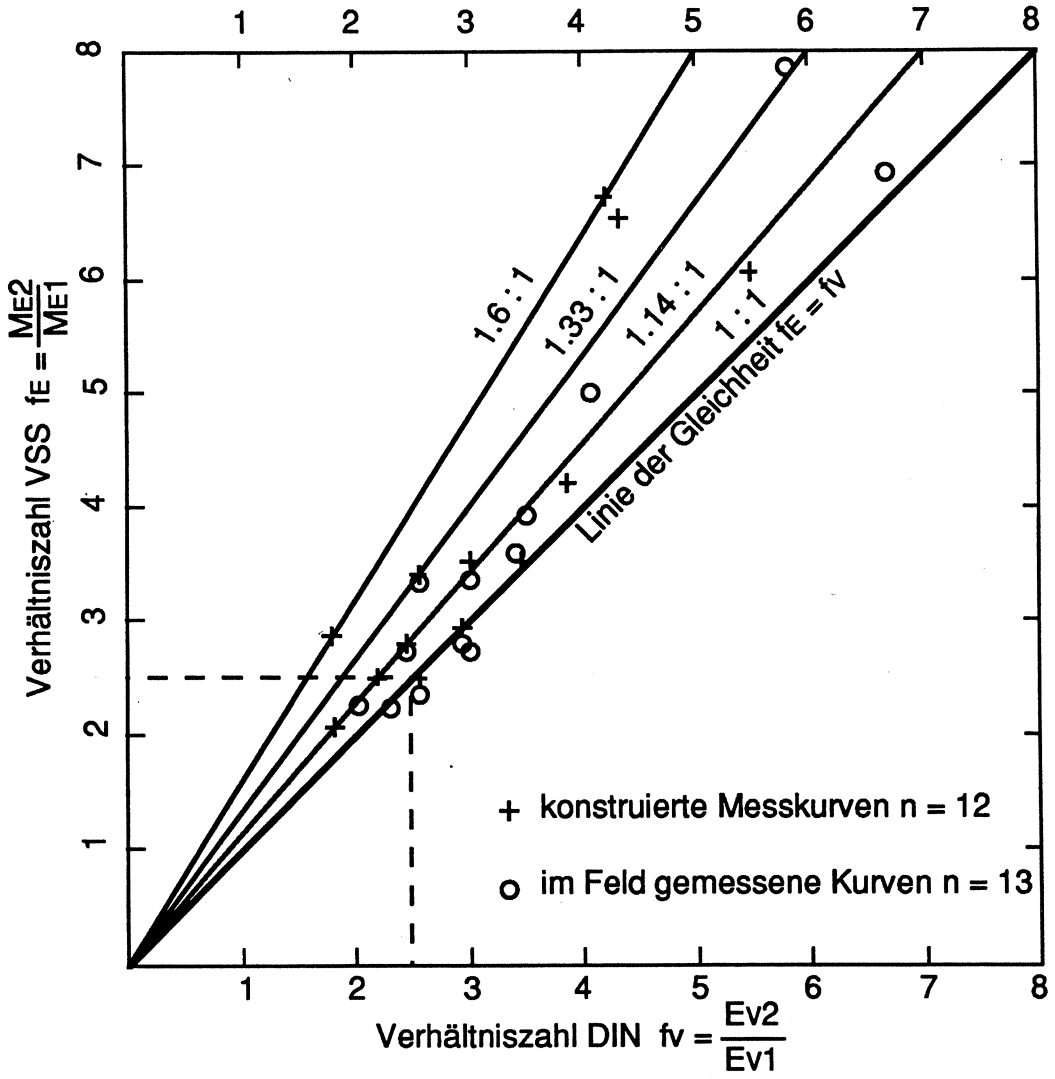



**Bild 5** Gegenüberstellung der Verhältniszahlen $f_E$ und $f_V$ für identische Messwerte aus Versuchen

# 3. Vorgehen und Ergebnis

## 3.1 Beschaffung und statistische Auswertung vorhandener Daten von $M_{E1}$ und $M_{E2}$-Versuchen in der Schweiz

Um die Situation der Praxis der $M_E$-Messungen in der Schweiz näher zu untersuchen, wurden die von einigen Gemeinden und Kantonen gemessenen $M_{E1}$- und $M_{E2}$-Werte gesammelt.

Aus den gesammelten $M_{E1}$- und $M_{E2}$-Werten (Anzahl 2 x 10'337 Versuchswerte) wurden 10'337 Verhältniszahlen $f_E = M_{E2}/M_{E1}$ gebildet, welche einerseits nach der Tragfähigkeitsklasse des Bodens von S1 bis S4 getrennt und andererseits gemeinsam statistisch ausgewertet wurden. Alle in die statistische Betrachtung miteinbezogenen Daten wurden mit der Versuchstechnik gemäss SNV 670'317a erhoben. ($M_E$-Plattenversuch und Durchführung)

Die Quellen des Datenkollektives (Gemeinden und Kantone), die Anzahl der $M_E$-Messwerte und die entsprechende Numerierung der Beilagen sind in Tabelle 4, und das Ergebnis der statistischen Auswertung der Verhältniszahlen $f_E = M_{E2}/M_{E1}$ ist in Tabelle 5 zusammengestellt.

*Tabelle 4* *Quellen (Gemeinden und Kantone), Anzahl der $M_E$-Messwerte und Numerierung der entsprechenden Beilagen*

| ***Quelle*** | ***Anzahl der Messwerte*** | ***Beilage-Nr.*** |
|---|---|---|
| Stadt Zürich | 2 x 3391 | 1 |
| Kanton Bern | 2 x 108 | 2 |
| Kanton Graubünden | 2 x112 | 3 |
| Kanton Jura | 2 x 110 | 4 |
| Betonstrassen AG, Wildegg | 2 x4290 | 5 |
| Kanton Aargau | 2 x 902 | 6 |
| Kanton Zürich | 2 x253 | 7 |
| Kanton Zürich, Unterbau | 2 x 26 | 8 |
| Kanton Zürich, Tragschicht | 2 x 6 | 9 |
| Kanton Genf, Kiessand | 2 x 707 | 10 |
| Kanton Genf, Moräne | 2 x 139 | 11 |
| Kanton Genf, natürliches Terrain | 2 x 293 | 12 |
| Alle | 2 x 10337 | 13 |

*Tabelle 5* *Zusammenfassung der Ergebnisse der statistischen Auswertung Verhältniszahl $f_E = M_{E2}/M_{E1}$ in der Schweiz*
*mit n = Anzahl Messwerte*
*x = Mittelwert von $f_E = M_{E2}/M_{E1}$*

| Tragfähigkeits-Klasse des Bodens -> | | S1 6000 < $M_{E1}$ < 15000 | | S2 15000 < $M_{E1}$ < 30000 | | S3 30000 < $M_{E1}$ < 60000 | | S4 60000< $M_{E1}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | n | x | n | x | n | x | n | x |
| 1 | Stadt Zürich | 9 | 15.44 | 80 | 7.48 | 840 | 5.68 | 2462 | 2.38 |
| 2 | Kanton Bern | 9 | 2.14 | 14 | 1.85 | 11 | 2.78 | 74 | 2.62 |
| 3 | Kanton Graubünden | 0 | - | 0 | - | 13 | 4.41 | 99 | 3.26 |
| 4 | Kanton Jura | 3 | 3.12 | 9 | 3.17 | 30 | 4.03 | 68 | 3.36 |
| 5 | Beton-strassen AG | 49 | 5.23 | 196 | 4.16 | 923 | 3.58 | 3122 | 2.63 |
| 6 | Kanton Aargau | 19 | 5.41 | 66 | 4.81 | 228 | 3.65 | 589 | 2.67 |
| 7 | Kanton Zürich | 21 | 7.77 | 23 | 9.40 | 44 | 6.08 | 165 | 4.32 |
| 8 | Kanton Zürich Unterbau | 3 | 4.96 | 5 | 4.32 | 11 | 7.26 | 7 | 6.33 |
| 9 | KantonZürich Tragschicht | 0 | - | 0 | - | 1 | 3.44 | 5 | 3.49 |
| 10 | Kanton Genf Kiessand | 6 | 6.10 | 15 | 4.48 | 80 | 3.80 | 606 | 2.97 |
| 11 | Kanton Genf Moräne | 18 | 9.55 | 16 | 8.71 | 48 | 7.06 | 57 | 4.22 |
| 12 | Kanton Genf natur. Terrain | 22 | 8.81 | 66 | 6.72 | 96 | 6.61 | 109 | 6.25 |
| 13 | Alle Messun-gen gesamt | 159 | 6.96 | 490 | 5.46 | 2325 | 4.62 | 7363 | 3.21 |

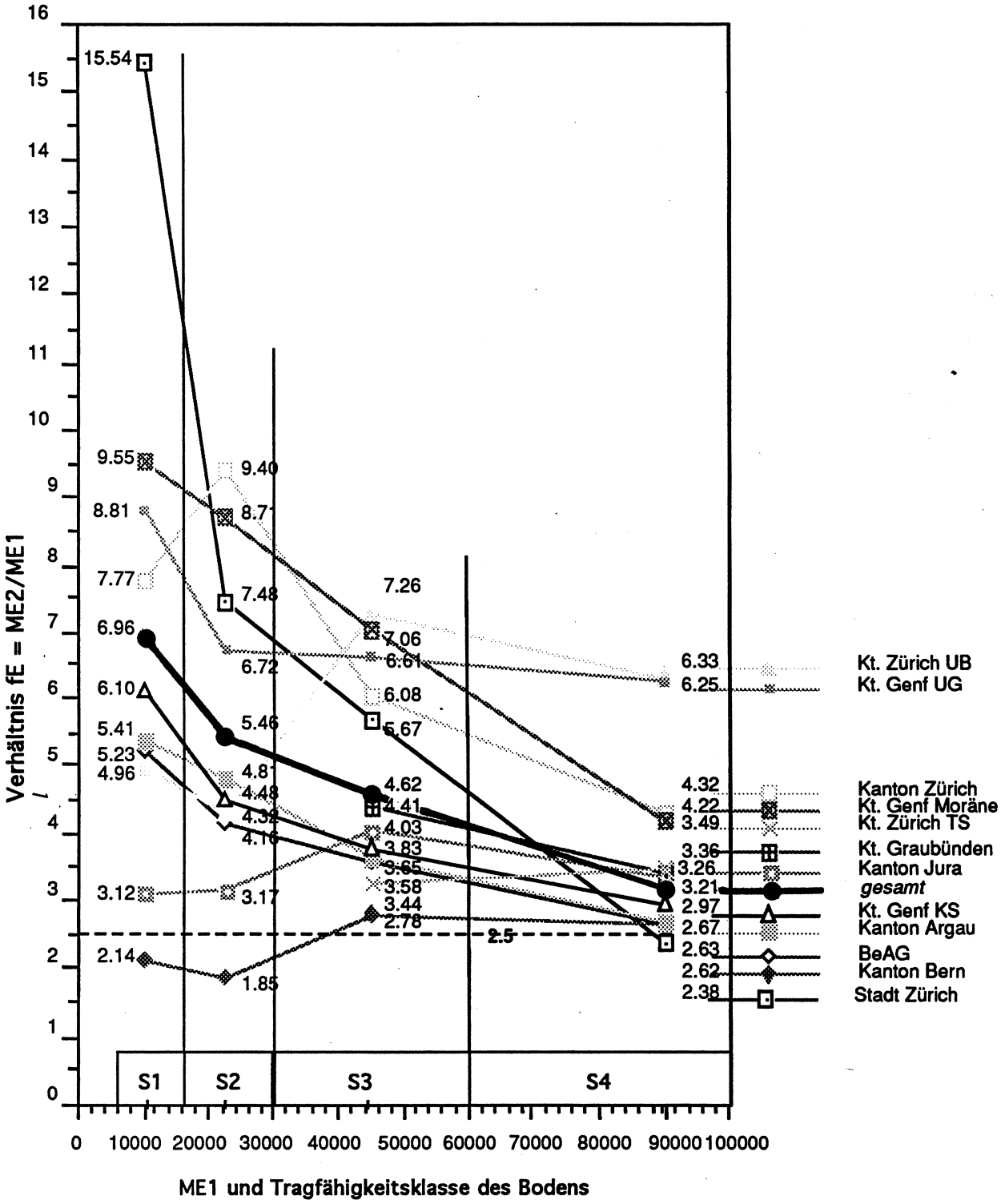



**Bild 6** Graphische Darstellung der Verhältniszahlen $f_E$ in Abhängigkeit der Tragfähigkeit $M_{E1}$ bzw. der Tragfähigkeitsklassen Si gemäss SN aus statistischer Auswertung des Datenkollektives

**Beurteilung und Kommentar zu Tabelle 5 und Bild 6**

1. Aus den Quellen mit einer statistisch ausreichenden Anzahl Messwerte - es sind dies:

   1. Stadt Zürich,
   5. Betonstrassen AG
   6. Kanton Aargau
   7. Kanton Zürich und
   10. bis 12. Kanton Genf

   ist eindeutig eine Abnahme der Verhältniszahlen $f_E$ mit steigender Tragfähigkeitsklasse S festzustellen (siehe Bild 6). Dies gilt folgerichtig ebenfalls für den Fall 13 "Alle". Somit ist die obige Aussage statistisch gesichert. Der Sachverhalt ist leicht zu erklären: Je tragfähiger der Boden ist, desto besser lässt sich der Boden verdichten bzw. wurde er schon verdichtet; somit wird die Verhältniszahl $M_{E2}$ zu $M_{E1}$ kleiner (rein theoretisch asymptotisch gegen 1.0).

   Diese Feststellung lässt den Schluss zu, dass das Verhältnis $f_E$ grundsätzlich als Kriterium zur Beschreibung und Kontrolle der Verdichtung gebraucht werden kann.

   Gesamtschweizerisch ergibt sich folgendes Bild, wenn man als Klassierungskriterium die Tragfähigkeitsklassen S1-S4 gemäss SN Dimensionierung Unterbau nimmt:

| ***Tragfähigkeitsklasse*** | | ***S1*** | ***S2*** | ***S3*** | ***S4*** |
|---|---|---|---|---|---|
| Bandbreite von $f_E$ | max. | 9.5 | 8.7 | 7.0 | 4.2 |
| | min. | 5.2 | 4.1 | 3.5 | 2.6 |

2. Mit Ausnahme der Resultate aus dem Kanton Bern (2) sind alle $f_E$-Werte grösser als 2.5. Mit anderen Worten: Die bisher erfolgte Verdichtung in der Schweiz genügt dem deutschen und österreichischen und weiteren europäischen Kriterium ($f_E \leq 2.5$) nicht.

3. Die Messwerte des Kantons Bern schneiden am besten ab. Die $f_E$-Werte bleiben unabhängig von der Tragfähigkeitsklasse des Bodens und liegen sehr nahe bei 2.5. Dies lässt zwei Schlüsse zu:
   Die Messungen im Kanton Bern wurden korrekt durchgeführt und die uns abgelieferten Werte sind zutreffend oder aber es wurden uns möglicherweise nur ausgewählte "gute" Messwerte (2 x 108 Werte) zur Verfügung gestellt.

4. Die Verhältniszahlen aus den Messwerten des Kantons Jura weisen wie diejenige des Kantons Bern bodentragfähigkeits-unabhängigen Charakter auf, liegen aber über 2.5.

5. **Vorläufige Folgerung:**
   Aufgrund der untersuchten aus der Schweiz stammenden $M_E$-Daten - es sind 2 x 10'337 an der Zahl - kann festgestellt werden, dass die Verhältniszahlen $f_E$, mit Ausnahme diejenigen des Kantons Bern, über 2.5 liegen und somit dem "europäischen" Kriterium an die Verdichtungsanforderung für Schichten

im Strassenbau nicht genügen. Daraus können folgende drei verschiedenen Szenarien abgeleitet werden:

**A** Die vorhandene Verdichtung an den gemessenen Stellen in der Schweiz ist gut gewesen, nur die Versuchsdurchführung mittels $M_E$-Druckplattenversuch (Auflagerung, Wartezeit usw.) war nicht richtig oder zumindest sehr verschieden gegenüber ausländischen Vorgehensweisen: Daher resultierten zu grosse $f_E$ -Werte.

**B** Die Messvorschrift bzw. die Versuchsvorschrift wie sie in der Schweizer Norm SN 670'317a beschrieben wird, enthält Unzulänglichkeiten welche zu unrichtigen Resultaten führen. Die Messmethode ist nicht repräsentativ.

**C** Der erfolgte Messvorgang war korrekt, aber die Verdichtung war überall ungenügend. Daher ergab es zu grosse $f_E$ -Werte.

## 3.2 Durchgeführte Vergleichsmessungen

Für die Versuche, welche wir in der Rundlauf-Versuchsanlage des IVT (Gelände bei der EMPA Dübendorf) durchgeführt haben, sowie für die Versuche des Tiefbauamtes des Kantons Zürich wurden die Plattendruckgeräte der ETH und des Kantons Zürich verwendet. Bei diesen Geräten handelt es sich um SN - normkonforme Geräte. Es ist allerdings zu erwähnen, dass das Gerät der ETH mit drei Messuhren auf dem Umfang der Belastungsplatte ausgerüstet ist. Dies ermöglicht die Beurteilung der Verkippung der Lastplatte und damit Aussagen über allfällige Inhomogenitäten im Untergrund.

### 3.2.1 Messungen auf dem Gelände des Flughafen Kloten

In den Monaten Januar und Februar 1990 wurden im Gelände des Flughafen Kloten auf Fundationsschichten einer Verbindungsstrasse und eines Parkplatzes (beides Neubauten) durch das Personal des Kantonalen Flughafenlabors (Tiefbauamt des Kantons Zürich) verschiedene $M_E$-Messungen durchgeführt. Dabei wurden zu Vergleichszwecken zusätzlich neun $E_V$-Werte nach DIN 18 134 gemessen. Die $M_E$- und die $E_V$- Werte wurden von dem selben Techniker mit der selben Versuchsapparatur durchgeführt, so dass man davon ausgehen darf, dass subjektive Einflüsse des Bedieners minimiert sind. In Bild 7 sind die Orte der Messpunkte in einer Situationsskizze eingezeichnet. Der jeweilige Messpunkt für die $E_V$-Werte, in der Skizze mit dem Buchstaben A gekennzeichnet, befand sich immer rund 1 m von demjenigen für $M_E$ entfernt. Die Notwendigkeit des Versetzens der Messpunkte gegeneinander ergibt sich aus der Forderung, dass sich die Spannungstrajektorien der einzelnen Versuche in den gemessenen Schichten nicht überschneiden dürfen.

Die Drucksetzungsdiagramme sind in den Beilagen Nr. 15 bis 23a im Anhang 3 numerisch und graphisch dargestellt.

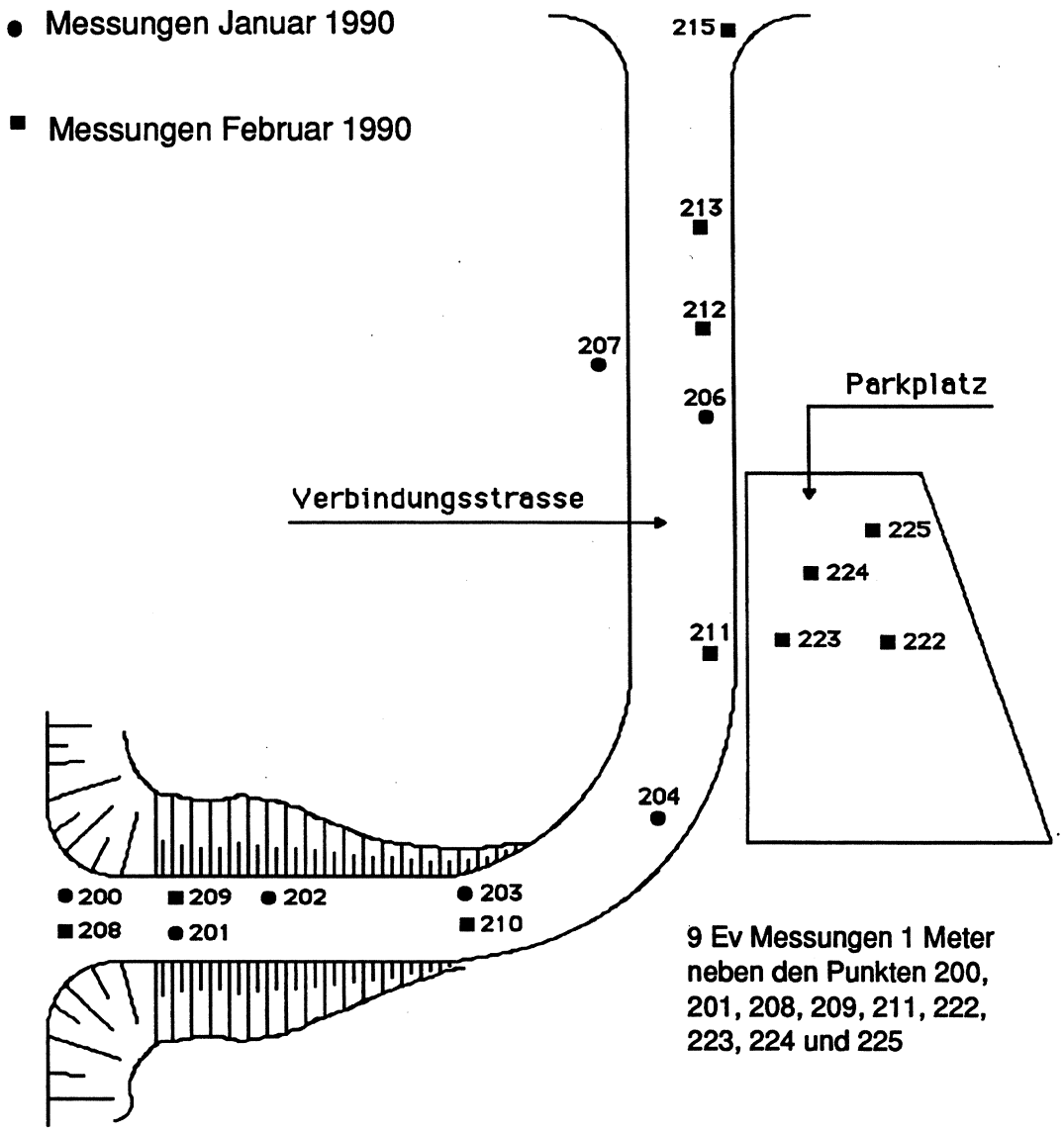



**Bild 7** Situationsskizze der Messpunkte auf dem Gelände des Flughafen Kloten

Die zusammengefassten Ergebnisse der Messungen auf dem Gelände des Flughafen Kloten sind in Tabelle 6 enthalten.

Die auf dem Gelände des Flughafen Kloten gemessenen Verhältniszahlen $f_E$ und $f_V$ liegen über 2.5 ($f_E = 5.49$, $f_V = 5.31$).

*Tabelle 6* *$M_E$- und $E_V$-Messungen auf dem Gelände des Flughafen Kloten, auf Fundationsschichten ; $M_E$, $E_V$ in kN/m2*

| | $M_E$-Messung | | | | $E_V$-Messung | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Mess-punkt | ME1 | ME2 | $fE = \frac{M_{E2}}{M_{E1}}$ | Mess-punkt | Ev1 | Ev2 | $fv = \frac{E_{v2}}{E_{v1}}$ |
| 1 | 200 | 77922 | 400000 | 5.13 | 200A | 72581 | 388024 | 5.35 |
| 2 | 201 | 75949 | 428571 | 5.64 | 201A | 91603 | 442321 | 4.83 |
| 3 | 208 | 142857 | 750000 | 5.25 | 208A | 127660 | 500386 | 3.92 |
| 4 | 209 | 130435 | 666667 | 5.11 | 209A | 102857 | 439322 | 4.27 |
| 5 | 211 | 109091 | 1000000 | 9.17 | 211A | 73922 | 558621 | 7.56 |
| 6 | 222 | 70588 | 315789 | 4.47 | 222A | 41885 | 300000 | 7.16 |
| 7 | 223 | 111111 | 375000 | 3.38 | 223A | 67925 | 310791 | 4.58 |
| 8 | 224 | 57143 | 375000 | 6.56 | 224A | 65995 | 347453 | 5.26 |
| 9 | 225 | 85714 | 400000 | 4.67 | 225A | 51282 | 249231 | 4.86 |
| | n | 9 | 9 | 9 | n | 9 | 9 | 9 |
| | x | 95645 | 523447 | 5.49 | x | 77301 | 392905 | 5.31 |
| | cv | 0.30 | 0.44 | 0.30 | cv | 0.34 | 0.26 | 0.24 |

## Kommentar zu den Versuchsergebnissen

- Die Fundationsschicht wurde zwar ohne spezielle Einbaukontrolle, jedoch nach bestem Wissen des Unternehmers sorgfältig eingebaut und verdichtet. Es handelt sich beim Boden um die Tragfähigkeitsklasse S4 ($M_{E1}$ > 60'000 kN/m$^2$). Die Verhältniszahlen $f_E$ und $f_V$ liegen ohne Ausnahme teilweise massiv höher als 2.5, und zwar im Durchschnitt bei 5.49 bzw. 5.31.

- Es ist evident, dass die Werte $M_E$ und $E_V$ selbst bei gleichem Schichtaufbau nicht identisch sein können, weil es sich um verschiedene Auswerteverfahren der Messwerte (Last und Setzung) handelt. Allerdings wäre anzunehmen, dass die Sensitivität der betrachteten Plattendruckversuche in etwa die selbe ist, d.h. dass beide Versuche eine Aussage über den Verdichtungszustand zulassen.

$$M_E = 1.0 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot D, \qquad \text{mit } \Delta p = 100 \text{ kN/m2}$$

$$E_V = 0.75 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot D, \qquad \text{mit } \Delta p = 200 \text{ kN/m2}$$

Unterschiede bestehen theoretisch

1. in den Faktoren 1.0 und 0.75 (ist aber bei $M_{E1}$ und $M_{E2}$ gleich) und
2. in den Spannungsintervallen $\Delta p$ = 100 und 200 kN/m2.

In Bild 8 sind die Wertepaare $M_{E1}$ - $E_{V1}$ graphisch dargestellt. Daraus erkennt man, dass die Wertepaare links und rechts um die Gerade mit der Neigung von 1.00 bzw. 0.75 streuen.

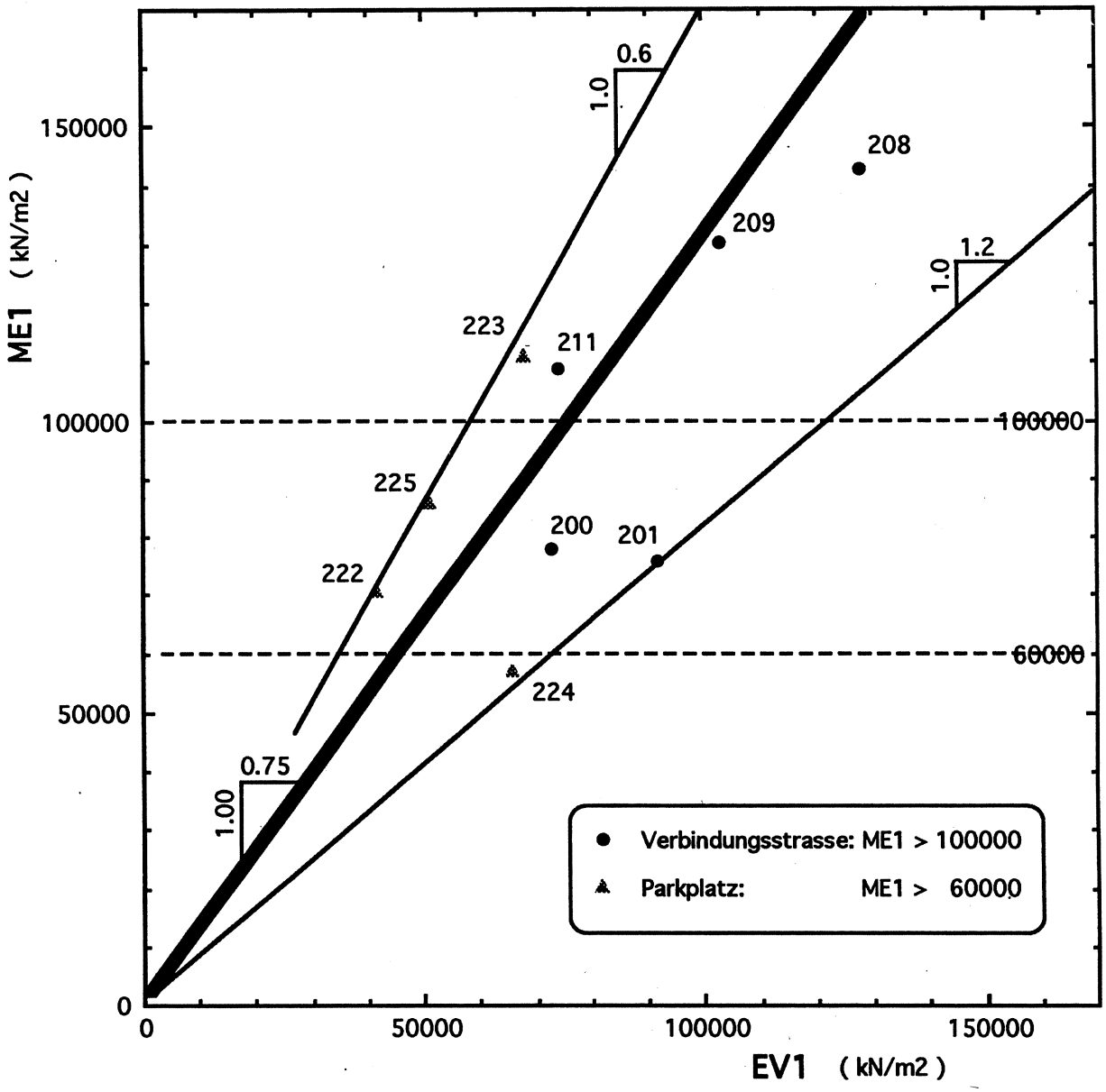
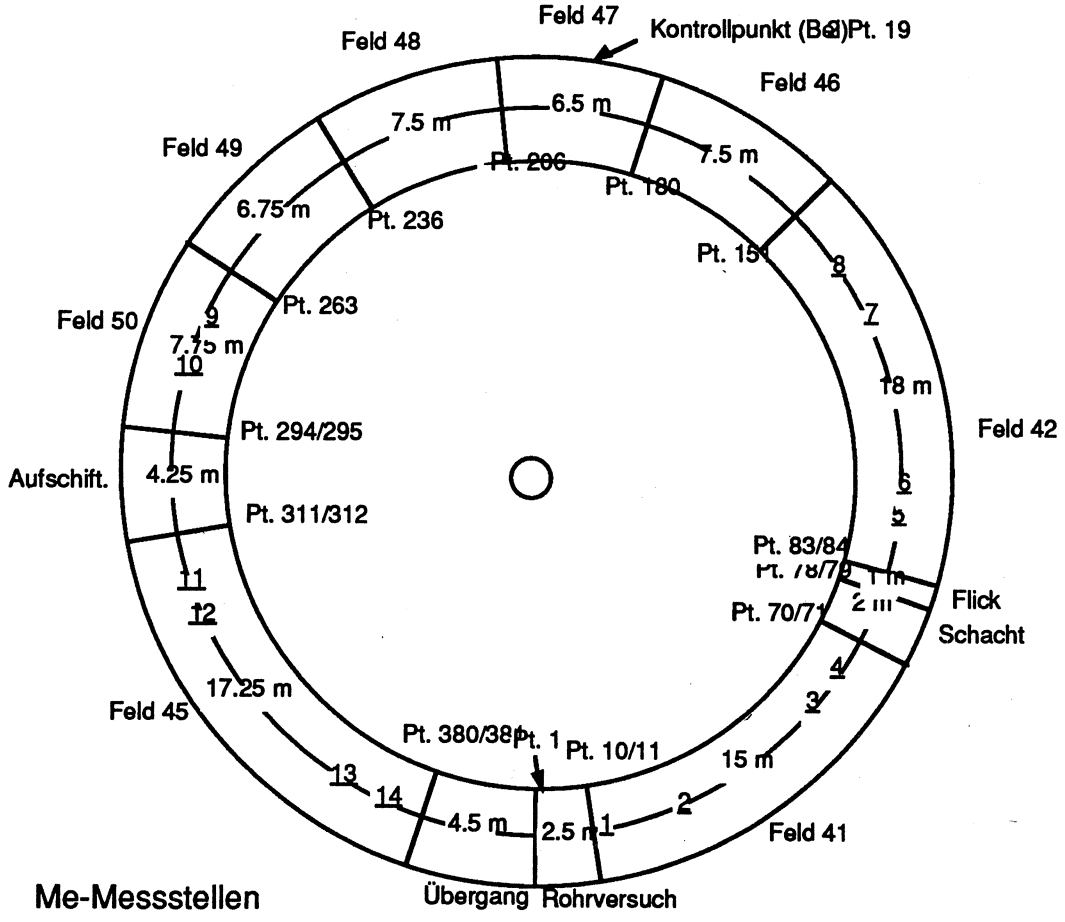



**Bild 8** graphische Darstellung der Wertepaare $M_{E1}$ gegen $E_{V1}$; Messungen auf dem Gelände des Flughafen Kloten

### 3.2.2 Messungen auf dem Gelände der Grossversuchsanlage Rundlauf der ETHZ-IVT

Mit dem Ziel, an ausgewählten Schichtaufbauten Plattendruckversuche gemäss Schweizerischer und Deutscher bzw. Europäischer Vorschrift vergleichen zu können, wurden auf der Grossversuchsanlage Rundlauf des IVT der ETH-Zürich verschiedene Versuche durchgeführt. Die Versuche wurden durch das Personal der ETH Zürich, Institute IGT und IVT durchgeführt. Dabei wurden jeweils an benachbarten Punkten (Distanz 1 Meter) Plattendruckversuche gemäss SNV 670'317a ($M_E$) bzw. DIN 18 134 ($E_V$) gemessen. Die $M_E$ und die $E_V$ - Werte wurden von dem selben Techniker mit der selben Versuchsapparatur gemessen, sodass man davon ausgehen darf, dass subjektive Einflüsse des Bedieners minimiert sind. In Bild 9 ist der Grundriss der Rundlaufanlage mit den Messpunkten dargestellt.




1 Rohrversuch auf Planie und Planum
2 Feld 41: ME auf Planum unter HMF
3 Feld 41: ME auf Planum unter HMF
4 Feld 41: ME auf Planum unter HMF
5 Feld 42: ME auf Planum unter HMF
6 Feld 42: ME auf Planum unter HMF
7 Feld 42: ME auf Planum unter HMF
8 Feld 42: ME auf Planum unter HMF
9 Feld 50: ME auf Planie und Planum
10 Feld 50: ME auf Planie und Planum
11 Feld 45: ME auf Planie und Planum
12 Feld 45: ME auf Planie und Planum
13 Feld 45: ME auf Planie und Planum
14 Feld 45: ME auf Planie und Planum

**Bild 9** Grundriss der Rundlaufanlage mit Situation der Messpunkte

Die Drucksetzungsdiagramme sind in den Beilagen Nr. 24 bis 34a im Anhang 4 numerisch und graphisch dargestellt.

Die zusammengefassten Ergebnisse der Messungen auf dem Gelände der Grossversuchsanlage Rundlauf sind in Tabelle 7 enthalten.

Die auf dem Gelände der Grossversuchsanlage Rundlauf gemessenen Verhältniszahlen $f_E$ und $f_V$ liegen bei 2.5 ($f_E$ = 3.35, $f_V$ = 1.96).

*Tabelle 7* *$M_E$- und $E_V$-Messungen auf dem Gelände der Grossversuchsanlage Rundlauf auf Unterbau und Fundationsschichten ; $M_E$, $E_V$ in kN/m²*

| | $M_E$-Messung | | | | $E_V$-Messung | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Messpunkt | $M_{E1}$ | $M_{E2}$ | $f_E = \frac{M_{E2}}{M_{E1}}$ | Messpunkt | $E_{V1}$ | $E_{V2}$ | $f_V = \frac{E_{V2}}{E_{V1}}$ |
| 1 | 41A | 29032 | 78261 | 2.70 | 41A | 76487 | 139555 | 1.82 |
| 2 | 41B | 57325 | 109756 | 1.91 | 41B | 89850 | 125177 | 1.39 |
| 3 | 42A | 49180 | 204545 | 4.16 | 42A | 41018 | 100258 | 2.44 |
| 4 | 42B | 30612 | 157895 | 5.16 | 42B | 40449 | 104348 | 2.58 |
| 5 | 45B1 | 173077 | 428571 | 2.48 | 45B1 | 117264 | 206369 | 1.76 |
| 6 | 45B2 | 200000 | 818182 | 4.09 | 45B2 | 106509 | 244528 | 2.30 |
| 7 | 45B3 | 191489 | 391304 | 2.04 | 45B3 | 116631 | 188555 | 1.62 |
| 8 | 45B4 | 81081 | 281250 | 3.47 | 45B4 | 121896 | 182364 | 1.50 |
| 9 | 45B5 | 45000 | 225000 | 5.00 | 45B5 | 120941 | 201660 | 1.67 |
| 10 | 50A | 138462 | 473684 | 3.42 | 50A | 94241 | 201660 | 2.14 |
| 11 | 50B | 108434 | 257143 | 2.37 | 50B | 90150 | 209257 | 2.32 |
| | n | 11 | 11 | 11 | n | 11 | 11 | 11 |
| | x | 100336 | 311417 | 3.35 | x | 92312 | 173066 | 1.96 |
| | Stabw | 65496 | 210853 | 1.15 | Stabw | 29489 | 47882 | 0.41 |
| | cv | 0.65 | 0.68 | 0.34 | cv | 0.32 | 0.28 | 0.21 |

**Kommentar zu den Versuchsergebnissen**

Aus den Resultaten der Messungen auf der Rundlaufanlage können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die Schichten des Unterbaus und die Fundationsschichten auf dem Gelände der Grossversuchsanlage Rundlauf der ETHZ-IVT wurden durch eine sorgfältige Einbaukontrolle begleitet. Beim Material (Unterbau und Fundation) handelt es sich um homogene Zusammensetzungen. Die Verdichtung der Schichten wurde sehr gewissenhaft durchgeführt - es handelt sich um verschiedene Versuchsfelder deren Tragverhalten miteinander verglichen wird. Der Boden des Unterbaus kann in die Tragfähigkeitsklasse S4 ($M_{E1}$ > 60'000 kN/m²) eingereiht werden. Die Verhältniszahlen $f_V$ liegen deutlich unter 2.5, und zwar im Durchschnitt bei 1.96 mit einer nicht allzugrossen Streuung. Die

Verhältniszahlen $f_E$ liegen deutlich über 2.5, nämlich bei 3.35 mit einer deutlich grösseren Streuung als diejenigen, welche gemäss $f_V$ ausgewertet wurden.

- Es ist evident, dass die Werte $M_{E1}$ und $E_{V1}$ selbst bei gleichem Schichtaufbau nicht identisch sein können, weil es sich um verschiedene Auswerteverfahren der Messwerte (Last und Setzung) handelt. Allerdings wäre anzunehmen, dass die Sensitivität der betrachteten Plattendruckversuche in etwa die selbe ist, d.h. dass beide Versuche eine Aussage über den Verdichtungszustand zulassen.

- Mit dem Plattendruckversuch wird nicht nur die Oberfläche sondern das Last-Deformationsverhalten einer Schicht geprüft. Es ist daher wichtig, den Schichtaufbau an der zu prüfenden Stelle zu kennen. Wenn man davon ausgeht, dass die relevante Tiefenwirkung einer belasteten runden Platte etwa das anderthalbfache ihres Durchmessers beträgt, muss der Plattendruckversuch auch die entsprechende Prüfung der Schicht bis in eine Tiefe von 450 mm enthalten.

# 4. Schlussfolgerung und Empfehlung

## 4.1 Empfehlung zur Aenderung der Norm SN 670'317a
**Plattendruckversuch**

Aufgrund unserer Untersuchungen schlagen wir eine Revision der Schweizerischen Plattendruckversuchsnorm SN 670'317a vor. Die Anpassung halten wir in folgenden Punkten für dringend:
- Zeitintervalle bis zum Aufbringen der weiteren Belastungsstufen
- Spannungsintervalle für die Prüfung der verschiedenen Schichten
- Vorschrift über das Setzen und Vorbelasten der Platte

**Zeitintervalle bis zum Aufbringen der weiteren Belastungsstufen**
Die Schweizerische Norm [1] schreibt starre Zeitintervalle zwischen den Belastungsstufen von 120 Sekunden vor. Dies führt offensichtlich bei Böden, welche - wenn auch nicht vollständig gesättigt und nicht bindig - ein Potential an Konsolidationsfähigkeit aufweisen, zu Fehlinterpretationen der Versuchsergebnisse, weil die Setzungen des "Mehrschichtensystems" in diesen 120 Sekunden möglicherweise nicht voll abgeklungen sind. Wir empfehlen die Norm (1) so zu ändern, dass wie in den meisten übrigen europäischen Vorschriften verlangt, davon ausgegangen werden kann, dass die Setzungen jeweils abgeklungen sind bevor weiterbelastet wird. Die Vorschrift könnte wie folgt lauten: *Bei jeder Laststufe wird unter konstant gehaltenem Druck das Ende der Setzungen abgewartet bevor eine neue Laststufe aufgebracht wird. Versehentlich zu hoch eingestellter Druck muss beibehalten und im Versuchsprotokoll vermerkt werden. Der Zeitpunkt für die Endablesung der Messuhr(en) ist erreicht, sobald die Setzungszunahme in einer Minute auf keiner Uhr mehr als 0.02 mm/min beträgt.* Aehnliches gilt auch für die Entlastungszyklen: *Die Wiederbelastung muss beginnen sobald die Setzungsabnahme auf keiner Uhr mehr als 0.02 mm/min beträgt.*

**Spannungsintervalle für die Prüfung der verschiedenen Schichten**
Die meisten europäischen Versuchsvorschriften für den Plattendruckversuch schreiben nicht starre Belastungsintervalle wie die Schweizer Norm vor. Wir halten das für sinnvoll, weil damit auf die unterschiedlichen Tragfähigkeiten der Böden mehr Rücksicht genommen werden kann. Wir schlagen in Anlehnung an die europäischen Normen vor die Belastungsgrenzen und Intervalle wie folgt vorzuschreiben: *Die Belastung wird in etwa 5 bis 7 gleich grossen Lastintervallen solange gesteigert bis entweder eine Setzung der Platte von etwa 5 mm oder eine Normalspannung von 500 kN/m$^2$ erreicht sind.*

**Vorschrift über das Setzen und Vorbelasten der Platte**
Wir schlagen vor, dass die Vorschriften zum Setzen der Versuchsplatte mit folgendem Satz ergänzt werden: *Eine allfällige Ausgleichsschicht aus Sand oder Gipsbrei darf nur Vertiefungen zwischen den einzelnen Körnern der zu messenden Schicht ausfüllen und keine eigene zusammenhängende Schicht bilden.*

## 4.2 Empfehlung zur Norm 640'585 Verdichtung Anforderungen

Falls die Norm Plattendruckversuch (1) im Sinne wie unter Abs. 5.1 vorgeschlagen geändert wird, schlagen wir vor, für die Verdichtungskontrolle bzw. die Anforderung an die Verdichtung das Verhältnis $f_E = M_{E2}/M_{E1}$ mit einem Abnahmewert für Fundationsschichten von Strassen von $f_E \leq 2.5$ vorzuschreiben.

## 4.3 Verdichtungskontrolle mit dynamischen Messgeräten

Zur Zeit werden in verschiedenen Ländern Erfahrungen mit der 'flächendeckenden dynamischen Verdichtungskontrolle' gesammelt. Bei dieser Methode werden dynamische Verdichtungswalzen mit elektronischen Geräten, welche die Möglichkeit bieten, den Verdichtungszustand direkt während des Verdichtungsvorganges zu messen, ausgerüstet. Diese Methode hat gegenüber allen punktuellen Kontroll-Methoden -zu welcher wir auch die Plattendruckversuche zählen- den grossen Vorteil, dass die Kontrolle sehr rasch und flächendeckend durchgeführt werden kann.

Allerdings müssen auch die elektronisch gemessenen dynamischen Kenngrössen mit direkt gemessenen bodenmechanischen Kennwerten kalibriert werden. Meistens wird die Kalibrierung der dynamischen Verdichtungskontrolle mittels Plattendruckversuchen durchgeführt. Auch aus diesem Grunde ist eine konsistente, mit anderen europäischen Messverfahren vergleichbare Messvorschrift für unsere Plattendruckversuchsnorm unabdingbar.

## 4.4 Auswirkungen einer allfälligen Aenderung der Norm SN 670 317a auf die Dimensionierung

Die schweizerische Dimensionierungsnorm für Strassenoberbauten [4] bezieht sich für Bestimmung der Tragfähigkeitsklassen $S_1$ bis $S_4$ als Basis für die Dimensionierung auf die Norm Untergrund und Unterbau [5]. Diese Norm gibt unter anderem an, wie die für die Dimensionierung massgebende Tragfähigkeitsklasse zu ermitteln ist. Dabei könnten für die Ermittlung der Tragfähigkeitsklassen grundsätzlich die drei Messmethoden, $M_E$-Plattendruckversuche, CBR-Tragfähigkeitsversuch, k-Wert Versuch angewendet werden. Obwohl an sich die CBR-Methode aufgrund der gewählten Dimensionierungstheorie -AASHTO- die richtige wäre, und Korrelationen zwischen den aufgezählten Bodenkennziffern recht problematisch sind, wird der CBR-Versuch im Feld aus praktischen Gründen sehr selten durchgeführt. Die Praxis zeigt, dass in den weitaus meisten Fällen die Tragfähigkeitsklassen aufgrund von $M_E$-Werten ermittelt werden.

Das heisst, dass mit jeder Aenderung der $M_E$-Messvorschrift grundsätzlich die Auswirkungen auf die Dimensionierungsklassen untersucht werden müssten. Im Rahmen dieser Arbeit konnte dieser Frage nicht weiter nachgegangen werden. Die beteiligten Forschungsstellen beabsichtigen in einer zukünftigen Forschungsarbeit diese Problematik näher zu untersuchen. Ob sich dabei eine Revision der Norm Untergrund und Unterbau [5] aufdrängt kann auch noch nicht gesagt werden.

Die Autoren dieses Berichtes sind der Meinung, dass in der zitierten Norm Untergrund und Unterbau [5] eine Anforderung an die Verhältniswerte $f_E = M_{E2}/M_{E1}$, allenfalls abgestuft je nach Tragfähigkeitsklasse, sinnvoll wäre. Damit könnte sichergestellt werden, dass die $M_E$-Werte welche als Grundlage für die Dimensionierung bzw. für die Zuteilung der Tragfähigkeitsklassen Si gebraucht werden, die tatsächlichen Verhältnisse besser beschreiben.

# 5. Literatur

## 5.1 Normen


[1] SN 670'317a, Plattenversuch $M_E$; 1984
[2] SN 670'318 Schneller $M_E$ - Versuch
[3] SN 640'585a Verdichtung, Anforderungen
[4] SN 640'324 Dimensionierung Strassenoberbau
[5] SN 640'317 Dimensionierung Untergrund und Unterbau
[6] DIN 18 134; Plattendruckversuch, Baugrund, Untersuchung von Böden, Vornorm Juli 1976
[6a] DIN 18 134; Plattendruckversuch, Baugrund, Untersuchung von Böden, Vornorm August 1987
[7] DIN 18 134; Plattendruckversuch, Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte, Norm Juni 1990
[8] RVS 11.061; Nr. 7 Plattendruckversuch, Baudurchführung, Grundlagen, Bodenphysikalische Prüfverfahren; Richtlinien und Vorschriften für den Strassenbau RVS Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Strassenwesen FVS; Januar 1975


## 5.2 Fachbücher, Autographien, Publikationen


[9] Lang H.-J./Huder J.; Bodenmechanik und Grundbau, 4. Auflage, Springer 1990

[10] Wullimann R.; Vorlesungen über Bodenmechanik; Fachgruppe für höhere Bildungskurse des STV, Zürich 1974

[11] Haefeli, R. Theorie zur Setzungsanalyse bei konstantem Plastizitätsmodul ME, Bericht Nr. 89, 1944, Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETH Zürich (VAWE)

[12] Haefeli, R. und Schaad, W. Erdbauliche Methoden zur Dimensionierung der Pisten beim Bau des Flughafens Kloten; Strasse und Verkehr, Bd. 34 Nr. 45, 1948 und Mitteilung der VAWE Nr. 14

[13] Haefeli, R. Die Zusammendrückbarkeit der Böden; Strasse und Verkehr, Bd. 36, Nr. 5, 1950 und Mitteilung der VAWE Nr. 19

[14] Haefeli, R. Neue Untersuchungen und Erkenntnisse über das Verhalten von Pfählen und deren Anwendung in der Praxis der Pfahlfundation

[15] Haefeli, R. und Bucher, H.; New Methods for the determination of the permissible load and the settlement of piles; Proceedings on the Fifth International Conference on Soil Mechanics, Vol. II, p. 65 - 72, Paris 1961

[16] Lambe, T.W., und Whitman, R.V. Soil Mechanics; John Wiley & Sons, Inc. New York, 1969, und 1979

[17] Dysli M., Fetz L., Scazziga I., Révision de l'essai ME, Strasse und Verkehr, Nr. 3/ 1983

[18] Dysli M., Le module ME et les autres, Strasse und Verkehr, Nr. 9/ 1984

[19] C.R.R., Centre de Recherches Routières; Mode opératoire, Essai de chargement à la plaque pour le contrôle du compactage, Méthode de Mesure C.R.R. Bruxelles MF 40/78

[20] Schleicher, F. Zur Theorie des Baugrundes, Der Bauingenieur, Heft 48, 1926


8. Dezember 1993/ca/ya/am/sm

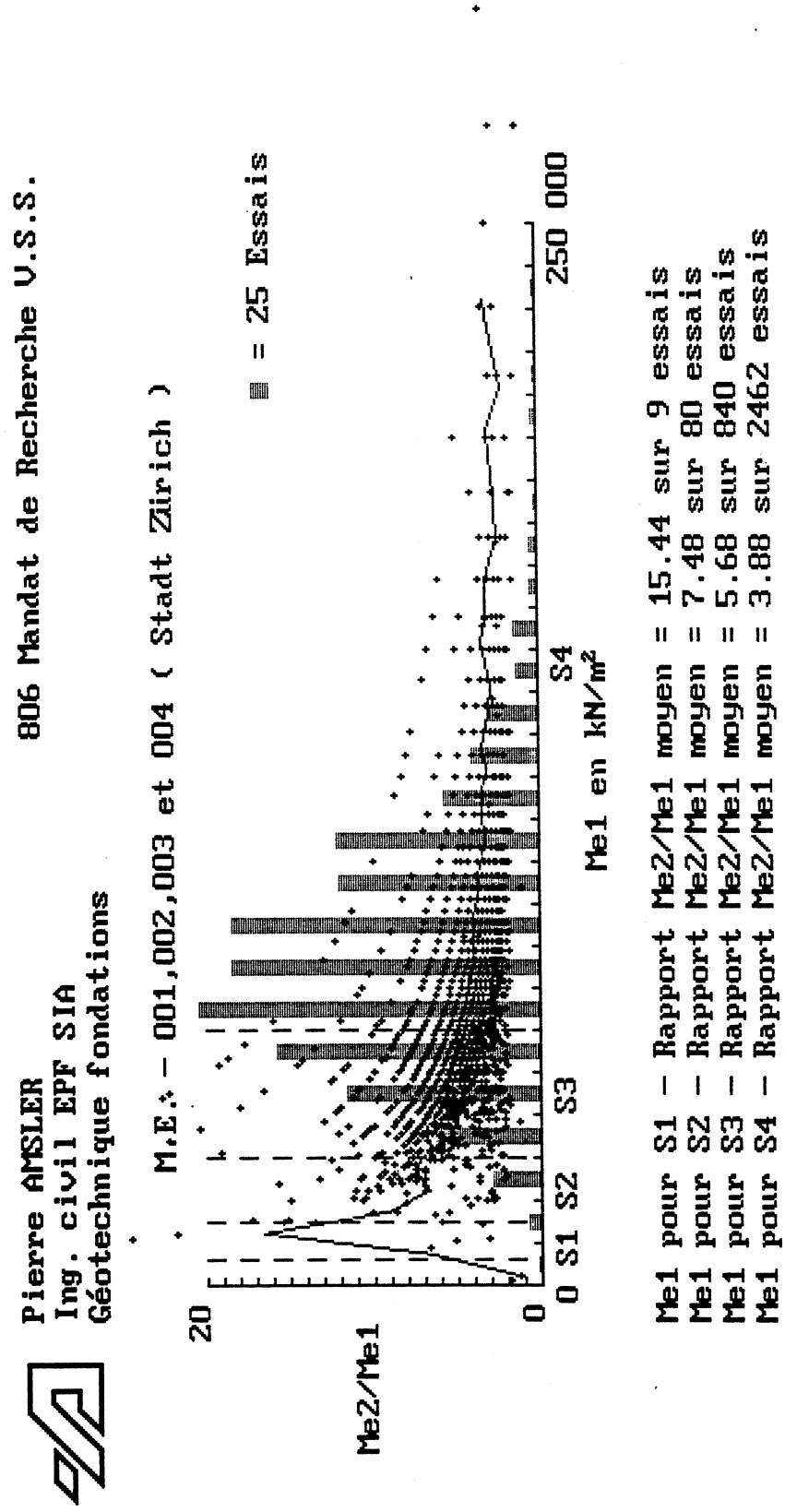
# Anhang 1

## Beilagen 1 bis 12

## in die Auswertung einbezogene Daten nach deren Herkunft geordnet

| | |
|---|---|
| **Beilage 1** | Messungen der Stadt Zürich; Graphik |
| **Beilage 1a** | Messungen der Stadt Zürich; Zusammenstellung |
| **Beilage 2** | Messungen des Kanton Bern; Graphik |
| **Beilage 2a** | Messungen des Kanton Bern; Zusammenstellung |
| **Beilage 3** | Messungen des Kanton Graubünden; Graphik |
| **Beilage 3a** | Messungen des Kanton Graubünden; Zusammenstellung |
| **Beilage 4** | Messungen des Kanton Jura; Graphik |
| **Beilage 4a** | Messungen des Kanton Jura; Zusammenstellung |
| **Beilage 5** | Messungen der Betonstrassen AG; Graphik |
| **Beilage 5a** | Messungen der Betonstrassen AG; Zusammenstellung |
| **Beilage 6** | Messungen des Kanton Aargau; Graphik |
| **Beilage 6a** | Messungen des Kanton Aargau; Zusammenstellung |
| **Beilage 7** | Messungen des Kanton Zürich; Graphik |
| **Beilage 7a** | Messungen des Kanton Zürich; Zusammenstellung |
| **Beilage 8** | Messungen des Kanton Zürich Unterbau; Graphik |
| **Beilage 8a** | Messungen des Kanton Zürich Unterbau; Zusammenstellung |
| **Beilage 9** | Messungen des Kanton Zürich Tragschicht; Graphik |
| **Beilage 9a** | Messungen des Kanton Zürich Tragschicht; Zusammenstellung |
| **Beilage 10** | Messungen des Kanton Genf Kiessand; Graphik |
| **Beilage 10a** | Messungen des Kanton Genf Kiessand; Zusammenstellung |
| **Beilage 11** | Messungen des Kanton Genf Moräne; Graphik |
| **Beilage 11a** | Messungen des Kanton Genf Moräne; Zusammenstellung |
| **Beilage 12** | Messungen des Kanton Genf Untergrund; Graphik |
| **Beilage 12a** | Messungen des Kanton Genf Untergrund; Zusammenstellung |

**Beilage 1**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche U.S.S.
M.E.: - 001,002,003 et 004 ( Stadt Zürich )
= 25 Essais
Me2/Me1
20
0
0 S1 S2 S3 S4
250 000
Me1 en kN/m²
Me1 pour S1 - Rapport Me2/Me1 moyen = 15.44 sur 9 essais
Me1 pour S2 - Rapport Me2/Me1 moyen = 7.48 sur 80 essais
Me1 pour S3 - Rapport Me2/Me1 moyen = 5.68 sur 840 essais
Me1 pour S4 - Rapport Me2/Me1 moyen = 3.88 sur 2462 essais

Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations

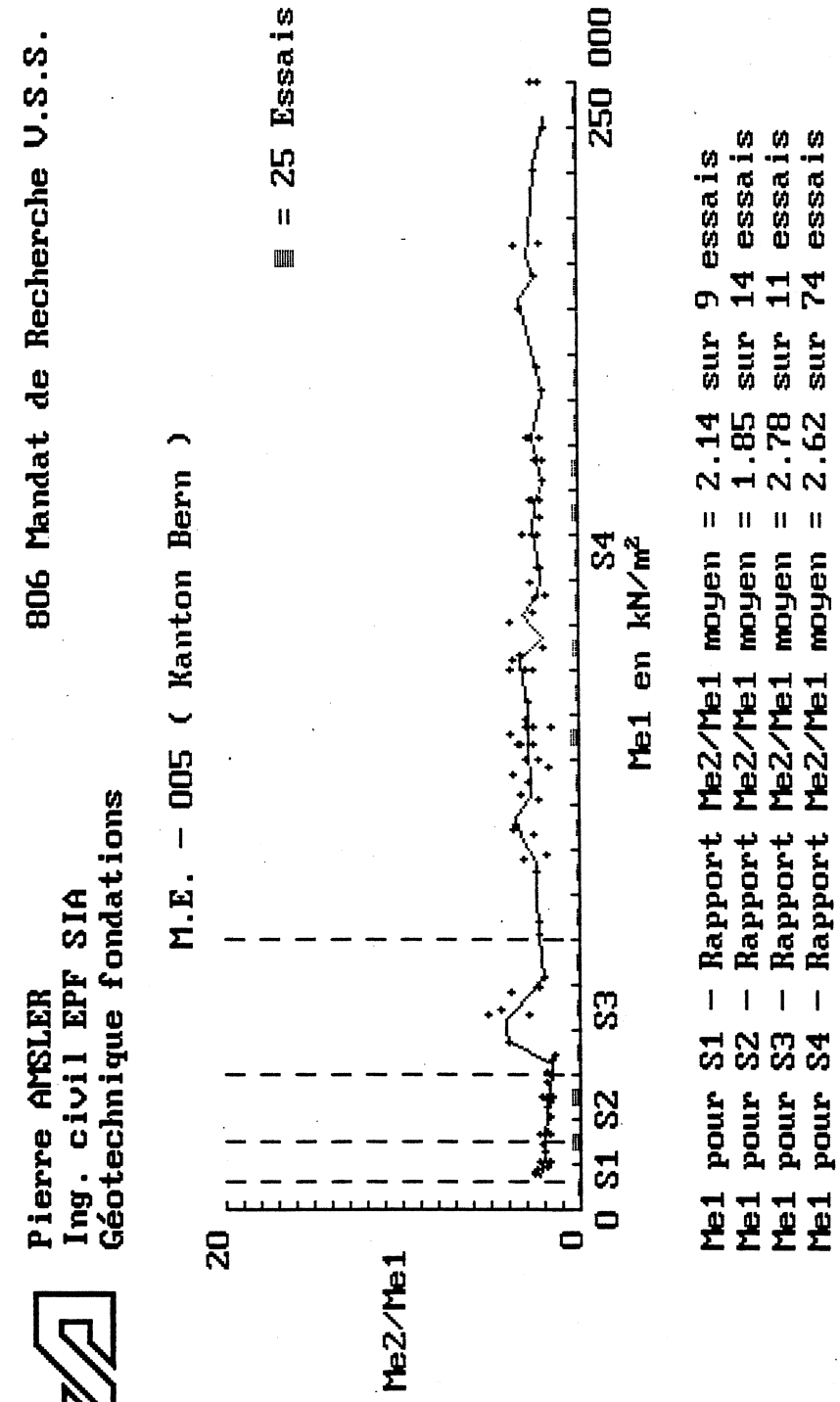
806 Mandat de Recherche V.S.S.

M.E. 001,002,003 et 004 ( Stadt Zürich )

| Valeurs Me1 kN/m² | n | $\overline{x}$ | $\gamma$ | C.V. % |
|---|---|---|---|---|
| ≥ 6000 < 15000 (S1) | 9 | 15.44 | 115.44 | 747.56 |
| ≥ 15000 < 30000 (S2) | 80 | 7.48 | 17.01 | 227.34 |
| ≥ 30000 < 60000 (S3) | 840 | 5.68 | 7.04 | 123.92 |
| ≥ 60000 (S4) | 2462 | 3.88 | 1.79 | 46.02 |

Beilage 1a

**Beilage 2**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche U.S.S.
M.E. - 005 ( Kanton Bern )
= 25 Essais
Me2/Me1
20
0
0 S1 S2 S3 S4
250 000
Me1 en kN/m²
Me1 pour S1 - Rapport Me2/Me1 moyen = 2.14 sur 9 essais
Me1 pour S2 - Rapport Me2/Me1 moyen = 1.85 sur 14 essais
Me1 pour S3 - Rapport Me2/Me1 moyen = 2.78 sur 11 essais
Me1 pour S4 - Rapport Me2/Me1 moyen = 2.62 sur 74 essais

Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations

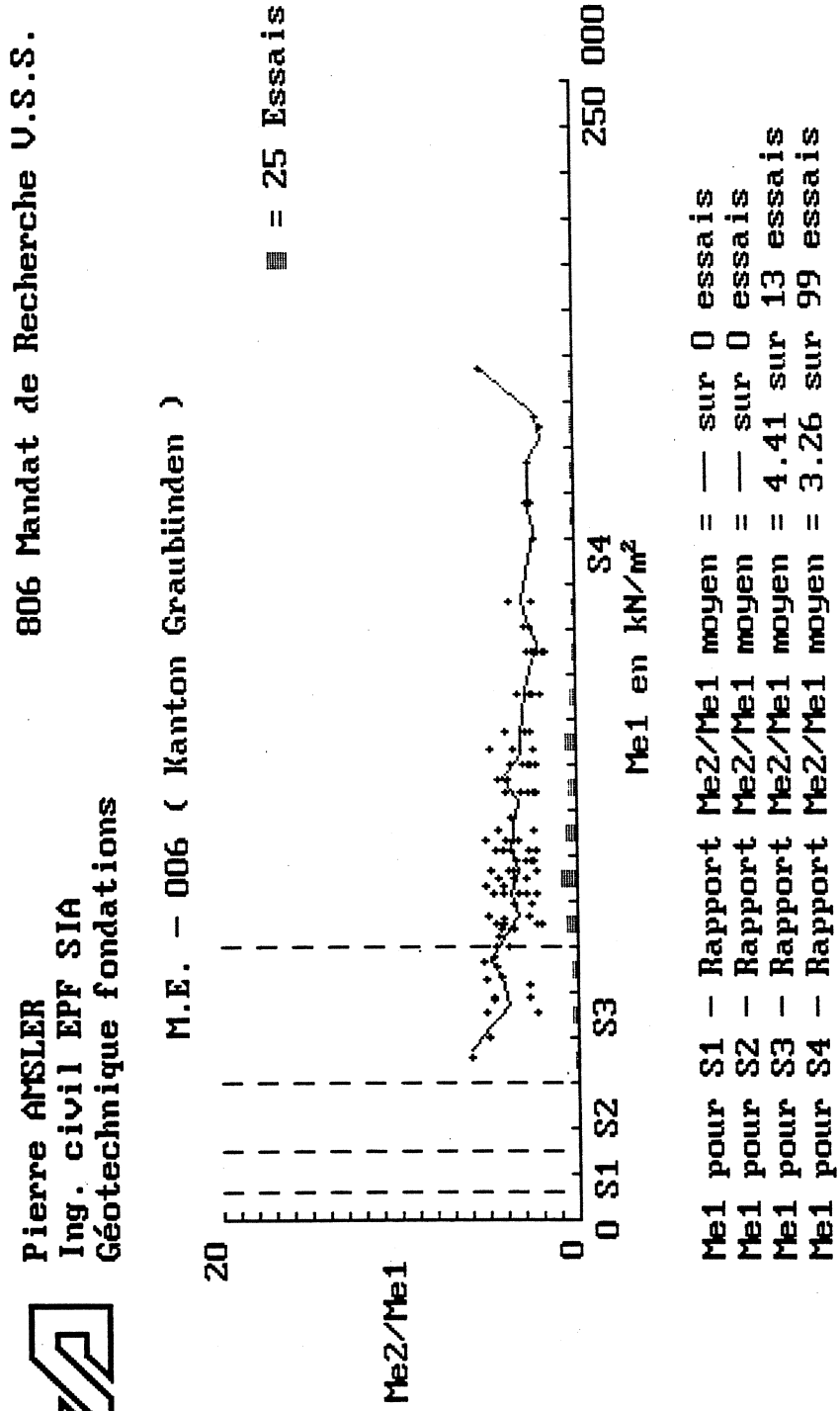
806 Mandat de Recherche V.S.S.

M.E. 005 ( Kanton Bern )

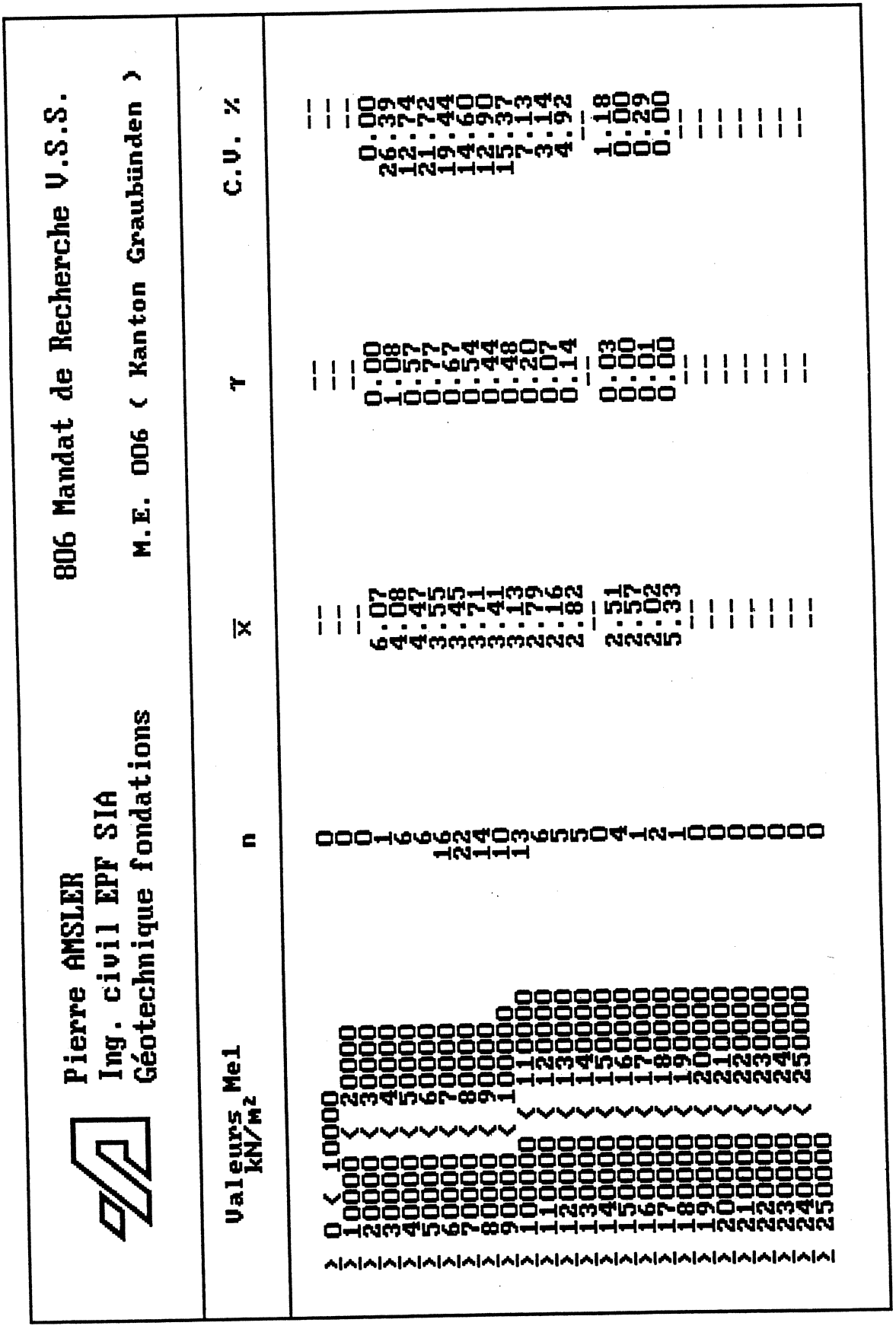
| Valeurs Me1 kN/m² | n | $\overline{x}$ | $\gamma$ | C.V. % |
|---|---|---|---|---|
| ≥ 6000 < 15000 (S1) | 9 | 2.14 | 0.09 | 4.16 |
| ≥ 15000 < 30000 (S2) | 14 | 1.85 | 0.03 | 1.48 |
| ≥ 30000 < 60000 (S3) | 11 | 2.78 | 1.43 | 51.38 |
| ≥ 60000 (S4) | 74 | 2.62 | 0.39 | 14.70 |

Beilage 2a

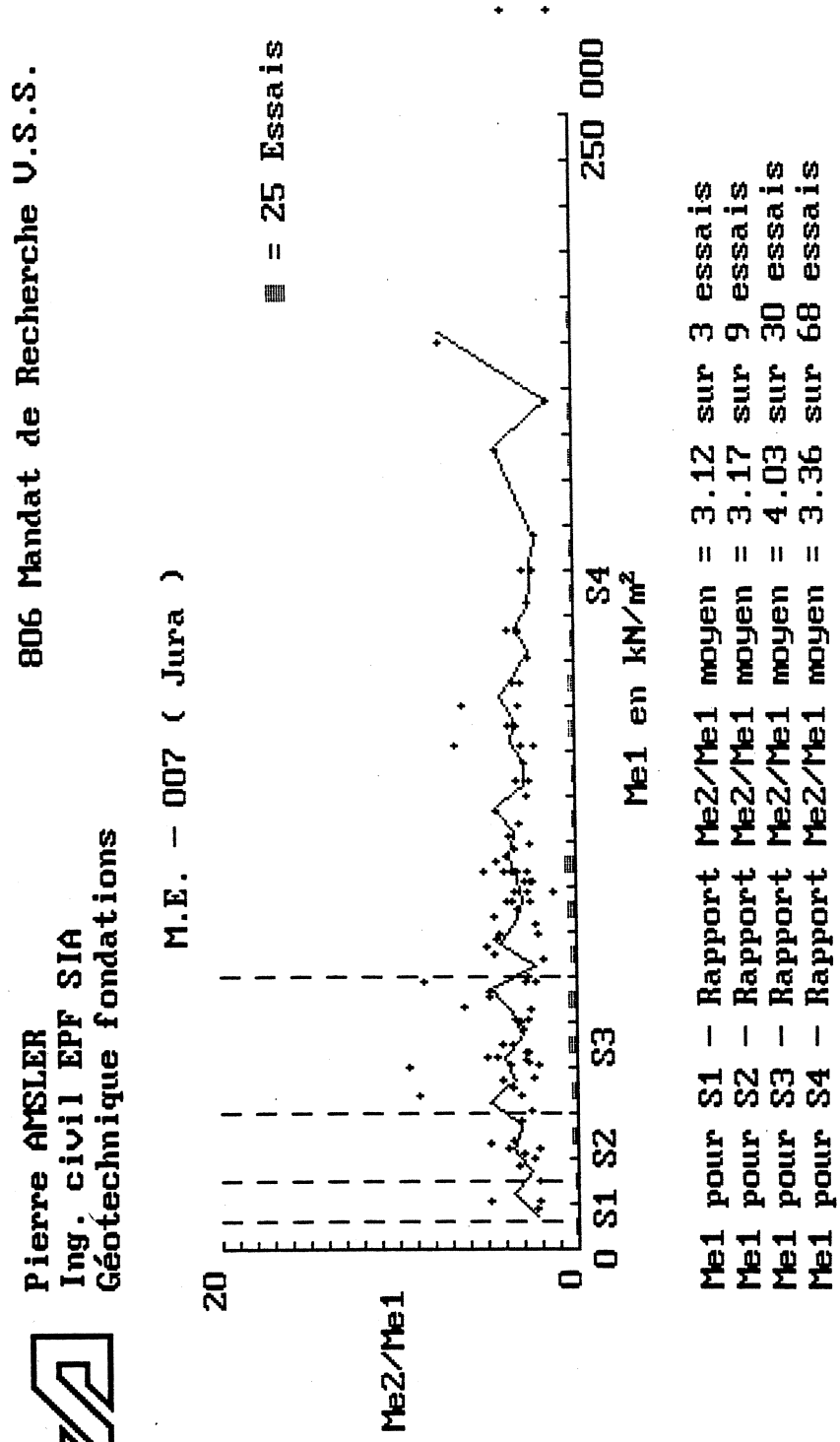
**Beilage 3**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche V.S.S.
M.E. - 006 ( Kanton Graubünden )
= 25 Essais
Me2/Me1
20
0
0 S1 S2 S3 S4
250 000
Me1 en kN/m²
Me1 pour S1 - Rapport Me2/Me1 moyen = — sur 0 essais
Me1 pour S2 - Rapport Me2/Me1 moyen = — sur 0 essais
Me1 pour S3 - Rapport Me2/Me1 moyen = 4.41 sur 13 essais
Me1 pour S4 - Rapport Me2/Me1 moyen = 3.26 sur 99 essais

**Beilage 3a**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche V.S.S.
M.E. 006 ( Kanton Graubünden )
Valeurs Mel kN/m²
n
x̄
σ
C.U. %

**Beilage 4**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche U.S.S.
M.E. - 007 ( Jura )
= 25 Essais
Me2/Me1
20
0
0 S1 S2 S3 S4
250 000
Me1 en kN/m²
Me1 pour S1 - Rapport Me2/Me1 moyen = 3.12 sur 3 essais
Me1 pour S2 - Rapport Me2/Me1 moyen = 3.17 sur 9 essais
Me1 pour S3 - Rapport Me2/Me1 moyen = 4.03 sur 30 essais
Me1 pour S4 - Rapport Me2/Me1 moyen = 3.36 sur 68 essais

Beilage 4a

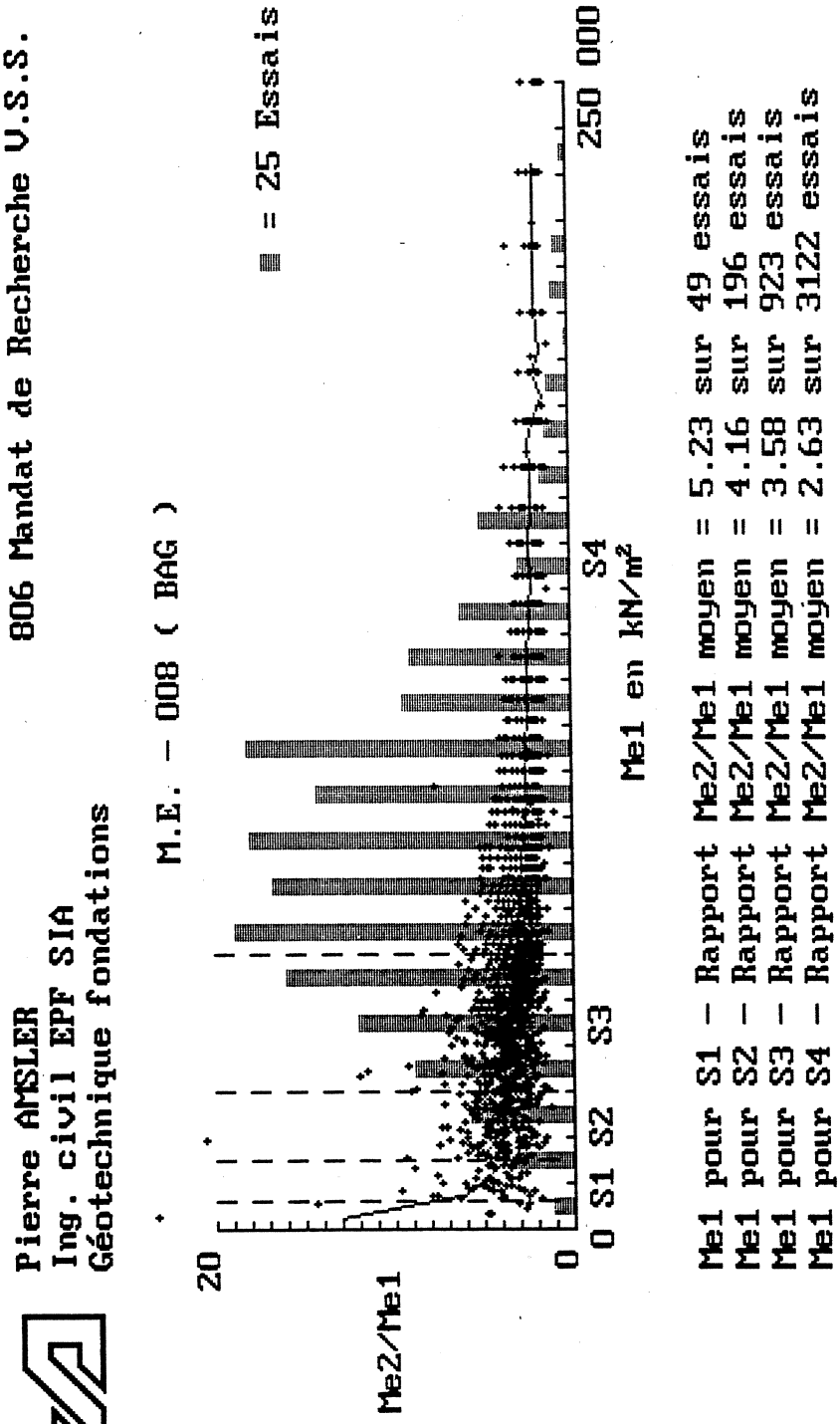
Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations

806 Mandat de Recherche V.S.S.

M.E. 007 ( Jura )

| Valeurs Mel kN/m² | n | $\overline{x}$ | $\sigma$ | C.V. % |
|---|---|---|---|---|
| ≥ 6000 < 15000 (S1) | 3 | 3.12 | 1.07 | 34.42 |
| ≥ 15000 < 30000 (S2) | 9 | 3.17 | 0.58 | 18.26 |
| ≥ 30000 < 60000 (S3) | 30 | 4.03 | 3.21 | 79.69 |
| ≥ 60000 (S4) | 68 | 3.36 | 1.24 | 36.83 |

**Beilage 5**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche U.S.S.
M.E. - 008 ( BAG )
= 25 Essais
Me2/Me1
20
0
0 S1 S2 S3 S4
250 000
Me1 en kN/m²
Me1 pour S1 - Rapport Me2/Me1 moyen = 5.23 sur 49 essais
Me1 pour S2 - Rapport Me2/Me1 moyen = 4.16 sur 196 essais
Me1 pour S3 - Rapport Me2/Me1 moyen = 3.58 sur 923 essais
Me1 pour S4 - Rapport Me2/Me1 moyen = 2.63 sur 3122 essais

Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations

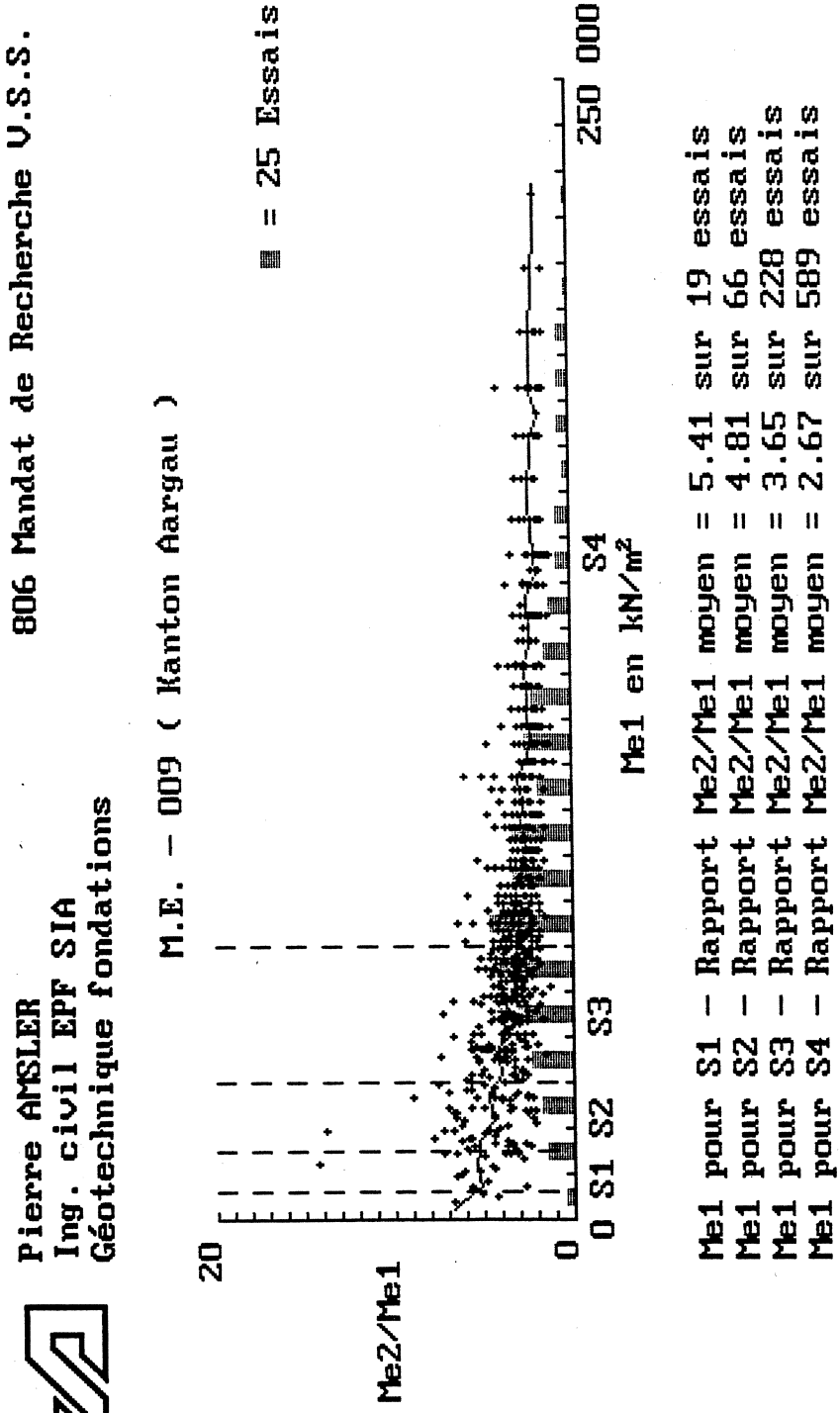
806 Mandat de Recherche V.S.S.

M.E. 008 ( BAG )

| Valeurs Mel kN/m² | n | $\bar{x}$ | $\gamma$ | C.V. % |
|---|---|---|---|---|
| ≥ 6000 < 15000 (S1) | 49 | 5.23 | 18.15 | 346.77 |
| ≥ 15000 < 30000 (S2) | 196 | 4.16 | 5.52 | 132.69 |
| ≥ 30000 < 60000 (S3) | 923 | 3.58 | 1.16 | 32.54 |
| ≥ 60000 (S4) | 3122 | 2.63 | 0.41 | 15.44 |

Beilage 5a

**Beilage 6**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche U.S.S.
M.E. - 009 ( Kanton Aargau )
■ = 25 Essais
Me2/Me1
20
0
0 S1 S2 S3 S4
250 000
Me1 en kN/m²
Me1 pour S1 - Rapport Me2/Me1 moyen = 5.41 sur 19 essais
Me1 pour S2 - Rapport Me2/Me1 moyen = 4.81 sur 66 essais
Me1 pour S3 - Rapport Me2/Me1 moyen = 3.65 sur 228 essais
Me1 pour S4 - Rapport Me2/Me1 moyen = 2.67 sur 589 essais

Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations

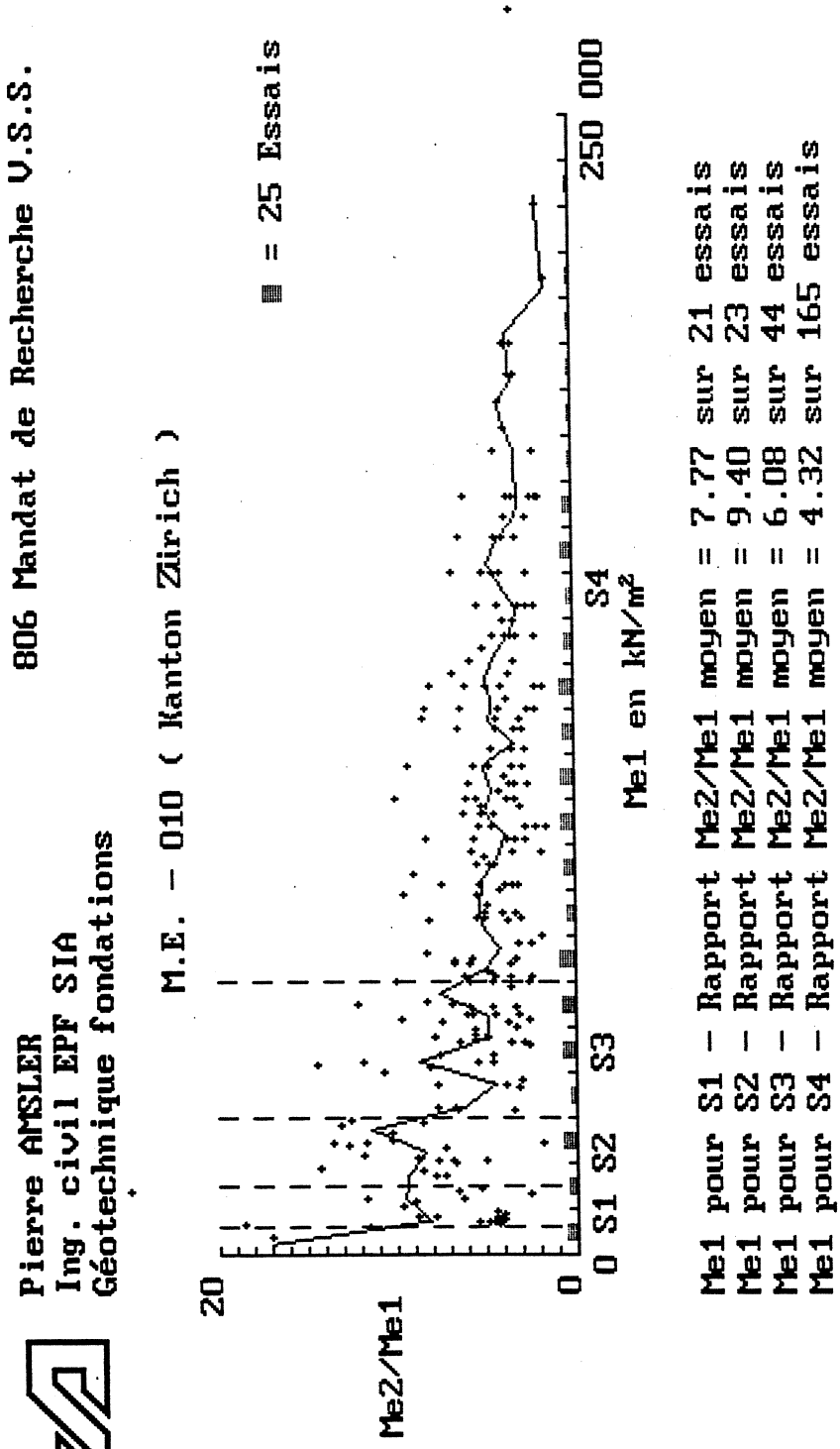
806 Mandat de Recherche V.S.S.

M.E. 009 ( Kanton Aargau )

| Valeurs Me1 kN/m² | n | $\bar{x}$ | $\gamma$ | C.V. % |
|---|---|---|---|---|
| ≥ 6000 < 15000 (S1) | 19 | 5.41 | 5.57 | 103.13 |
| ≥ 15000 < 30000 (S2) | 66 | 4.81 | 3.56 | 74.08 |
| ≥ 30000 < 60000 (S3) | 228 | 3.65 | 1.12 | 30.61 |
| ≥ 60000 (S4) | 589 | 2.67 | 0.60 | 22.53 |

Beilage 6a

**Beilage 7**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche U.S.S.
M.E. - 010 ( Kanton Zirich )
= 25 Essais
Me2/Me1
20
0
0 S1 S2 S3 S4
250 000
Me1 en kN/m²
Me1 pour S1 - Rapport Me2/Me1 moyen = 7.77 sur 21 essais
Me1 pour S2 - Rapport Me2/Me1 moyen = 9.40 sur 23 essais
Me1 pour S3 - Rapport Me2/Me1 moyen = 6.08 sur 44 essais
Me1 pour S4 - Rapport Me2/Me1 moyen = 4.32 sur 165 essais

Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations

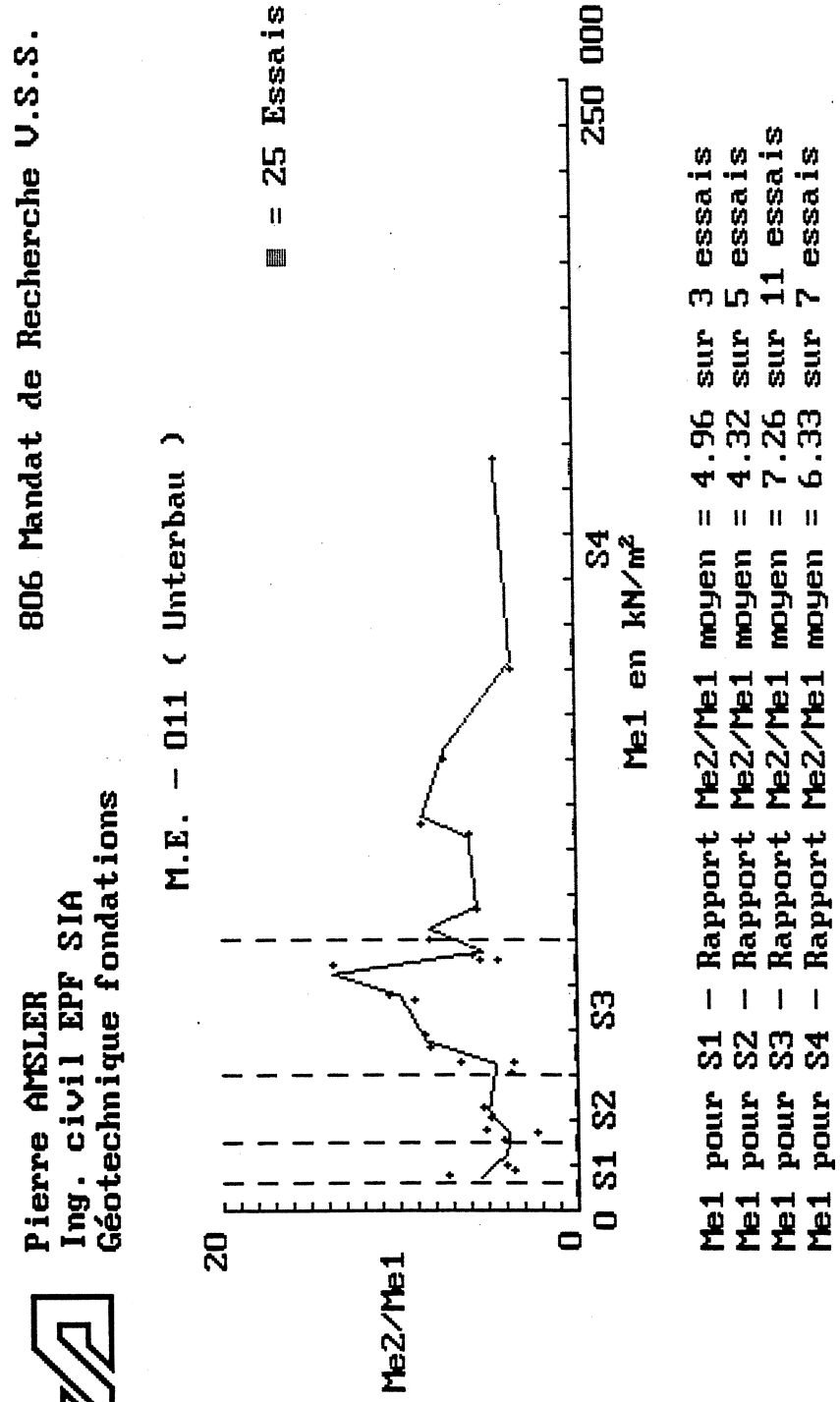
806 Mandat de Recherche V.S.S.

M.E. 010 ( Kanton Zürich )

| Valeurs Mel kN/m² | n | $\bar{x}$ | $\gamma$ | C.V. % |
|---|---|---|---|---|
| ≥ 6000 < 15000 (S1) | 21 | 7.77 | 24.90 | 320.33 |
| ≥ 15000 < 30000 (S2) | 23 | 9.40 | 8.58 | 91.30 |
| ≥ 30000 < 60000 (S3) | 44 | 6.08 | 7.57 | 124.52 |
| ≥ 60000 (S4) | 165 | 4.32 | 3.05 | 70.64 |

Beilage 7a

**Beilage 8**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche U.S.S.
M.E. - 011 ( Unterbau )
▩ = 25 Essais
Me2/Me1
20
0
0 S1 S2 S3 S4
250 000
Me1 en kN/m²
Me1 pour S1 - Rapport Me2/Me1 moyen = 4.96 sur 3 essais
Me1 pour S2 - Rapport Me2/Me1 moyen = 4.32 sur 5 essais
Me1 pour S3 - Rapport Me2/Me1 moyen = 7.26 sur 11 essais
Me1 pour S4 - Rapport Me2/Me1 moyen = 6.33 sur 7 essais

Beilage 8a

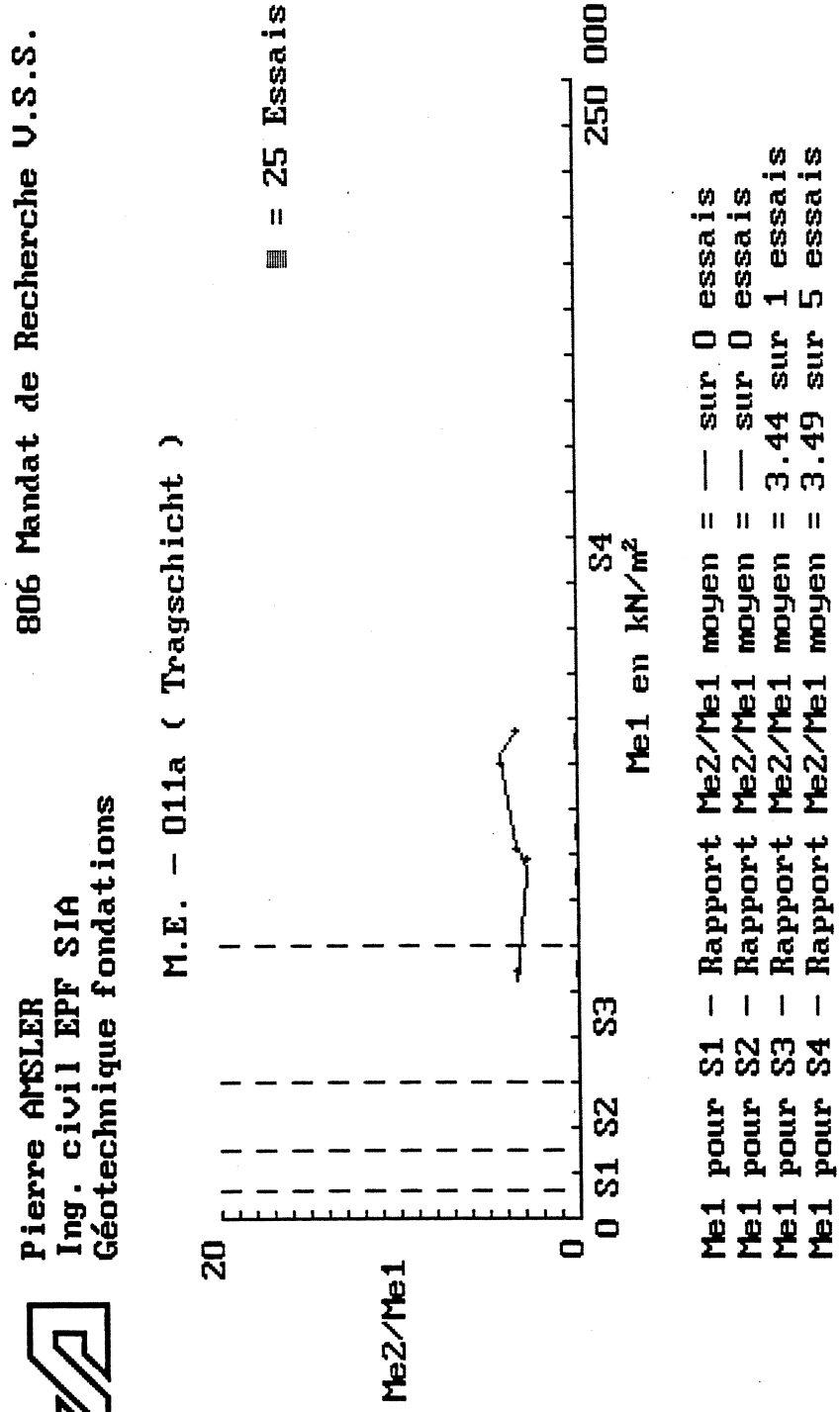
Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations

806 Mandat de Recherche V.S.S.

M.E. 011 ( Unterbau )

| Valeurs Me1 kN/m² | n | $\overline{x}$ | $\tau$ | C.V. % |
|---|---|---|---|---|
| ≥ 6000 < 15000 (S1) | 3 | 4.96 | 1.85 | 37.31 |
| ≥ 15000 < 30000 (S2) | 5 | 4.32 | 0.74 | 17.05 |
| ≥ 30000 < 60000 (S3) | 11 | 7.26 | 6.81 | 93.85 |
| ≥ 60000 (S4) | 7 | 6.33 | 2.55 | 40.25 |

**Beilage 9**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche U.S.S.
M.E. - 011a ( Tragschicht )
= 25 Essais
Me2/Me1
20
0
0 S1 S2 S3 S4
250 000
Me1 en kN/m²
Me1 pour S1 - Rapport Me2/Me1 moyen = — sur 0 essais
Me1 pour S2 - Rapport Me2/Me1 moyen = — sur 0 essais
Me1 pour S3 - Rapport Me2/Me1 moyen = 3.44 sur 1 essais
Me1 pour S4 - Rapport Me2/Me1 moyen = 3.49 sur 5 essais

Beilage 9a

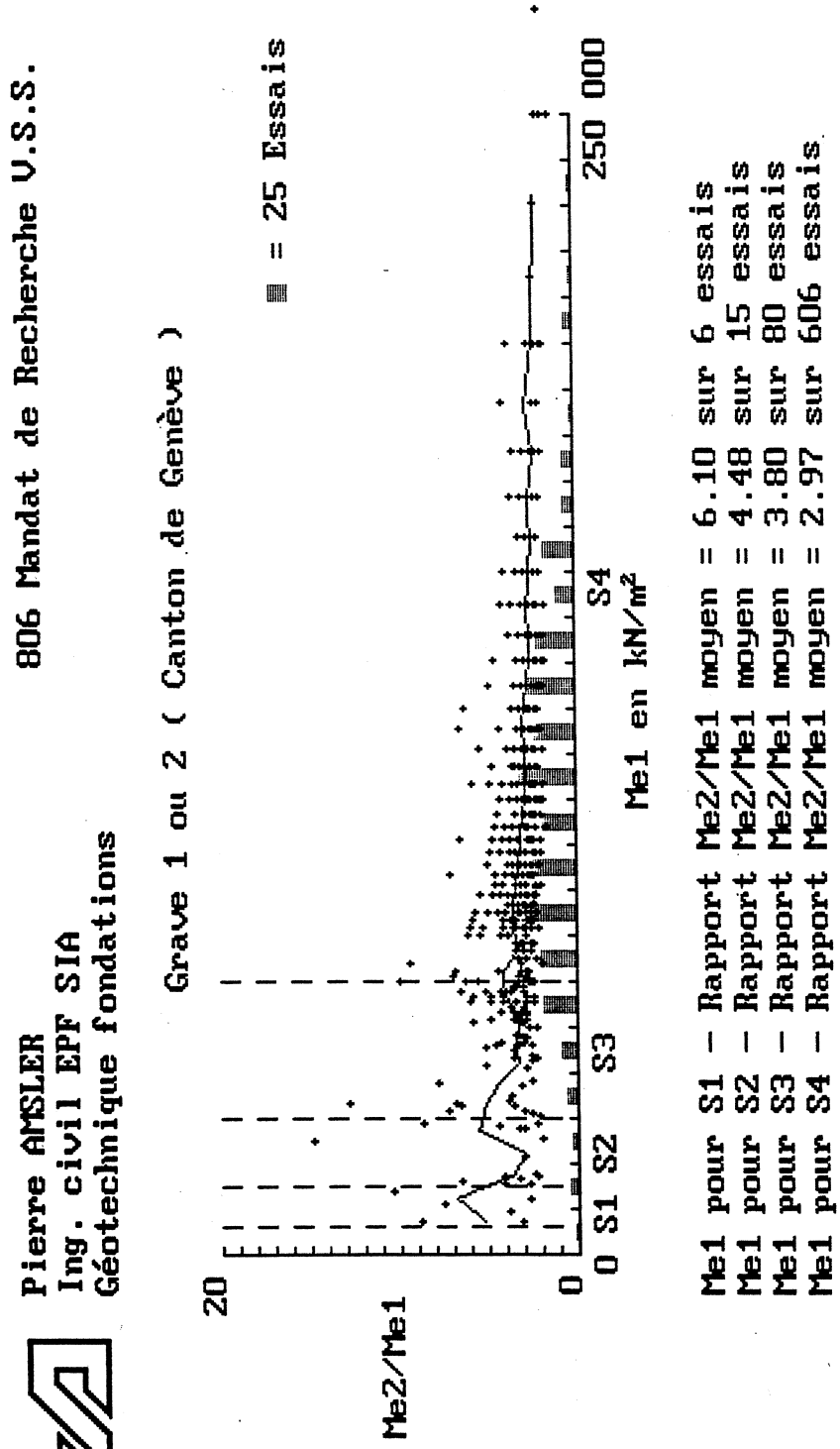
Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations

806 Mandat de Recherche V.S.S.

M.E. 011a ( Tragschicht )

| Valeurs Me1 kN/m² | n | $\bar{x}$ | $\sigma$ | C.V. % |
|---|---|---|---|---|
| ≥ 6000 < 15000 (S1) | 0 | -- | -- | -- |
| ≥ 15000 < 30000 (S2) | 0 | -- | -- | -- |
| ≥ 30000 < 60000 (S3) | 1 | 3.44 | 0.00 | 0.00 |
| ≥ 60000 (S4) | 5 | 3.49 | 0.15 | 4.35 |

**Beilage 10**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche U.S.S.
Grave 1 ou 2 ( Canton de Genève )
= 25 Essais
Me2/Me1
20
0
0 S1 S2 S3 S4
250 000
Me1 en kN/m²
Me1 pour S1 - Rapport Me2/Me1 moyen = 6.10 sur 6 essais
Me1 pour S2 - Rapport Me2/Me1 moyen = 4.48 sur 15 essais
Me1 pour S3 - Rapport Me2/Me1 moyen = 3.80 sur 80 essais
Me1 pour S4 - Rapport Me2/Me1 moyen = 2.97 sur 606 essais

Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations

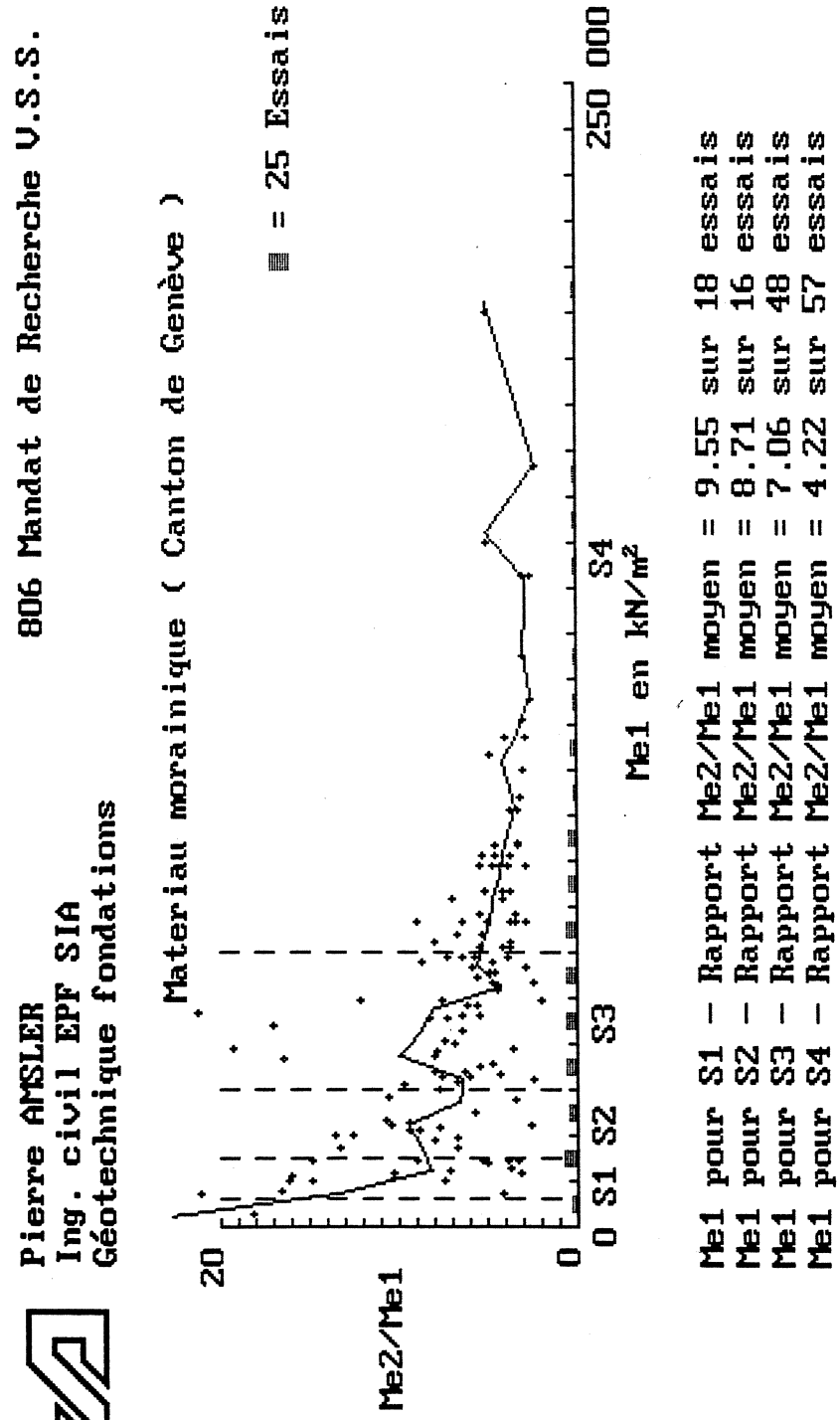
806 Mandat de Recherche V.S.S.

Grave 1 ou 2 ( Canton de Genève )

| Valeurs Mel kN/m² | n | $\bar{x}$ | $\sigma$ | C.V. % |
|---|---|---|---|---|
| ≥ 6000 < 15000 (S1) | 6 | 6.10 | 6.98 | 114.40 |
| ≥ 15000 < 30000 (S2) | 15 | 4.48 | 9.45 | 211.19 |
| ≥ 30000 < 60000 (S3) | 80 | 3.80 | 2.45 | 64.34 |
| ≥ 60000 (S4) | 606 | 2.97 | 0.97 | 32.75 |

Beilage 10a

**Beilage 11**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche U.S.S.
Materiau morainique ( Canton de Genève )
= 25 Essais
Me2/Me1
20
0
0 S1 S2 S3 S4
250 000
Me1 en kN/m²
Me1 pour S1 - Rapport Me2/Me1 moyen = 9.55 sur 18 essais
Me1 pour S2 - Rapport Me2/Me1 moyen = 8.71 sur 16 essais
Me1 pour S3 - Rapport Me2/Me1 moyen = 7.06 sur 48 essais
Me1 pour S4 - Rapport Me2/Me1 moyen = 4.22 sur 57 essais

Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations

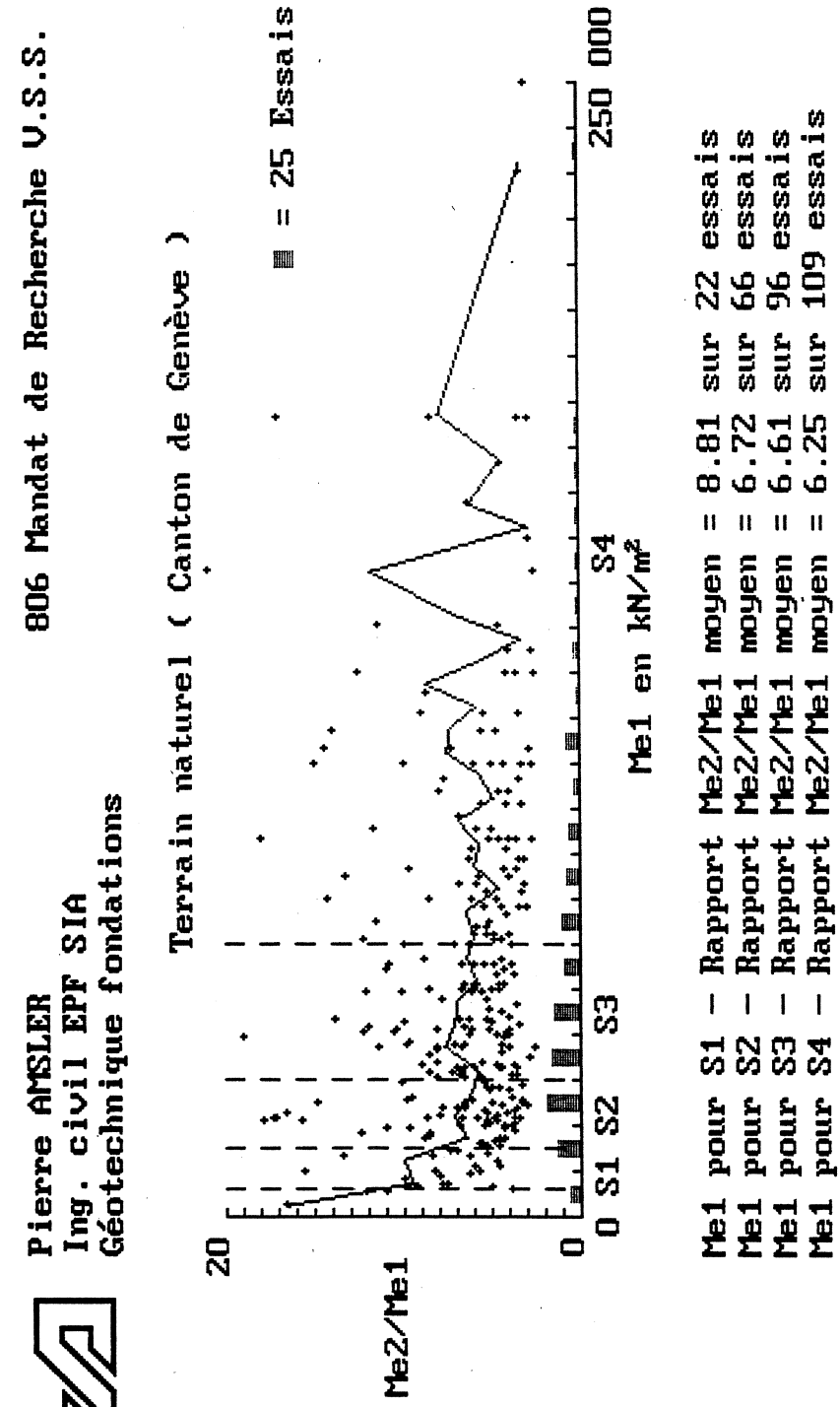
806 Mandat de Recherche V.S.S.

Materiau morainique ( Canton de Genève )

| Valeurs Me1 kN/m² | n | $\bar{x}$ | $\gamma$ | C.V. % |
|---|---|---|---|---|
| ≥ 6000 < 15000 (S1) | 18 | 9.55 | 27.39 | 286.82 |
| ≥ 15000 < 30000 (S2) | 16 | 8.71 | 8.11 | 93.06 |
| ≥ 30000 < 60000 (S3) | 48 | 7.06 | 15.06 | 213.49 |
| ≥ 60000 (S4) | 57 | 4.22 | 1.71 | 40.41 |

Beilage 11a

**Beilage 12**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche U.S.S.
Terrain naturel ( Canton de Genève )
= 25 Essais
Me2/Me1
20
0
0 S1 S2 S3 S4
250 000
Me1 en kN/m²
Me1 pour S1 - Rapport Me2/Me1 moyen = 8.81 sur 22 essais
Me1 pour S2 - Rapport Me2/Me1 moyen = 6.72 sur 66 essais
Me1 pour S3 - Rapport Me2/Me1 moyen = 6.61 sur 96 essais
Me1 pour S4 - Rapport Me2/Me1 moyen = 6.25 sur 109 essais

Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations

806 Mandat de Recherche V.S.S.

Terrain naturel ( Canton de Genève )

| Valeurs Me1 kN/m² | n | $\bar{x}$ | $\gamma$ | C.V. % |
|---|---|---|---|---|
| ≥ 6000 < 15000 (S1) | 22 | 8.81 | 34.48 | 391.47 |
| ≥ 15000 < 30000 (S2) | 66 | 6.72 | 13.59 | 202.15 |
| ≥ 30000 < 60000 (S3) | 96 | 6.61 | 7.20 | 108.96 |
| ≥ 60000 (S4) | 109 | 6.25 | 13.00 | 208.12 |

Beilage 12a

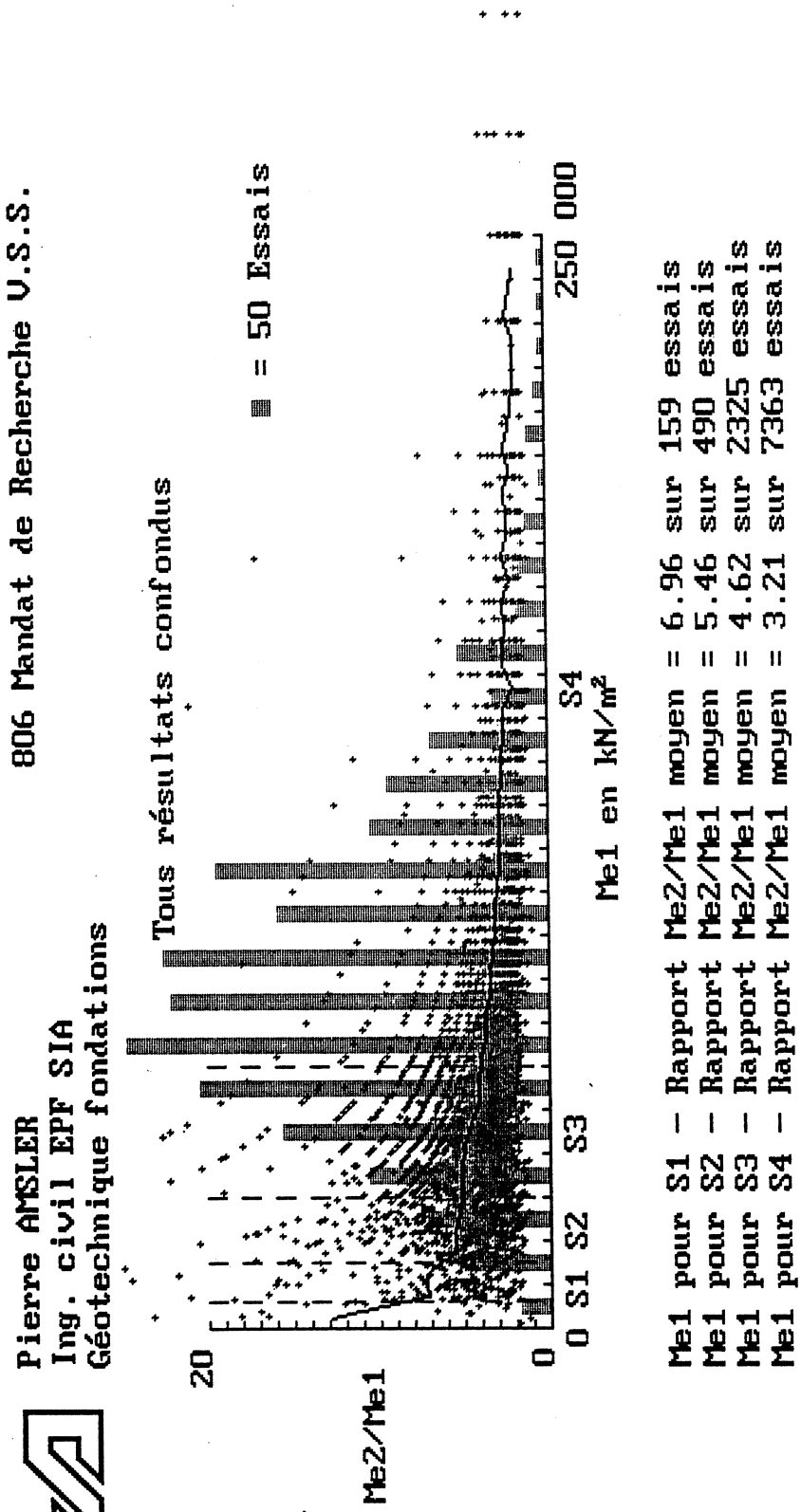
# Anhang 2

**Beilagen 13 bis 14**

**Daten schweizerischer $M_E$ Messungen, zusammengefasst**

| | |
|---|---|
| **Beilage 13** | **Alle Daten in Funktion von $M_{E1}$; Graphik** |
| **Beilage 13a** | **Alle Daten in Funktion von $M_{E1}$; Zusammenstellung** |
| **Beilage 14** | **Alle Daten in Funktion von $M_{E2}$; Graphik** |
| **Beilage 14a** | **Alle Daten in Funktion von $M_{E2}$; Zusammenstellung** |

**Beilage 13**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche U.S.S.
Tous résultats confondus
= 50 Essais
Me2/Me1
20
0
0 S1 S2 S3 S4
250 000
Me1 en kN/m²
Me1 pour S1 - Rapport Me2/Me1 moyen = 6.96 sur 159 essais
Me1 pour S2 - Rapport Me2/Me1 moyen = 5.46 sur 490 essais
Me1 pour S3 - Rapport Me2/Me1 moyen = 4.62 sur 2325 essais
Me1 pour S4 - Rapport Me2/Me1 moyen = 3.21 sur 7363 essais

Beilage 13a

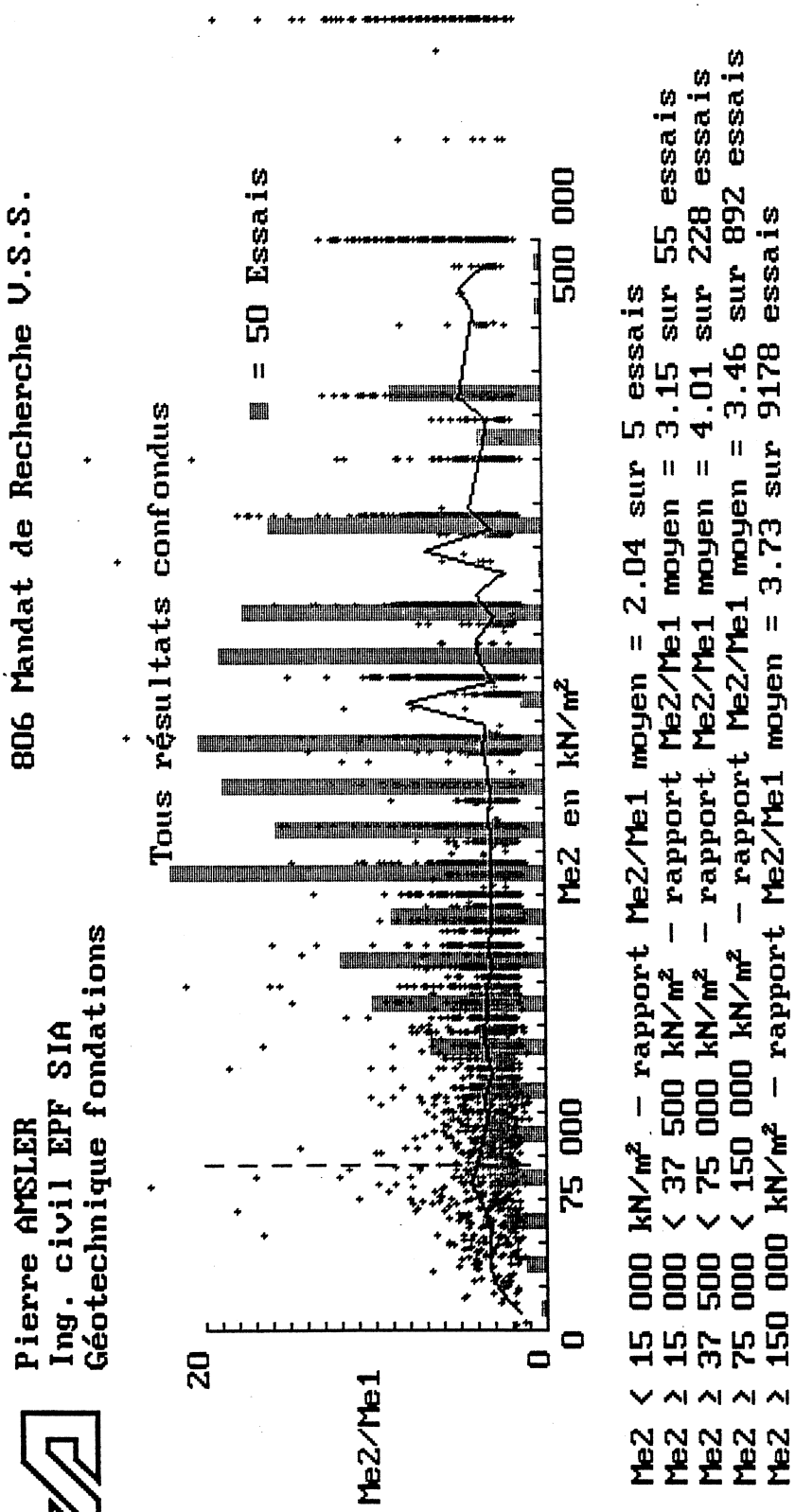
Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations

806 Mandat de Recherche V.S.S.

Tous résultats confondus

| Valeurs Me1 kN/m² | n | $\overline{x}$ | $\gamma$ | C.V. % |
|---|---|---|---|---|
| ≥ 6000 < 15000 (S1) | 159 | 6.96 | 36.18 | 519.64 |
| ≥ 15000 < 30000 (S2) | 490 | 5.46 | 11.67 | 213.89 |
| ≥ 30000 < 60000 (S3) | 2325 | 4.62 | 5.43 | 117.55 |
| ≥ 60000 (S4) | 7363 | 3.21 | 1.72 | 53.59 |

**Beilage 14**


Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations
806 Mandat de Recherche U.S.S.
Tous résultats confondus
= 50 Essais
Me2/Me1
20
0
0
75 000
500 000
Me2 en kN/m²
Me2 < 15 000 kN/m² - rapport Me2/Me1 moyen = 2.04 sur 5 essais
Me2 ≥ 15 000 < 37 500 kN/m² - rapport Me2/Me1 moyen = 3.15 sur 55 essais
Me2 ≥ 37 500 < 75 000 kN/m² - rapport Me2/Me1 moyen = 4.01 sur 228 essais
Me2 ≥ 75 000 < 150 000 kN/m² - rapport Me2/Me1 moyen = 3.46 sur 892 essais
Me2 ≥ 150 000 kN/m² - rapport Me2/Me1 moyen = 3.73 sur 9178 essais

Pierre AMSLER
Ing. civil EPF SIA
Géotechnique fondations

806 Mandat de Recherche V.S.S.

Tous résultats confondus

| Valeurs Me1 kN/m² | n | Me2/Me1 $\bar{x}$ | Me2/Me1 $\gamma$ | C.V. % |
|---|---|---|---|---|
| ≥ 0 < 6000 | 21 | 12.39 | 80.02 | 645.92 |
| ≥ 6000 < 15000 | 159 | 6.96 | 36.18 | 519.64 |
| ≥ 15000 < 30000 | 490 | 5.46 | 11.67 | 213.89 |
| ≥ 30000 < 60000 | 2325 | 4.62 | 5.43 | 117.55 |
| ≥ 60000 | 7363 | 3.21 | 1.72 | 53.59 |

| Valeurs Me2 kN/m² | n | Me2/Me1 $\bar{x}$ | Me2/Me1 $\gamma$ | C.V. % |
|---|---|---|---|---|
| ≥ 0 < 15000 | 5 | 2.04 | 0.19 | 9.44 |
| ≥ 15000 < 37500 | 55 | 3.15 | 1.26 | 40.17 |
| ≥ 37500 < 75000 | 228 | 4.01 | 10.05 | 250.52 |
| ≥ 75000 < 150000 | 892 | 3.46 | 4.47 | 129.42 |
| ≥ 150000 | 9178 | 3.73 | 4.45 | 119.50 |

# Anhang 3

**Beilagen 15 bis 23**

**Messungen auf Gelände des Flughafen Kloten**

| | |
|---|---|
| **Beilage 15** | **Punkt 200 und 200A, numerische Auswertung** |
| **Beilage 15a** | **Punkt 200 und 200A, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 16** | **Punkt 201 und 201A, numerische Auswertung** |
| **Beilage 16a** | **Punkt 201 und 201A, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 17** | **Punkt 208 und 208A, numerische Auswertung** |
| **Beilage 17a** | **Punkt 208 und 208A, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 18** | **Punkt 209 und 209A, numerische Auswertung** |
| **Beilage 18a** | **Punkt 209 und 209A, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 19** | **Punkt 211 und 211A, numerische Auswertung** |
| **Beilage 19a** | **Punkt 211 und 211A, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 20** | **Punkt 222 und 222A, numerische Auswertung** |
| **Beilage 20a** | **Punkt 222 und 222A, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 21** | **Punkt 223 und 223A, numerische Auswertung** |
| **Beilage 21a** | **Punkt 223 und 223A, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 22** | **Punkt 224 und 224A, numerische Auswertung** |
| **Beilage 22a** | **Punkt 224 und 224A, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 23** | **Punkt 225 und 225A, numerische Auswertung** |
| **Beilage 23a** | **Punkt 225 und 225A, Belastungs-Setzungskurven** |

| Plattenversuch gemäss SN 670 317 und gemäss DIN 18 134 | | ETH Zürich IVT/IGT , Strassenbau |
|---|---|---|

Versuch: Airport Kloten, SLS Hangar

Versuchspunkt: Punkte 200 und 200 A

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | ### | 0.15 | | 0.68 | | 1.06 | 1.36 | | 1.14 | | 1.26 | 1.33 | |
| | Δs (mm) | | | | 0.39 | | | | | | | | 0.08 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***77922*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 5.13

***ME2=*** ***400000*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| | s (mm) | 0.00 | 0.28 | 0.59 | 0.86 | 1.08 | 1.32 | 1.44 | 1.34 | 1.39 | 1.44 | 1.48 | 1.52 | 1.57 |
| 0,3 >< 0.7 p | Δs (mm) | | 0.62 | | | | | | 0.10 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 1.53 | 1.49 | 1.43 |
| | | |

***EV1=*** ***72581*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 5.35

***EV2=*** ***388024*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

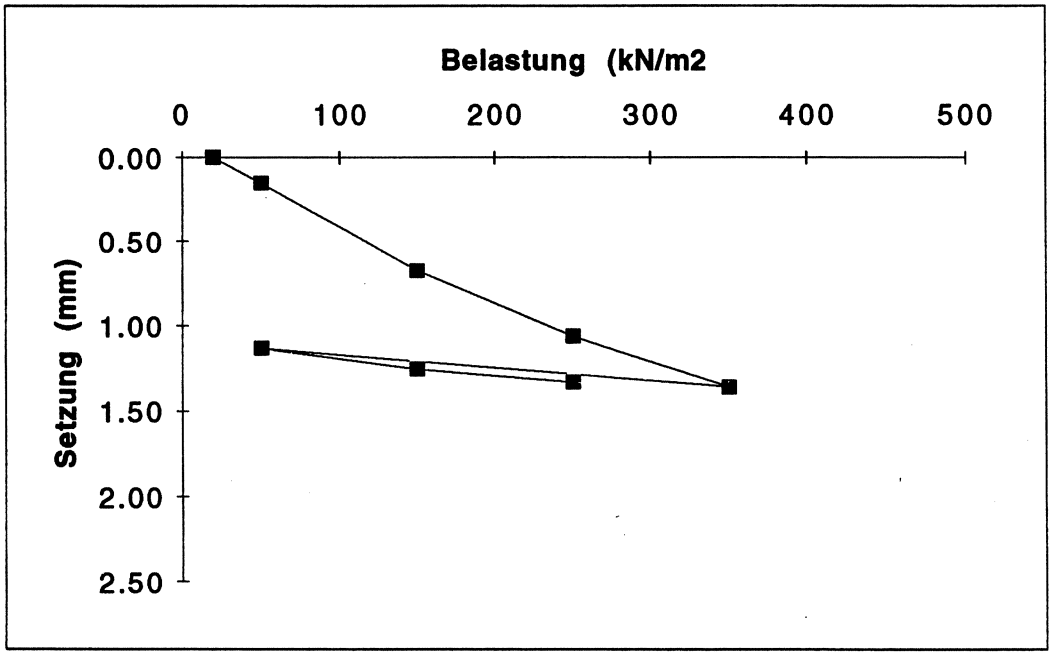
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.14 | 0.42 | | 0.28 |
| 160 | 0.30 | 0.87 | | 0.59 |
| 240 | 0.45 | 1.26 | | 0.86 |
| 320 | 0.57 | 1.58 | | 1.08 |
| 400 | 0.73 | 1.91 | | 1.32 |
| 450 | 0.80 | 2.08 | | 1.44 |
| 500 | 0.86 | 2.18 | | 1.52 |
| 250 | 0.83 | 2.22 | | 1.53 |
| 120 | 0.75 | 2.22 | | 1.49 |
| 20 | 0.65 | 2.21 | | 1.43 |
| 80 | 0.66 | 2.01 | | 1.34 |
| 160 | 0.71 | 2.07 | | 1.39 |
| 240 | 0.75 | 2.12 | | 1.44 |
| 320 | 0.80 | 2.16 | | 1.48 |
| 400 | 0.85 | 2.19 | | 1.52 |
| 450 | 0.88 | 2.26 | | 1.57 |

SN 670 317

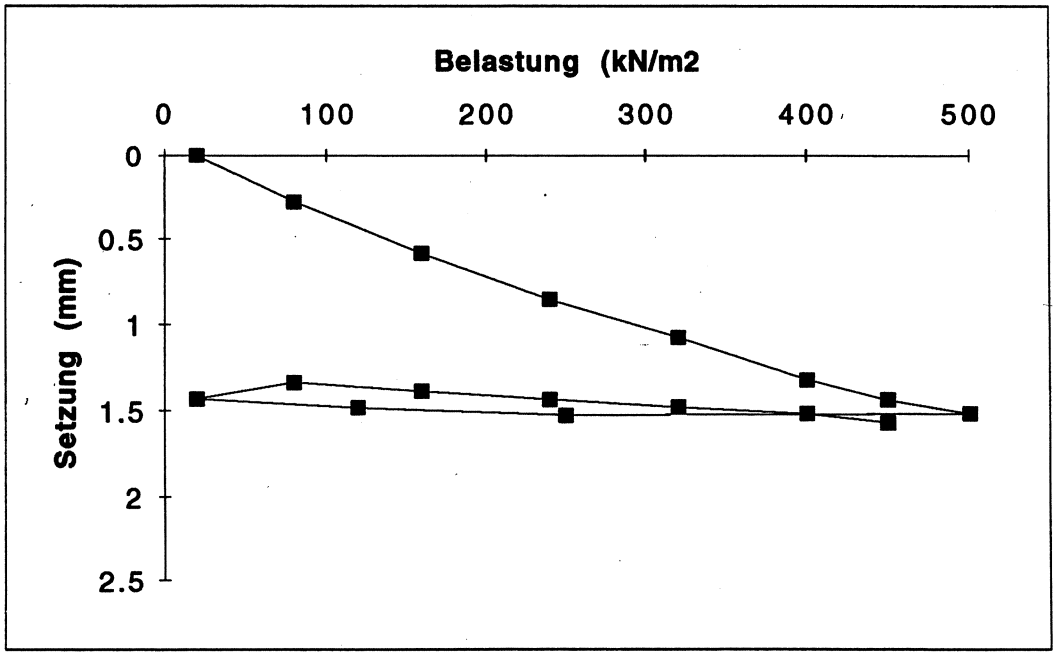
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | | | | #### |
| 50 | 0.10 | 0.20 | | 0.15 |
| 150 | 0.51 | 0.84 | | 0.68 |
| 250 | 0.76 | 1.36 | | 1.06 |
| 350 | 0.95 | 1.77 | | 1.36 |
| 50 | 0.77 | 1.50 | | 1.14 |
| 150 | 0.84 | 1.67 | | 1.26 |
| 250 | 0.91 | 1.75 | | 1.33 |

**Beilage 15a**

SN 670 317




DIN 18134



| | | |
|---|---|---|
| Plattenversuch gemäss SN 670 317<br>und gemäss DIN 18 134 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |

Versuch: Airport Kloten, SLS Hangar Datum Versuch: ###

Versuchspunkt: Punkte 201 und 201 A Operator: Bra

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | ### | 0.18 | | 0.66 | | 1.06 | 1.36 | | 1.15 | | 1.26 | 1.33 | |
| | Δs (mm) | | | | 0.40 | | | | | | | | 0.07 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***75949*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 5.64

***ME2=*** ***428571*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| | s (mm) | 0.00 | 0.19 | 0.42 | 0.64 | 0.82 | 1.00 | 1.09 | 0.97 | 1.02 | 1.06 | 1.10 | 1.15 | 1.18 |
| 0,3 >< 0.7 p | Δs (mm) | | 0.49 | | | | | | 0.09 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 1.13 | 1.05 | 0.96 |
| | | |

***EV1=*** ***91603*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 4.83

***EV2=*** ***442321*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

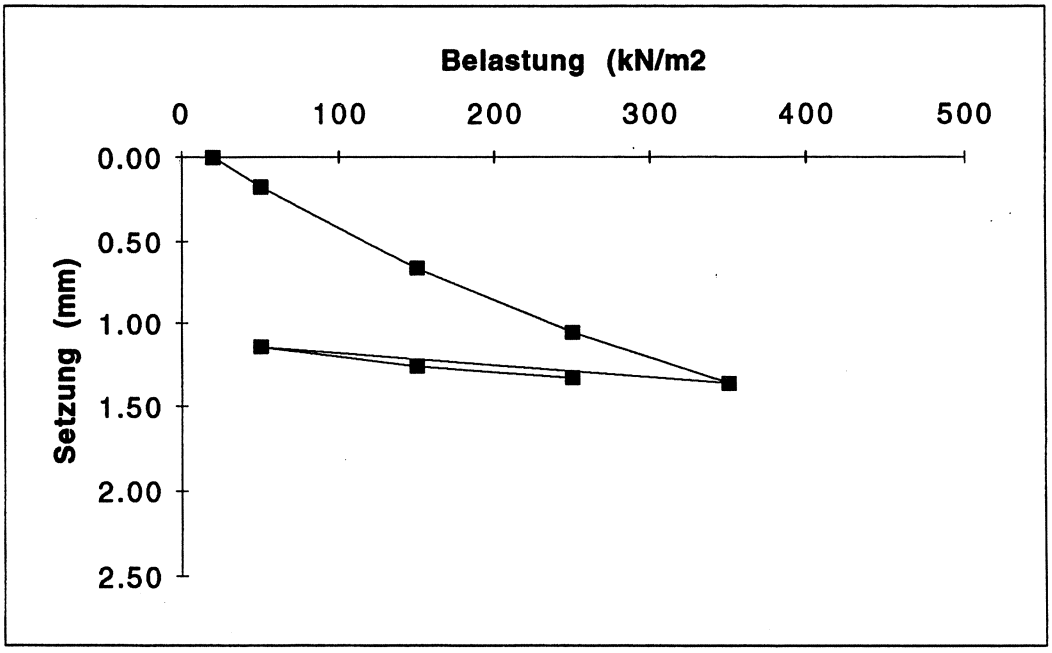
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.21 | 0.17 | | 0.19 |
| 160 | 0.45 | 0.39 | | 0.42 |
| 240 | 0.69 | 0.59 | | 0.64 |
| 320 | 0.87 | 0.76 | | 0.82 |
| 400 | 1.05 | 0.94 | | 1.00 |
| 450 | 1.14 | 1.03 | | 1.09 |
| 500 | 1.21 | 1.10 | | 1.16 |
| 250 | 1.19 | 1.06 | | 1.13 |
| 120 | 1.12 | 0.98 | | 1.05 |
| 20 | 1.03 | 0.89 | | 0.96 |
| 80 | 1.04 | 0.90 | | 0.97 |
| 160 | 1.08 | 0.95 | | 1.02 |
| 240 | 1.12 | 0.99 | | 1.06 |
| 320 | 1.16 | 1.03 | | 1.10 |
| 400 | 1.22 | 1.08 | | 1.15 |
| 450 | 1.25 | 1.10 | | 1.18 |

SN 670 317

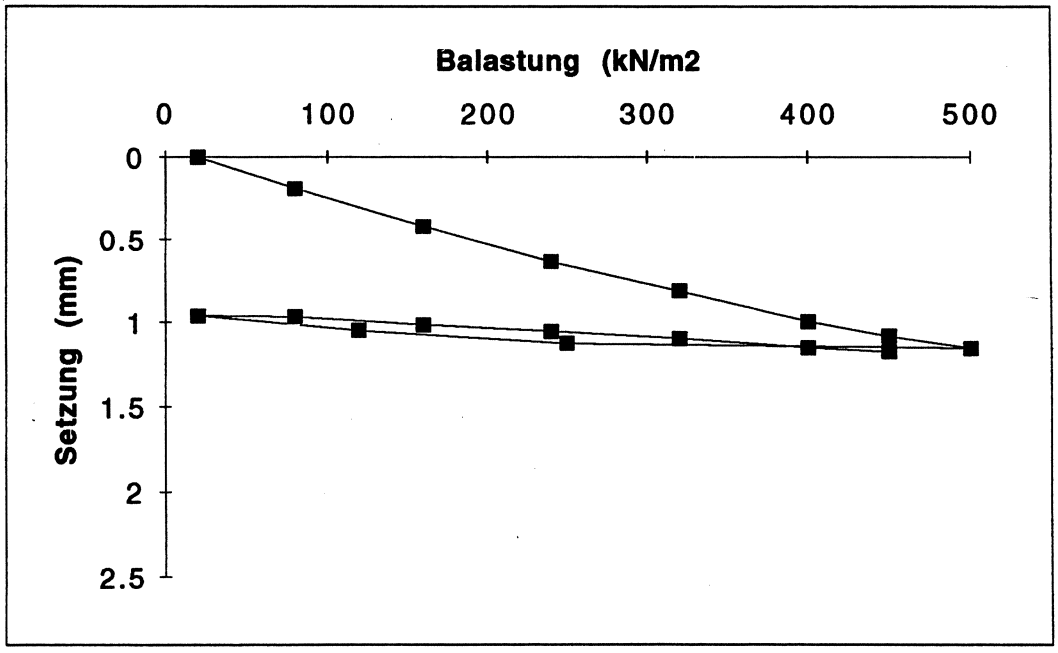
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | | | | #### |
| 50 | 0.25 | 0.10 | | 0.18 |
| 150 | 0.88 | 0.44 | | 0.66 |
| 250 | 1.41 | 0.70 | | 1.06 |
| 350 | 1.77 | 0.95 | | 1.36 |
| 50 | 1.50 | 0.79 | | 1.15 |
| 150 | 1.67 | 0.85 | | 1.26 |
| 250 | 1.74 | 0.92 | | 1.33 |

**Beilage 16a**

SN 670 317




DIN 18134



| | | |
|---|---|---|
| Plattenversuch gemäss SN 670 317<br>und gemäss DIN 18 134 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |

Versuch: Airport Kloten, SLS Hangar Datum Versuch: ###

Versuchspunkt: Punkte 208 und 208 A Operator: Bra

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | ### | 0.10 | | 0.34 | | 0.55 | 0.75 | | 0.66 | | 0.69 | 0.73 | |
| | Δs (mm) | | | | 0.21 | | | | | | | | 0.04 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***142857*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 5.25

***ME2=*** ***750000*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| | s (mm) | 0.00 | 0.13 | 0.31 | 0.47 | 0.60 | 0.72 | 0.80 | 0.73 | 0.76 | 0.80 | 0.83 | 0.87 | 0.89 |
| 0,3 >< 0.7 p | Δs (mm) | | 0.35 | | | | | | 0.08 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 0.86 | 0.80 | 0.72 |
| | | |

***EV1=*** ***127660*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 3.92

***EV2=*** ***500386*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

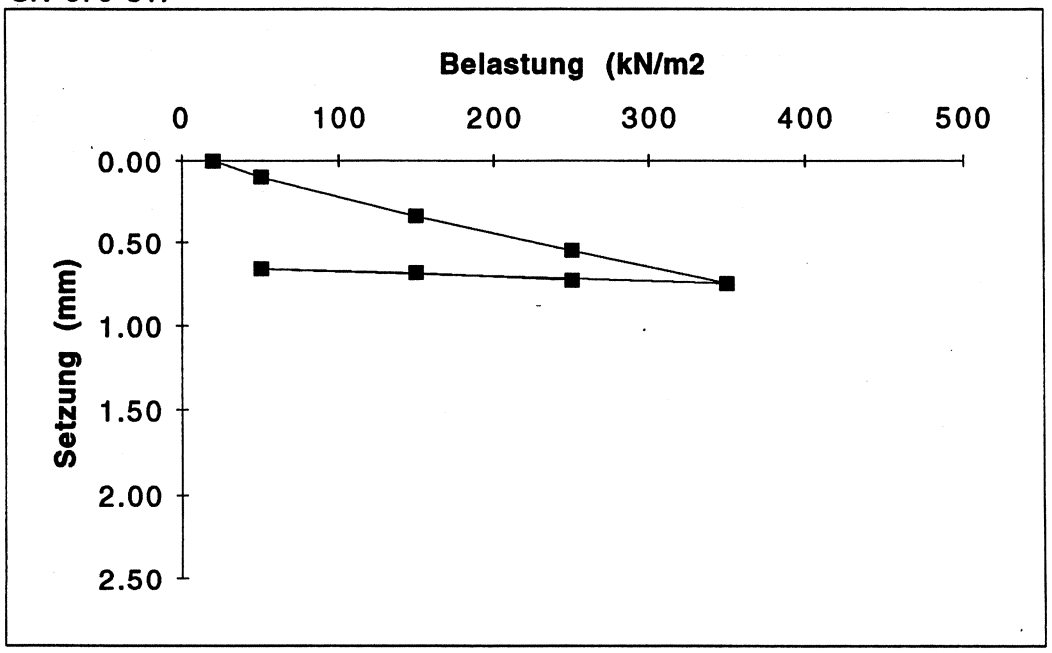
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.17 | 0.09 | | 0.13 |
| 160 | 0.39 | 0.23 | | 0.31 |
| 240 | 0.58 | 0.35 | | 0.47 |
| 320 | 0.73 | 0.46 | | 0.60 |
| 400 | 0.86 | 0.57 | | 0.72 |
| 450 | 0.95 | 0.65 | | 0.80 |
| 500 | 1.08 | 0.72 | | 0.90 |
| 250 | 1.01 | 0.70 | | 0.86 |
| 120 | 0.95 | 0.65 | | 0.80 |
| 20 | 0.87 | 0.57 | | 0.72 |
| 80 | 0.88 | 0.58 | | 0.73 |
| 160 | 0.91 | 0.60 | | 0.76 |
| 240 | 0.95 | 0.65 | | 0.80 |
| 320 | 0.98 | 0.68 | | 0.83 |
| 400 | 1.02 | 0.72 | | 0.87 |
| 450 | 1.04 | 0.74 | | 0.89 |

SN 670 317

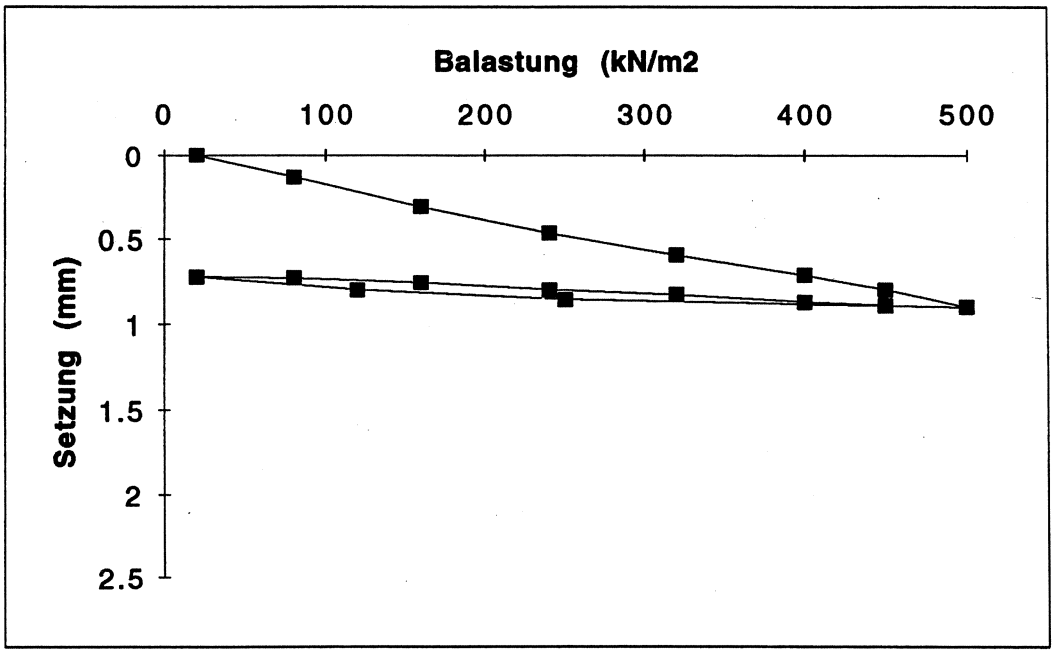
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | | | | #### |
| 50 | 0.08 | 0.12 | | 0.10 |
| 150 | 0.29 | 0.39 | | 0.34 |
| 250 | 0.51 | 0.59 | | 0.55 |
| 350 | 0.69 | 0.80 | | 0.75 |
| 50 | 0.60 | 0.72 | | 0.66 |
| 150 | 0.63 | 0.74 | | 0.69 |
| 250 | 0.67 | 0.78 | | 0.73 |

**Beilage 17a**

SN 670 317




DIN 18134



| | | |
|---|---|---|
| Plattenversuch gemäss SN 670 317<br>und gemäss DIN 18 134 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |

Versuch: Airport Kloten, SLS Hangar — Datum Versuch: ###

Versuchspunkt: Punkte 209 und 209 A — Operator: Bra

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | ### | 0.06 | | 0.36 | | 0.59 | 0.78 | | 0.67 | | 0.72 | 0.76 | |
| | Δs (mm) | | | | 0.23 | | | | | | | | 0.04 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***130435*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 5.11

***ME2=*** ***666667*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| 0,3 >< 0.7 p | s (mm) | 0.00 | 0.12 | 0.34 | 0.54 | 0.69 | 0.85 | 0.93 | 0.85 | 0.89 | 0.94 | 0.97 | 1.02 | 1.06 |
| | Δs (mm) | | 0.44 | | | | | | 0.09 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 0.98 | 0.91 | 0.84 |
| | | |

***EV1=*** ***102857*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 4.27

***EV2=*** ***439322*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

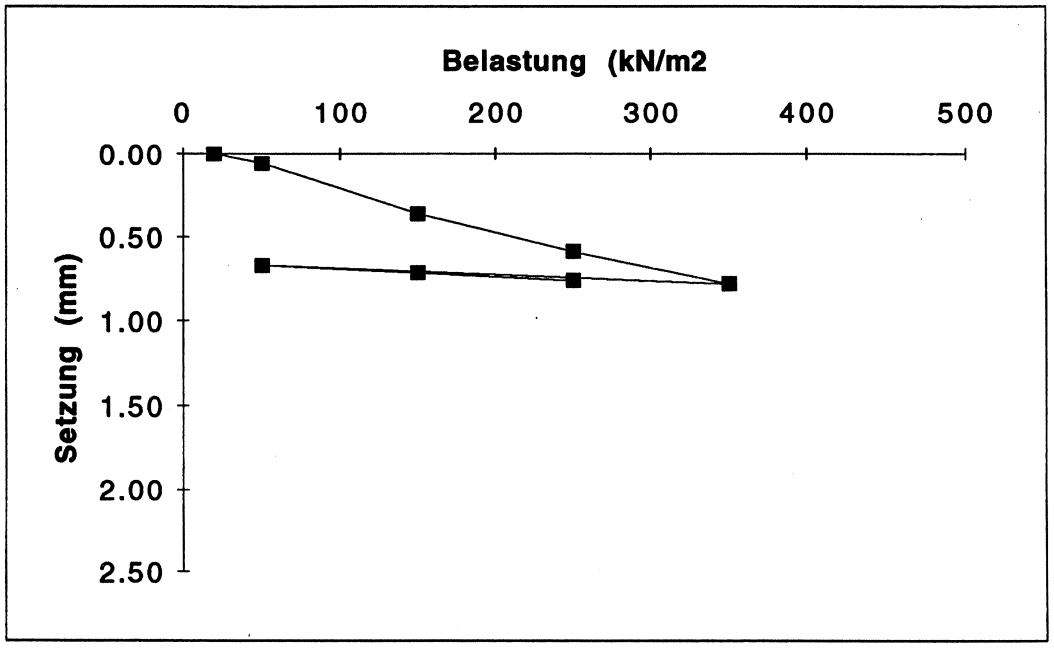
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.12 | 0.11 | | 0.12 |
| 160 | 0.34 | 0.33 | | 0.34 |
| 240 | 0.53 | 0.54 | | 0.54 |
| 320 | 0.68 | 0.69 | | 0.69 |
| 400 | 0.84 | 0.85 | | 0.85 |
| 450 | 0.92 | 0.94 | | 0.93 |
| 500 | 0.99 | 1.02 | | 1.01 |
| 250 | 0.98 | 0.98 | | 0.98 |
| 120 | 0.91 | 0.91 | | 0.91 |
| 20 | 0.83 | 0.84 | | 0.84 |
| 80 | 0.84 | 0.85 | | 0.85 |
| 160 | 0.89 | 0.89 | | 0.89 |
| 240 | 0.94 | 0.94 | | 0.94 |
| 320 | 0.97 | 0.97 | | 0.97 |
| 400 | 1.01 | 1.02 | | 1.02 |
| 450 | 1.05 | 1.06 | | 1.06 |

SN 670 317

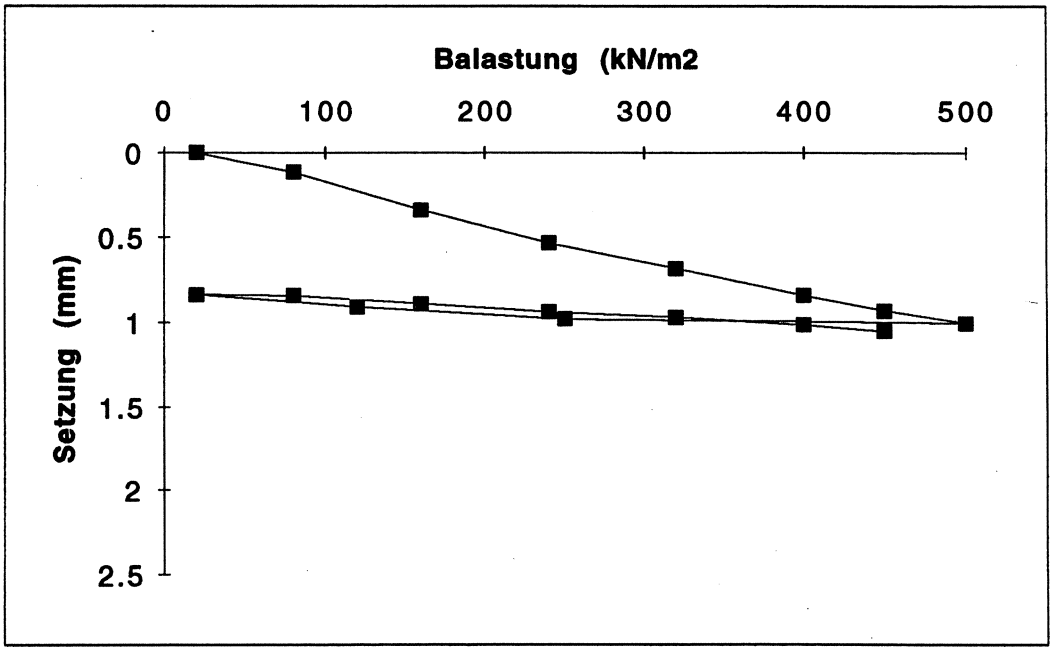
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | | | | #### |
| 50 | 0.07 | 0.05 | | 0.06 |
| 150 | 0.40 | 0.32 | | 0.36 |
| 250 | 0.64 | 0.54 | | 0.59 |
| 350 | 0.86 | 0.70 | | 0.78 |
| 50 | 0.75 | 0.59 | | 0.67 |
| 150 | 0.79 | 0.64 | | 0.72 |
| 250 | 0.84 | 0.68 | | 0.76 |

**Beilage 18a**

SN 670 317




DIN 18134



| | | |
|---|---|---|
| Plattenversuch gemäss SN 670 317<br>und gemäss DIN 18 134 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |

Versuch: Airport Kloten, SLS Hangar Datum Versuch: ###

Versuchspunkt: Punkte 211 und 211 A Operator: Bra

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | ### | 0.07 | | 0.49 | | 0.76 | 1.03 | | 0.96 | | 0.97 | 1.00 | |
| | Δs (mm) | | | | 0.28 | | | | | | | | 0.03 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***109091*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 9.17

***ME2=*** ***1000000*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| | s (mm) | 0.00 | 0.20 | 0.59 | 0.84 | 1.08 | 1.28 | 1.39 | 1.37 | 1.38 | 1.42 | 1.45 | 1.51 | 1.55 |
| 0,3 >< 0.7 p | Δs (mm) | | 0.61 | | | | | | 0.07 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 1.48 | 1.41 | 1.36 |
| | | |

***EV1=*** ***73922*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 7.56

***EV2=*** ***558621*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

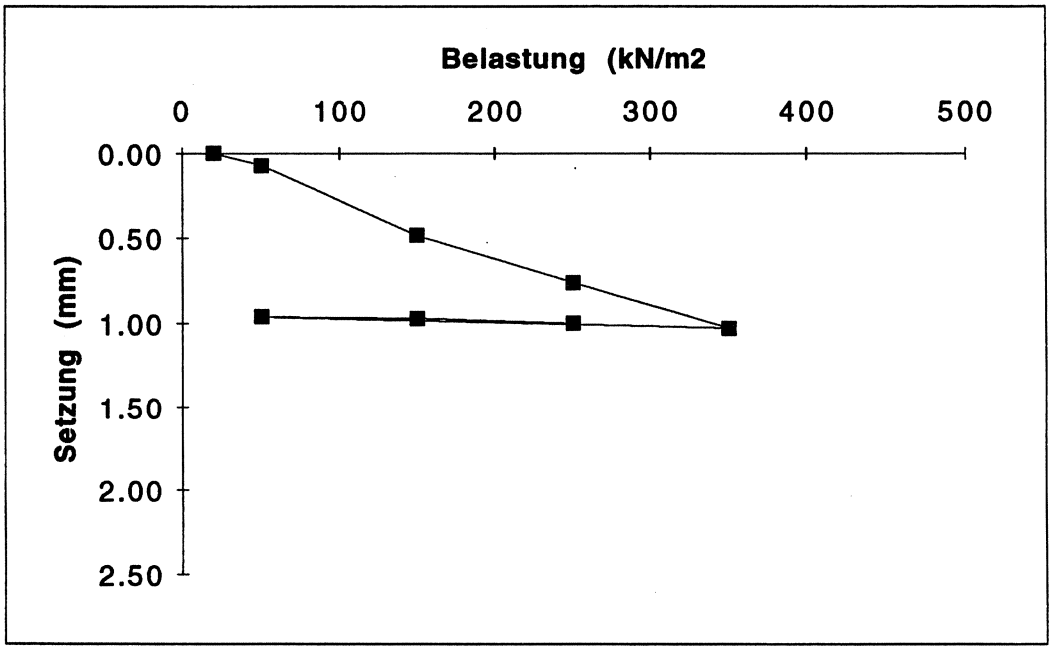
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.18 | 0.22 | | 0.20 |
| 160 | 0.60 | 0.58 | | 0.59 |
| 240 | 0.83 | 0.84 | | 0.84 |
| 320 | 1.07 | 1.08 | | 1.08 |
| 400 | 1.24 | 1.31 | | 1.28 |
| 450 | 1.36 | 1.42 | | 1.39 |
| 500 | 1.48 | 1.53 | | 1.51 |
| 250 | 1.45 | 1.50 | | 1.48 |
| 120 | 1.38 | 1.43 | | 1.41 |
| 20 | 1.38 | 1.34 | | 1.36 |
| 80 | 1.38 | 1.35 | | 1.37 |
| 160 | 1.38 | 1.38 | | 1.38 |
| 240 | 1.40 | 1.43 | | 1.42 |
| 320 | 1.44 | 1.46 | | 1.45 |
| 400 | 1.50 | 1.52 | | 1.51 |
| 450 | 1.53 | 1.56 | | 1.55 |

SN 670 317

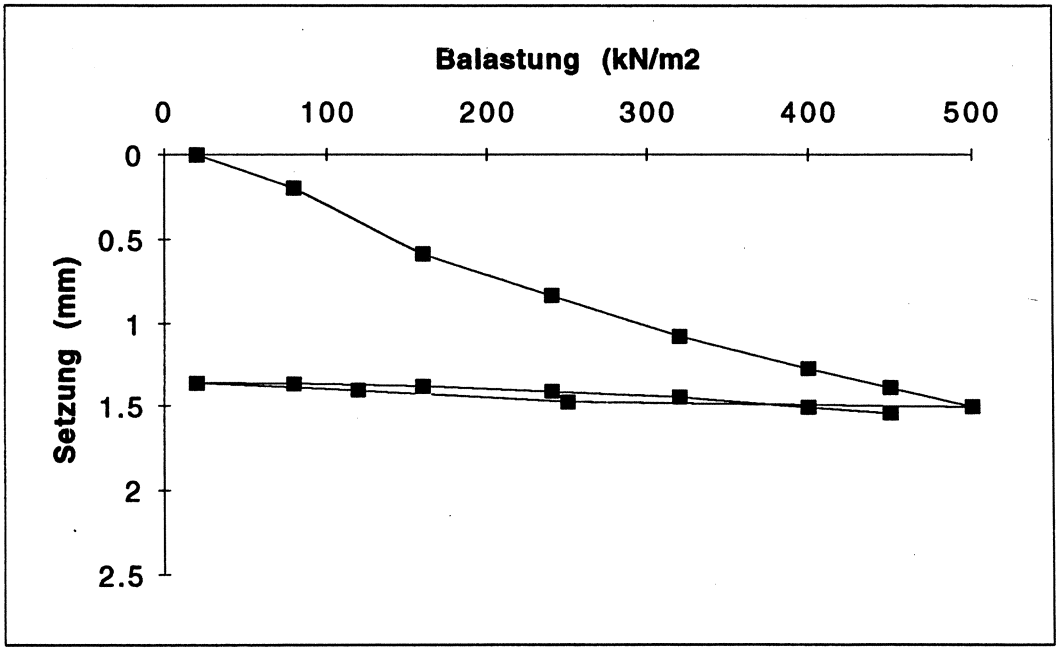
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | | | | #### |
| 50 | 0.02 | 0.12 | | 0.07 |
| 150 | 0.28 | 0.69 | | 0.49 |
| 250 | 0.45 | 1.07 | | 0.76 |
| 350 | 0.62 | 1.43 | | 1.03 |
| 50 | 0.55 | 1.37 | | 0.96 |
| 150 | 0.57 | 1.37 | | 0.97 |
| 250 | 0.62 | 1.38 | | 1.00 |

**Beilage 19a**

SN 670 317




DIN 18134



| | | |
|---|---|---|
| Plattenversuch gemäss SN 670 317<br>und gemäss DIN 18 134 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |

Versuch: Airport Kloten, SLS Hangar — Datum Versuch: ###

Versuchspunkt: Punkte 222 und 222 A — Operator: Bra

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | ### | 0.10 | | 0.59 | | 1.01 | 1.35 | | 1.06 | | 1.15 | 1.25 | |
| | Δs (mm) | | | | 0.43 | | | | | | | | 0.10 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***70588*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 4.47

***ME2=*** ***315789*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| | s (mm) | 0.00 | 0.46 | 0.88 | 1.39 | 1.75 | 2.15 | 2.32 | 2.18 | 2.22 | 2.28 | 2.35 | 2.48 | 2.56 |
| 0,3 >< 0.7 p | Δs (mm) | | 1.07 | | | | | | 0.14 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 2.41 | 2.33 | 2.16 |
| | | |

***EV1=*** ***41885*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 7.16

***EV2=*** ***300000*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

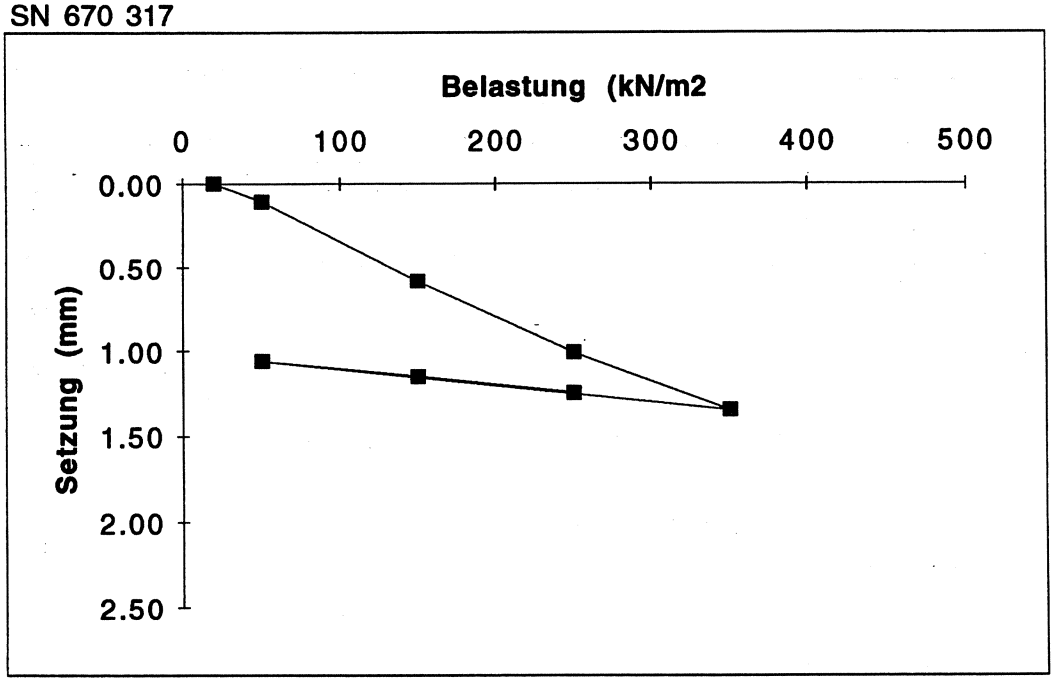
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.45 | 0.46 | | 0.46 |
| 160 | 0.84 | 0.91 | | 0.88 |
| 240 | 1.38 | 1.39 | | 1.39 |
| 320 | 1.76 | 1.73 | | 1.75 |
| 400 | 2.16 | 2.14 | | 2.15 |
| 450 | 2.35 | 2.29 | | 2.32 |
| 500 | 2.52 | 2.48 | | 2.50 |
| 250 | 2.42 | 2.39 | | 2.41 |
| 120 | 2.27 | 2.38 | | 2.33 |
| 20 | 2.10 | 2.22 | | 2.16 |
| 80 | 2.13 | 2.22 | | 2.18 |
| 160 | 2.22 | 2.22 | | 2.22 |
| 240 | 2.32 | 2.24 | | 2.28 |
| 320 | 2.39 | 2.30 | | 2.35 |
| 400 | 2.50 | 2.45 | | 2.48 |
| 450 | 2.58 | 2.53 | | 2.56 |

SN 670 317

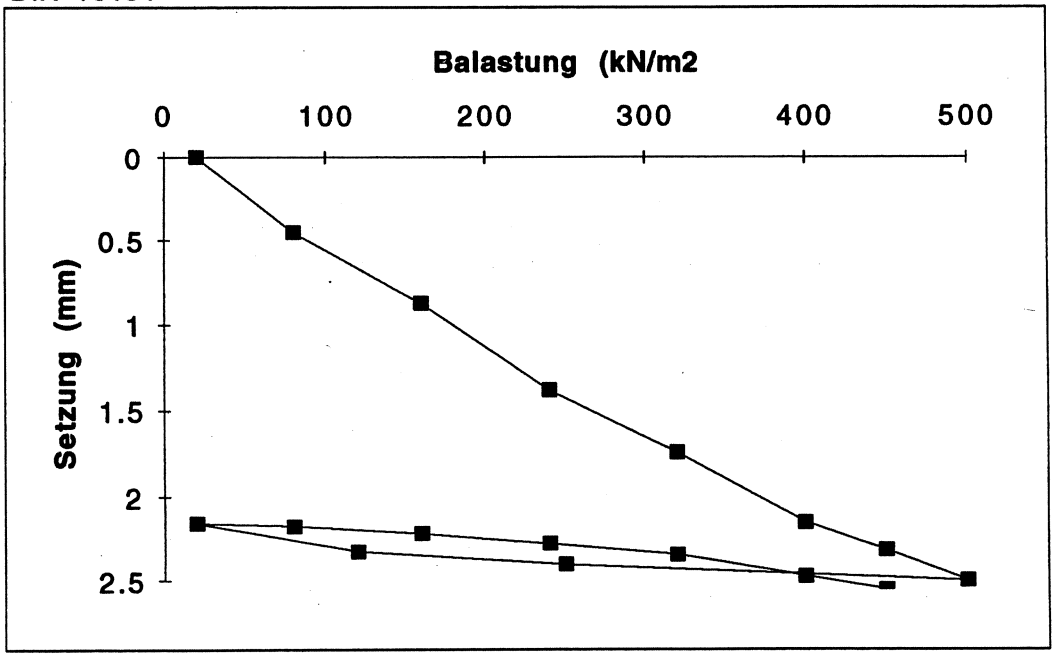
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | | | | #### |
| 50 | 0.12 | 0.08 | | 0.10 |
| 150 | 0.59 | 0.58 | | 0.59 |
| 250 | 1.04 | 0.98 | | 1.01 |
| 350 | 1.40 | 1.29 | | 1.35 |
| 50 | 1.10 | 1.02 | | 1.06 |
| 150 | 1.19 | 1.11 | | 1.15 |
| 250 | 1.30 | 1.19 | | 1.25 |

**Beilage 20a**

SN 670 317




DIN 18134



| | | |
|---|---|---|
| Plattenversuch gemäss SN 670 317<br>und gemäss DIN 18 134 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |

Versuch: Airport Kloten, SLS Hangar — Datum Versuch: ###

Versuchspunkt: Punkte 223 und 223 A — Operator: Bra

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | ### | 0.10 | | 0.41 | | 0.68 | 0.90 | | 0.73 | | 0.78 | 0.86 | |
| | Δs (mm) | | | | 0.27 | | | | | | | | 0.08 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***111111*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 3.38

***ME2=*** ***375000*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| | s (mm) | 0.00 | 0.23 | 0.55 | 0.85 | 1.08 | 1.33 | 1.49 | 1.33 | 1.39 | 1.45 | 1.50 | 1.57 | 1.62 |
| 0,3 >< 0.7 p | Δs (mm) | | 0.66 | | | | | | 0.13 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 1.53 | 1.43 | 1.32 |
| | | |

***EV1=*** ***67925*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 4.58

***EV2=*** ***310791*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

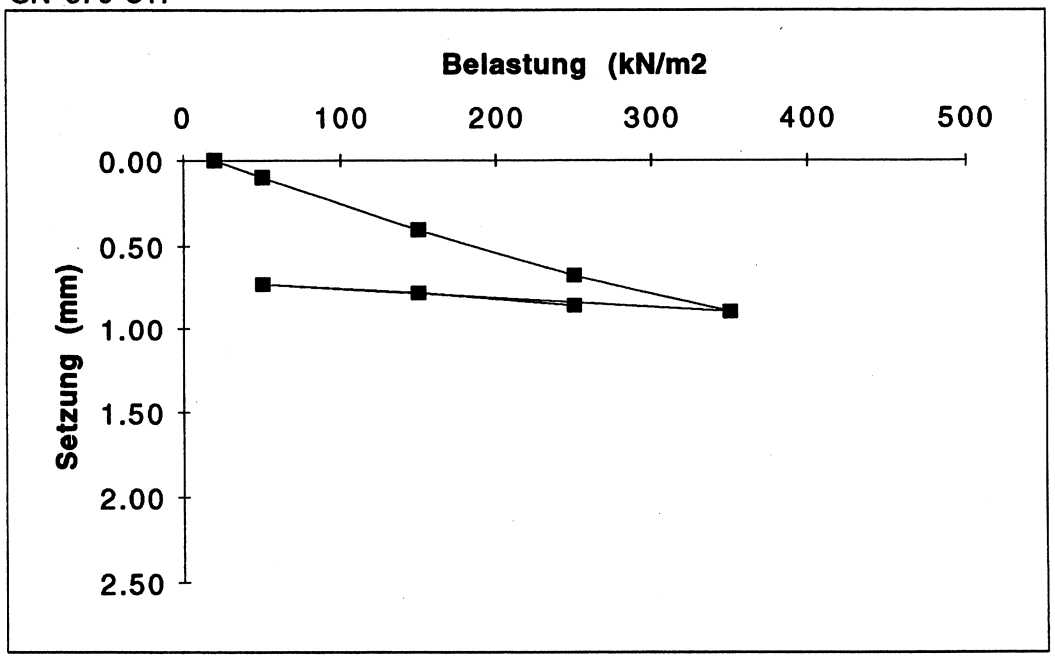
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.24 | 0.21 | | 0.23 |
| 160 | 0.62 | 0.48 | | 0.55 |
| 240 | 0.95 | 0.75 | | 0.85 |
| 320 | 1.19 | 0.97 | | 1.08 |
| 400 | 1.48 | 1.17 | | 1.33 |
| 450 | 1.67 | 1.31 | | 1.49 |
| 500 | 1.78 | 1.40 | | 1.59 |
| 250 | 1.71 | 1.35 | | 1.53 |
| 120 | 1.61 | 1.25 | | 1.43 |
| 20 | 1.50 | 1.14 | | 1.32 |
| 80 | 1.51 | 1.14 | | 1.33 |
| 160 | 1.57 | 1.20 | | 1.39 |
| 240 | 1.63 | 1.26 | | 1.45 |
| 320 | 1.69 | 1.31 | | 1.50 |
| 400 | 1.76 | 1.38 | | 1.57 |
| 450 | 1.81 | 1.43 | | 1.62 |

SN 670 317

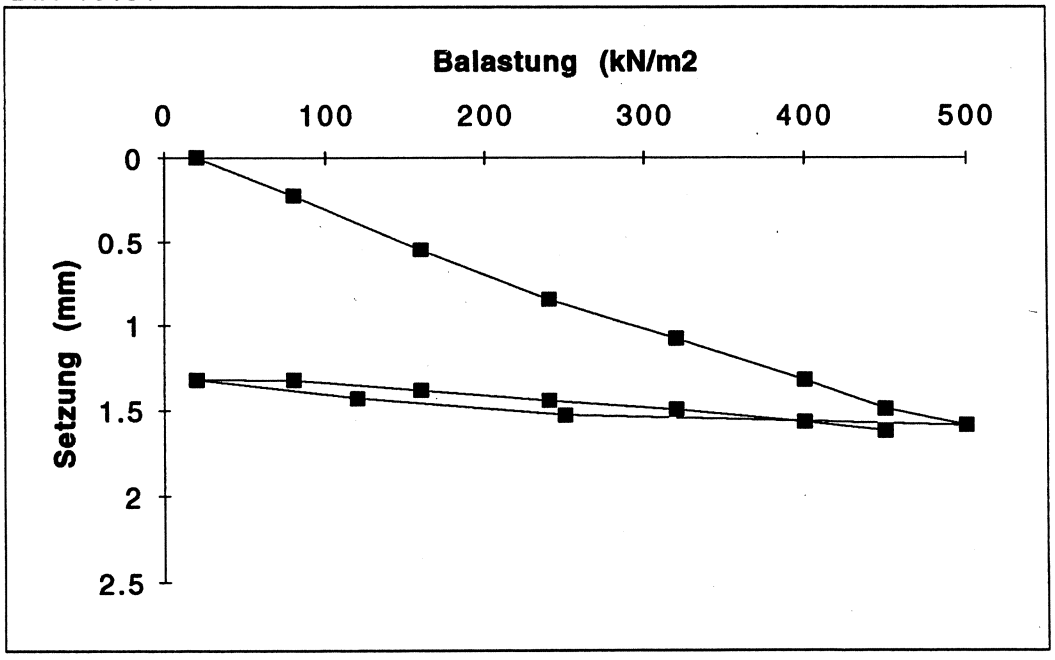
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | | | | #### |
| 50 | 0.07 | 0.13 | | 0.10 |
| 150 | 0.32 | 0.49 | | 0.41 |
| 250 | 0.54 | 0.81 | | 0.68 |
| 350 | 0.71 | 1.08 | | 0.90 |
| 50 | 0.58 | 0.88 | | 0.73 |
| 150 | 0.62 | 0.94 | | 0.78 |
| 250 | 0.69 | 1.03 | | 0.86 |

**Beilage 21a**

SN 670 317




DIN 18134



| | | |
|---|---|---|
| Plattenversuch gemäss SN 670 317<br>und gemäss DIN 18 134 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |

Versuch: Airport Kloten, SLS Hangar — Datum Versuch: ###

Versuchspunkt: Punkte 224 und 224 A — Operator: Bra

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | ### | 0.20 | | 0.88 | | 1.40 | 1.88 | | 1.65 | | 1.73 | 1.81 | |
| | Δs (mm) | | | | 0.53 | | | | | | | | 0.08 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***57143*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 6.56

***ME2=*** ***375000*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| | s (mm) | 0.00 | 0.21 | 0.54 | 0.83 | 1.09 | 1.32 | 1.46 | 1.36 | 1.40 | 1.44 | 1.51 | 1.58 | 1.63 |
| 0,3 >< 0.7 p | Δs (mm) | | 0.68 | | | | | | 0.12 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 1.53 | 1.41 | 1.35 |
| | | |

***EV1=*** ***65995*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 5.26

***EV2=*** ***347453*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

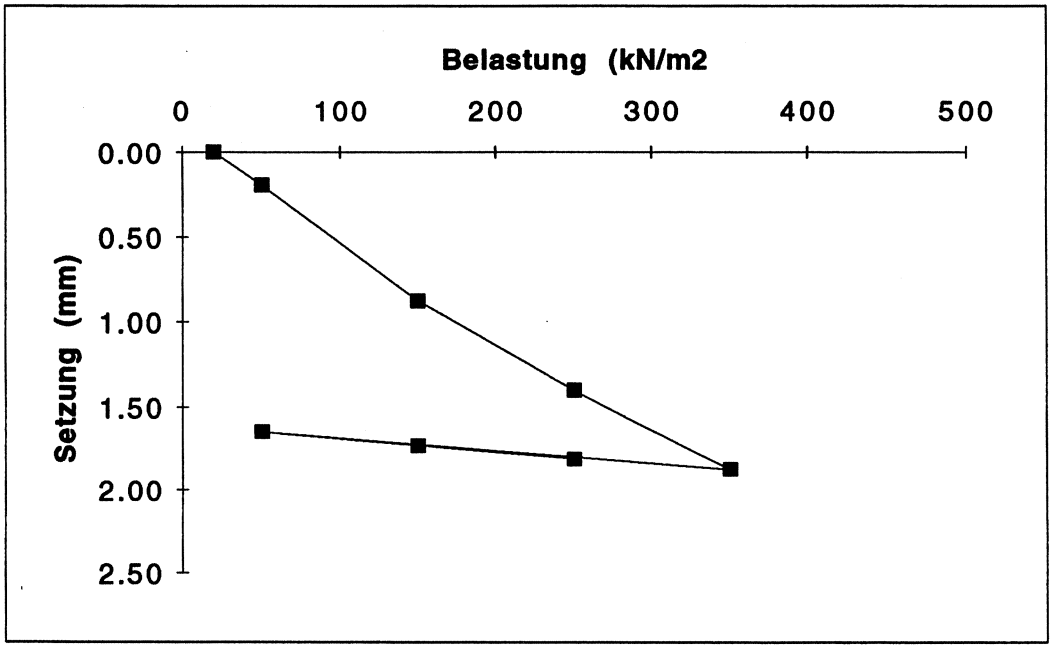
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.19 | 0.23 | | 0.21 |
| 160 | 0.51 | 0.56 | | 0.54 |
| 240 | 0.78 | 0.88 | | 0.83 |
| 320 | 1.04 | 1.14 | | 1.09 |
| 400 | 1.25 | 1.39 | | 1.32 |
| 450 | 1.39 | 1.52 | | 1.46 |
| 500 | 1.59 | 1.65 | | 1.62 |
| 250 | 1.49 | 1.56 | | 1.53 |
| 120 | 1.39 | 1.43 | | 1.41 |
| 20 | 1.39 | 1.30 | | 1.35 |
| 80 | 1.39 | 1.33 | | 1.36 |
| 160 | 1.39 | 1.40 | | 1.40 |
| 240 | 1.39 | 1.48 | | 1.44 |
| 320 | 1.47 | 1.54 | | 1.51 |
| 400 | 1.55 | 1.61 | | 1.58 |
| 450 | 1.60 | 1.66 | | 1.63 |

SN 670 317

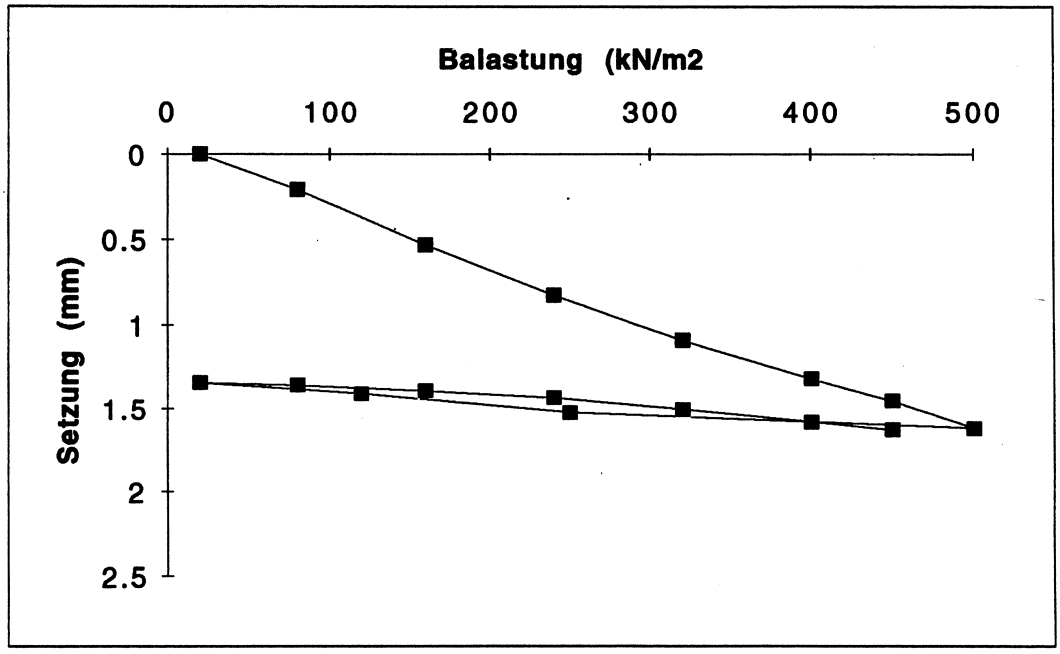
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | | | | #### |
| 50 | 0.23 | 0.16 | | 0.20 |
| 150 | 1.00 | 0.75 | | 0.88 |
| 250 | 1.59 | 1.21 | | 1.40 |
| 350 | 2.09 | 1.66 | | 1.88 |
| 50 | 1.88 | 1.42 | | 1.65 |
| 150 | 1.95 | 1.51 | | 1.73 |
| 250 | 2.03 | 1.59 | | 1.81 |

**Beilage 22a**

SN 670 317




DIN 18134



| | | |
|---|---|---|
| Plattenversuch gemäss SN 670 317<br>und gemäss DIN 18 134 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |

Versuch: Airport Kloten, SLS Hangar — Datum Versuch: ###

Versuchspunkt: Punkte 225 und 225 A — Operator: Bra

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | ### | 0.11 | | 0.55 | | 0.90 | 1.26 | | 1.07 | | 1.13 | 1.20 | |
| | Δs (mm) | | | | 0.35 | | | | | | | | 0.08 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***85714*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 4.67

***ME2=*** ***400000*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| 0,3 >< 0.7 p | s (mm) | 0.00 | 0.14 | 0.54 | 0.93 | 1.25 | 1.56 | 1.76 | 1.59 | 1.66 | 1.73 | 1.80 | 1.89 | 1.96 |
| | Δs (mm) | | 0.88 | | | | | | 0.16 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 1.83 | 1.70 | 1.57 |
| | | |

***EV1=*** ***51282*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 4.86

***EV2=*** ***249231*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

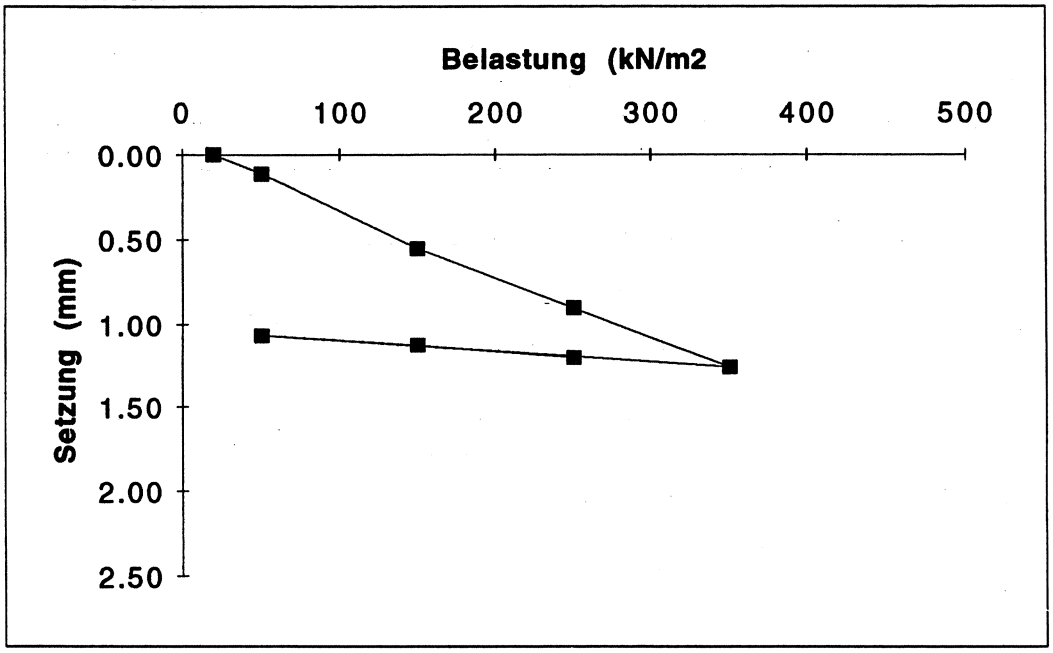
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.13 | 0.15 | | 0.14 |
| 160 | 0.57 | 0.50 | | 0.54 |
| 240 | 0.99 | 0.87 | | 0.93 |
| 320 | 1.32 | 1.17 | | 1.25 |
| 400 | 1.66 | 1.46 | | 1.56 |
| 450 | 1.86 | 1.65 | | 1.76 |
| 500 | 2.02 | 1.82 | | 1.92 |
| 250 | 1.93 | 1.72 | | 1.83 |
| 120 | 1.80 | 1.59 | | 1.70 |
| 20 | 1.67 | 1.46 | | 1.57 |
| 80 | 1.69 | 1.48 | | 1.59 |
| 160 | 1.76 | 1.55 | | 1.66 |
| 240 | 1.84 | 1.62 | | 1.73 |
| 320 | 1.91 | 1.69 | | 1.80 |
| 400 | 1.98 | 1.80 | | 1.89 |
| 450 | 2.05 | 1.87 | | 1.96 |

SN 670 317

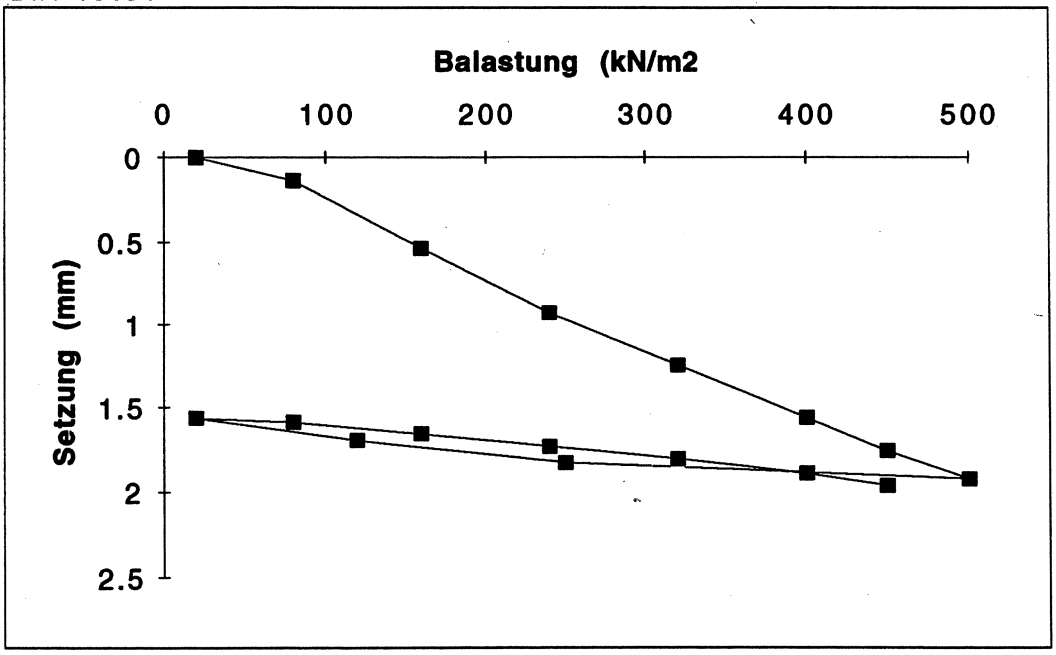
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | | | | #### |
| 50 | 0.15 | 0.07 | | 0.11 |
| 150 | 0.73 | 0.37 | | 0.55 |
| 250 | 1.17 | 0.63 | | 0.90 |
| 350 | 1.59 | 0.92 | | 1.26 |
| 50 | 1.38 | 0.75 | | 1.07 |
| 150 | 1.45 | 0.80 | | 1.13 |
| 250 | 1.53 | 0.87 | | 1.20 |

**Beilage 23a**

SN 670 317




DIN 18134



# Anhang 4

**Beilagen 24 bis 33**

**Messungen auf Gelände der Rundlaufanlage ETH-IVT**

| | |
|---|---|
| **Beilage 24** | **Feld 41A, numerische Auswertung** |
| **Beilage 24a** | **Feld 41A, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 25** | **Feld 41B, numerische Auswertung** |
| **Beilage 25a** | **Feld 41B, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 26** | **Feld 42A, numerische Auswertung** |
| **Beilage 26a** | **Feld 42A, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 27** | **Feld 42B, numerische Auswertung** |
| **Beilage 27a** | **Feld 42B, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 28** | **Feld 45B1, numerische Auswertung** |
| **Beilage 28a** | **Feld 45B1, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 29** | **Feld 45B2, numerische Auswertung** |
| **Beilage 29a** | **Feld 45B2, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 30** | **Feld 45B3, numerische Auswertung** |
| **Beilage 30a** | **Feld 45B3, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 31** | **Feld 45B4, numerische Auswertung** |
| **Beilage 31a** | **Feld 45B4, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 32** | **Feld 45B5, numerische Auswertung** |
| **Beilage 32a** | **Feld 45B5, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 33** | **Feld 50, numerische Auswertung** |
| **Beilage 33a** | **Feld 50, Belastungs-Setzungskurven** |
| **Beilage 34** | **Feld 50, numerische Auswertung** |
| **Beilage 34a** | **Feld 50, Belastungs-Setzungskurven** |

| Plattenversuch gemäss SN 670 317 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |
|---|---|---|

Versuch: Rundlauf

Feld 41A, belastete Zone; 3.10.90

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | 1.23 | 1.64 | 2.21 | 2.67 | 3.02 | | | | 2.62 | 2.86 | 3.01 | | |
| | Δs (mm) | | 1.03 | | | | | | | 0.38 | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***29032*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 2.70

***ME2=*** ***78261*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| | s (mm) | 0.00 | 0.25 | 0.52 | 0.76 | 0.99 | 1.22 | 1.29 | 0.83 | 0.98 | 1.10 | 1.23 | 1.35 | 1.57 |
| 0,3 >< 0.7 p | Δs (mm) | | 0.59 | | | | | | 0.29 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 1.20 | 1.05 | 0.61 |
| | | |

***EV1=*** ***76487*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 1.82

***EV2=*** ***139555*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

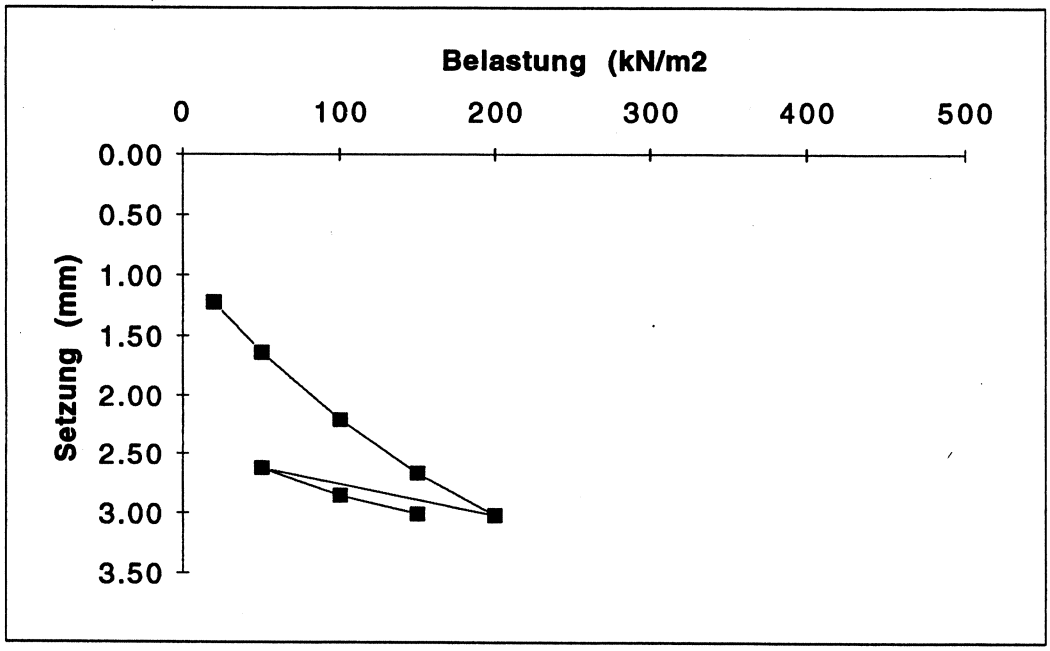
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.25 | 0.29 | 0.22 | 0.25 |
| 160 | 0.43 | 0.64 | 0.49 | 0.52 |
| 240 | 0.59 | 0.99 | 0.71 | 0.76 |
| 320 | 0.74 | 1.30 | 0.93 | 0.99 |
| 400 | 0.92 | 1.61 | 1.12 | 1.22 |
| 450 | 1.00 | 1.70 | 1.17 | 1.29 |
| 500 | | | | 1.36 |
| 250 | 0.91 | 1.59 | 1.09 | 1.20 |
| 120 | 0.78 | 1.41 | 0.96 | 1.05 |
| 0 | 0.40 | 0.90 | 0.54 | 0.61 |
| 80 | 0.62 | 1.15 | 0.73 | 0.83 |
| 160 | 0.75 | 1.30 | 0.88 | 0.98 |
| 240 | 0.83 | 1.45 | 1.03 | 1.10 |
| 320 | 0.95 | 1.58 | 1.16 | 1.23 |
| 400 | 1.06 | 1.71 | 1.29 | 1.35 |
| 450 | 0.88 | 2.26 | | 1.57 |

SN 670 317

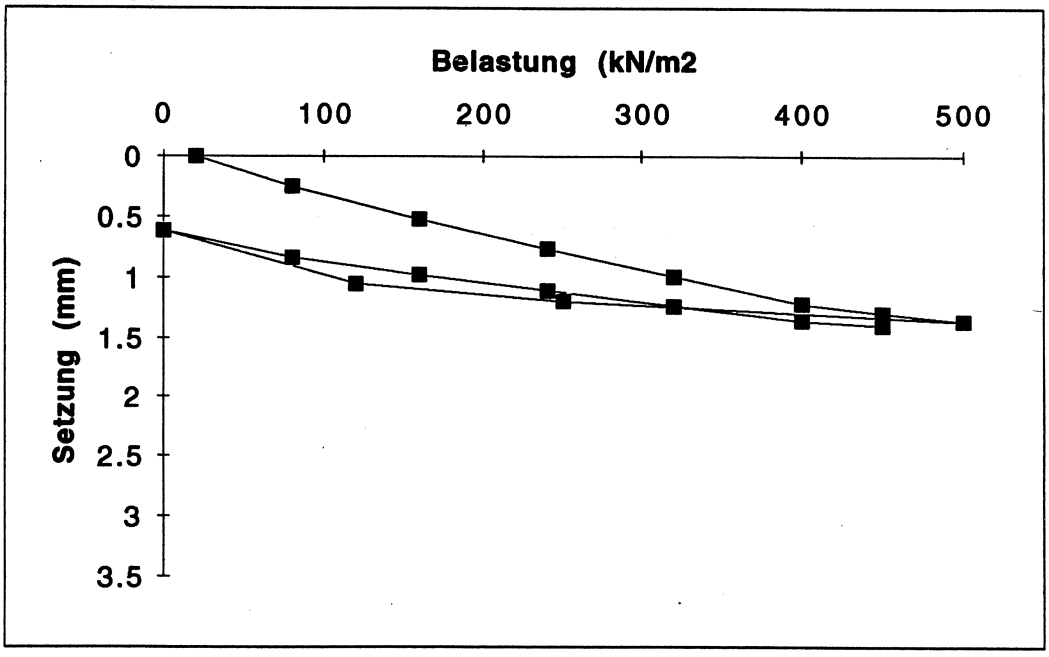
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.39 | 1.18 | 2.11 | 1.23 |
| 50 | 0.78 | 1.72 | 2.41 | 1.64 |
| 100 | 1.22 | 2.62 | 2.78 | 2.21 |
| 150 | 1.46 | 3.45 | 3.10 | 2.67 |
| 200 | 1.62 | 4.11 | 3.33 | 3.02 |
| 50 | 1.34 | 3.45 | 3.08 | 2.62 |
| 100 | 1.57 | 3.78 | 3.22 | 2.86 |
| 150 | 1.67 | 4.04 | 3.31 | 3.01 |

**Beilage 24a**

SN 670 317




DIN 18134



| Plattenversuch gemäss SN 670 317 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |
|---|---|---|

Versuch: Rundlauf

Feld 41B, belastete Zone; 3.10.90

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | 0.80 | 0.98 | 1.22 | 1.50 | 1.72 | | | | 1.41 | 1.58 | 1.68 | | |
| | Δs (mm) | | 0.52 | | | | | | | 0.27 | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***57325*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 1.91

***ME2=*** ***109756*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| | s (mm) | 0.00 | 0.79 | 1.02 | 1.22 | 1.42 | 1.61 | 1.78 | 1.21 | 1.39 | 1.53 | 1.66 | 1.82 | 1.90 |
| 0,3 >< 0.7 p | Δs (mm) | | 0.50 | | | | | | 0.32 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 1.65 | 1.49 | 0.95 |
| | | |

***EV1=*** ***89850*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 1.39

***EV2=*** ***125177*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

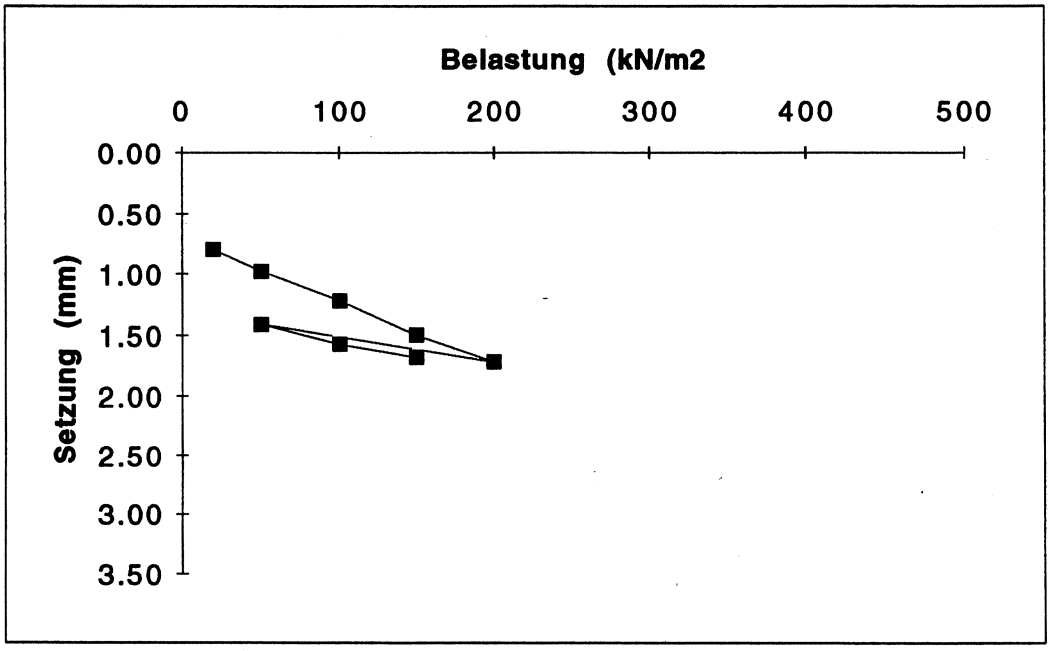
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.14 | 1.15 | 1.08 | 0.79 |
| 160 | 0.36 | 1.41 | 1.29 | 1.02 |
| 240 | 0.53 | 1.64 | 1.48 | 1.22 |
| 320 | 0.72 | 1.88 | 1.67 | 1.42 |
| 400 | 0.93 | 2.11 | 1.78 | 1.61 |
| 450 | 1.04 | 2.29 | 2.00 | 1.78 |
| 500 | | | | 1.04 |
| 250 | 0.88 | 2.18 | 1.89 | 1.65 |
| 120 | 0.67 | 2.05 | 1.74 | 1.49 |
| 0 | 0.72 | 1.01 | 1.11 | 0.95 |
| 80 | 0.60 | 1.56 | 1.47 | 1.21 |
| 160 | 0.78 | 1.75 | 1.63 | 1.39 |
| 240 | 0.88 | 1.93 | 1.78 | 1.53 |
| 320 | 0.99 | 2.08 | 1.92 | 1.66 |
| 400 | 1.12 | 2.25 | 2.09 | 1.82 |
| 450 | 1.19 | 2.33 | 2.18 | 1.90 |

SN 670 317

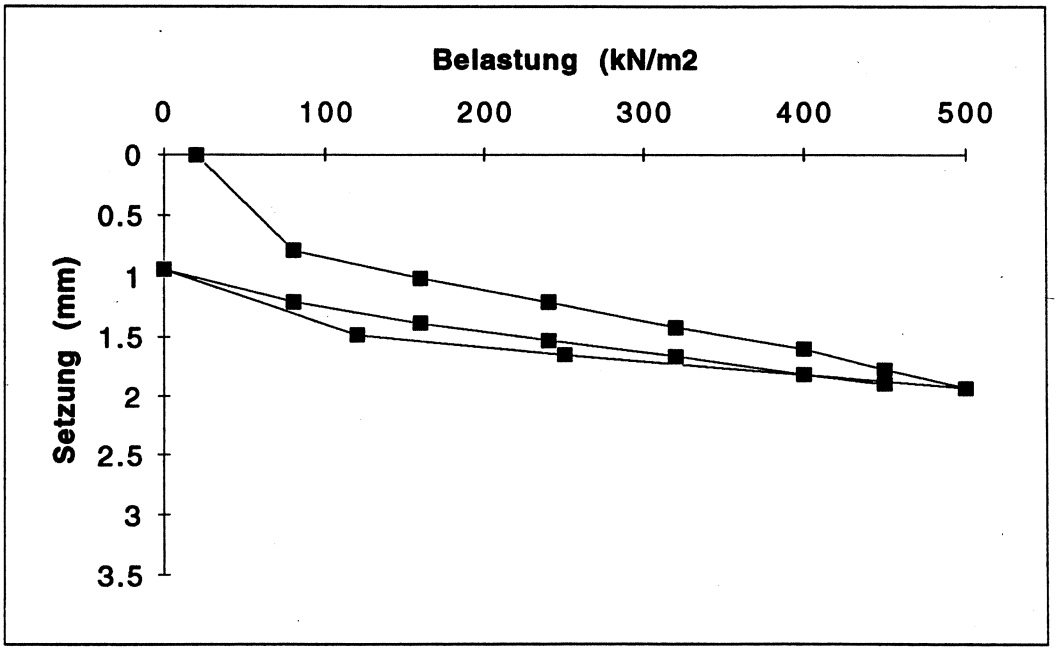
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.29 | 0.80 | 1.31 | 0.80 |
| 50 | 0.41 | 1.01 | 1.52 | 0.98 |
| 100 | 0.61 | 1.29 | 1.76 | 1.22 |
| 150 | 0.85 | 1.62 | 2.04 | 1.50 |
| 200 | 0.99 | 1.90 | 2.27 | 1.72 |
| 50 | 0.83 | 1.47 | 1.93 | 1.41 |
| 100 | 0.94 | 1.67 | 2.12 | 1.58 |
| 150 | 1.02 | 1.80 | 2.23 | 1.68 |

**Beilage 25a**

SN 670 317




DIN 18134



| Plattenversuch gemäss SN 670 317 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |
|---|---|---|

Versuch: Rundlauf

Feld 42A, belastete Zone; 15.10.90

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | 1.16 | 1.37 | 1.70 | 1.98 | 2.24 | | | | 2.03 | 2.09 | 2.18 | | |
| | Δs (mm) | | 0.61 | | | | | | | 0.15 | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***49180*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 4.16

***ME2=*** ***204545*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| | s (mm) | 1.24 | 1.56 | 2.27 | 2.70 | 3.13 | 3.53 | 3.74 | 3.08 | 3.30 | 3.48 | 3.65 | 3.81 | 3.94 |
| 0,3 >< 0.7 p | Δs (mm) | | 1.10 | | | | | | 0.40 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 3.62 | 3.42 | 2.82 |
| | | |

***EV1=*** ***41018*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 2.44

***EV2=*** ***100258*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

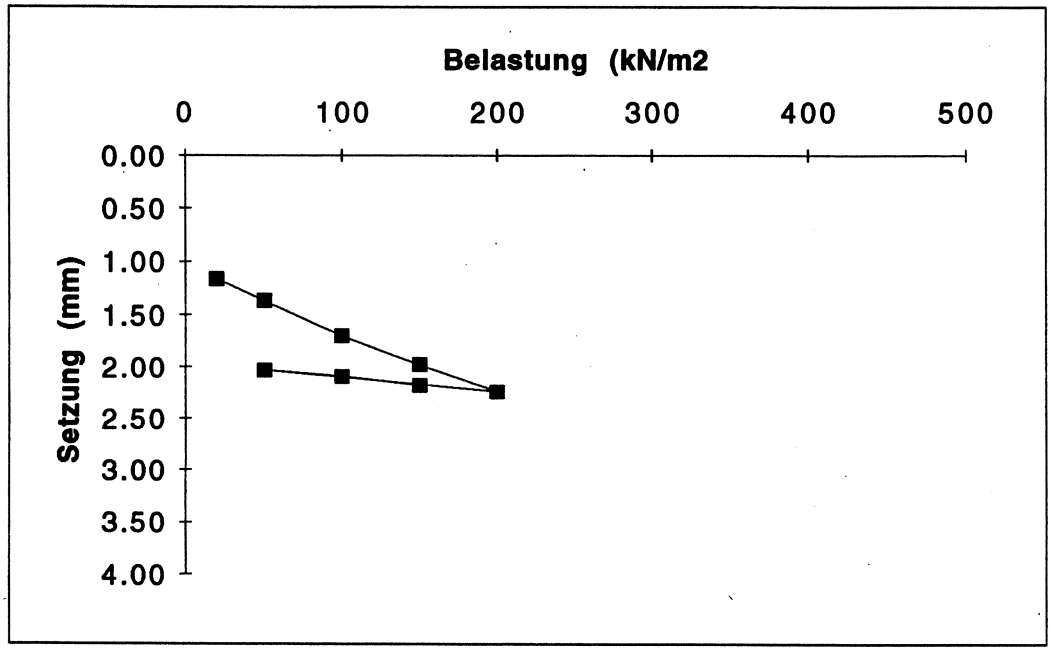
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.76 | 1.86 | 1.09 | 1.24 |
| 80 | 1.15 | 2.19 | 1.34 | 1.56 |
| 160 | 2.30 | 2.82 | 1.70 | 2.27 |
| 240 | 2.95 | 3.22 | 1.93 | 2.70 |
| 320 | 3.64 | 3.61 | 2.14 | 3.13 |
| 400 | 4.28 | 3.98 | 2.34 | 3.53 |
| 450 | 4.62 | 4.17 | 2.42 | 3.74 |
| 500 | | | | 3.95 |
| 250 | 4.50 | 4.05 | 2.31 | 3.62 |
| 120 | 4.23 | 3.84 | 2.19 | 3.42 |
| 0 | 3.48 | 3.20 | 1.79 | 2.82 |
| 80 | 3.76 | 3.50 | 1.99 | 3.08 |
| 160 | 4.01 | 3.75 | 2.14 | 3.30 |
| 240 | 4.28 | 3.92 | 2.24 | 3.48 |
| 320 | 4.52 | 4.09 | 2.33 | 3.65 |
| 400 | 4.76 | 4.25 | 2.42 | 3.81 |
| 450 | 4.96 | 4.37 | 2.48 | 3.94 |

SN 670 317

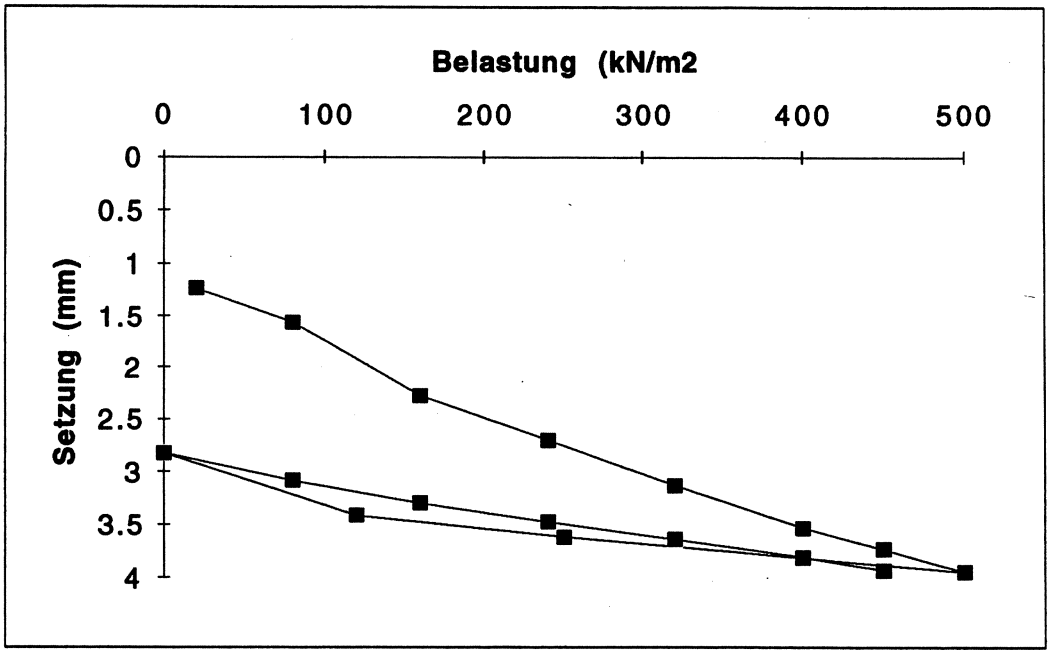
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 1.25 | 0.91 | 1.32 | 1.16 |
| 50 | 1.39 | 1.32 | 1.40 | 1.37 |
| 100 | 1.69 | 1.76 | 1.65 | 1.70 |
| 150 | 1.99 | 2.08 | 1.87 | 1.98 |
| 200 | 2.34 | 2.32 | 2.05 | 2.24 |
| 50 | 2.11 | 2.14 | 1.84 | 2.03 |
| 100 | 2.17 | 2.21 | 1.90 | 2.09 |
| 150 | 2.26 | 2.28 | 1.99 | 2.18 |

**Beilage 26a**

SN 670 317




DIN 18134



| Plattenversuch gemäss SN 670 317 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |
|---|---|---|

Versuch: Rundlauf

Feld 42B, belastete Zone; 15.10.90

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | 1.33 | 1.93 | 2.38 | 2.91 | 3.25 | | | | 3.08 | 3.14 | 3.27 | | |
| | Δs (mm) | | 0.98 | | | | | | | 0.19 | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***30612*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 5.16

***ME2=*** ***157895*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| | s (mm) | 1.04 | 1.52 | 2.14 | 2.64 | 3.05 | 3.38 | 3.60 | 3.04 | 3.22 | 3.41 | 3.56 | 3.73 | 3.81 |
| 0,3 >< 0.7 p | Δs (mm) | | 1.11 | | | | | | 0.39 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 3.47 | 3.31 | 2.81 |
| | | |

***EV1=*** ***40449*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 2.58

***EV2=*** ***104348*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

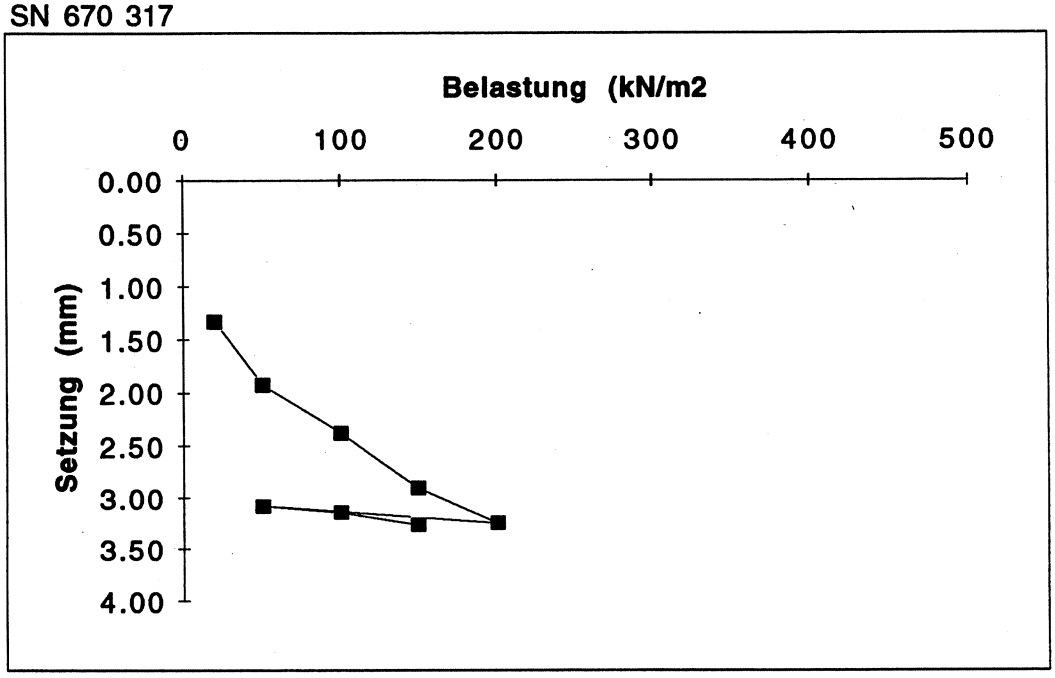
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.28 | 1.11 | 1.74 | 1.04 |
| 80 | 0.67 | 1.76 | 2.13 | 1.52 |
| 160 | 1.17 | 2.46 | 2.79 | 2.14 |
| 240 | 1.74 | 2.97 | 3.22 | 2.64 |
| 320 | 2.27 | 3.37 | 3.51 | 3.05 |
| 400 | 2.67 | 3.72 | 3.76 | 3.38 |
| 450 | 2.93 | 3.96 | 3.92 | 3.60 |
| 500 | | | | 3.82 |
| 250 | 2.78 | 3.82 | 3.82 | 3.47 |
| 120 | 2.53 | 3.69 | 3.70 | 3.31 |
| 0 | 1.95 | 3.15 | 3.33 | 2.81 |
| 80 | 2.19 | 3.35 | 3.57 | 3.04 |
| 160 | 2.39 | 3.54 | 3.73 | 3.22 |
| 240 | 2.62 | 3.72 | 3.90 | 3.41 |
| 320 | 2.79 | 3.83 | 4.06 | 3.56 |
| 400 | 3.02 | 3.95 | 4.22 | 3.73 |
| 450 | 3.13 | 4.03 | 4.28 | 3.81 |

SN 670 317

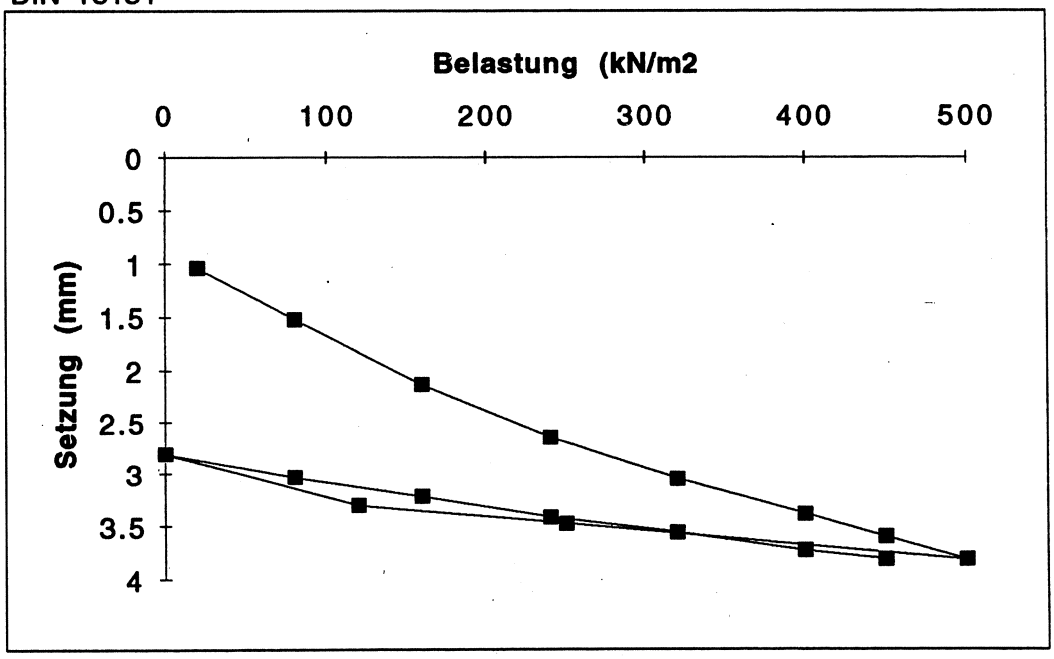
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 1.10 | 2.44 | 0.46 | 1.33 |
| 50 | 1.65 | 3.45 | 0.68 | 1.93 |
| 100 | 2.02 | 4.02 | 1.09 | 2.38 |
| 150 | 2.46 | 4.65 | 1.61 | 2.91 |
| 200 | 2.81 | 5.04 | 1.90 | 3.25 |
| 50 | 2.66 | 4.85 | 1.72 | 3.08 |
| 100 | 2.71 | 4.93 | 1.79 | 3.14 |
| 150 | 2.81 | 5.05 | 1.94 | 3.27 |

**Beilage 27a**

SN 670 317




DIN 18134



| Plattenversuch gemäss SN 670 317 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |
|---|---|---|

Versuch: Rundlauf

Feld 45B, belastete Zone, Punkt 1; 3.10.90

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | 1.03 | 1.13 | | 1.38 | | 1.55 | 1.71 | | 1.52 | | 1.60 | 1.67 | |
| | Δs (mm) | | | | 0.17 | | | | | | | | 0.07 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***173077*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 2.48

***ME2=*** ***428571*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| 0,3 >< 0.7 p | s (mm) | 0.00 | 0.24 | 0.49 | 0.66 | 0.80 | 0.92 | 0.98 | 0.65 | 0.76 | 0.85 | 0.92 | 0.97 | 1.02 |
| | Δs (mm) | | 0.38 | | | | | | 0.20 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 0.93 | 0.80 | 0.50 |
| | | |

***EV1=*** ***117264*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 1.76

***EV2=*** ***206369*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm bei Belastung kPa

DIN 18134

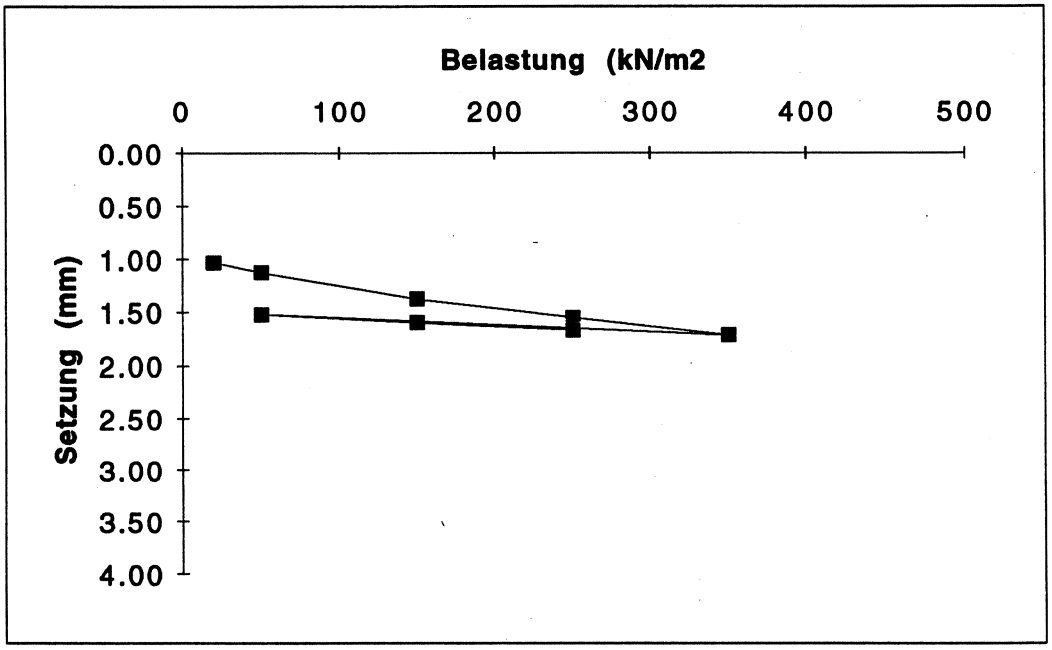
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.25 | 0.40 | 0.08 | 0.24 |
| 160 | 0.53 | 0.79 | 0.15 | 0.49 |
| 240 | 0.72 | 1.02 | 0.24 | 0.66 |
| 320 | 0.86 | 1.18 | 0.35 | 0.80 |
| 400 | 0.98 | 1.34 | 0.44 | 0.92 |
| 450 | 1.03 | 1.42 | 0.48 | 0.98 |
| 500 | | | | 1.04 |
| 250 | 0.98 | 1.36 | 0.44 | 0.93 |
| 120 | 0.85 | 1.20 | 0.36 | 0.80 |
| 0 | 0.55 | 0.88 | 0.07 | 0.50 |
| 80 | 0.71 | 1.04 | 0.19 | 0.65 |
| 160 | 0.82 | 1.17 | 0.28 | 0.76 |
| 240 | 0.92 | 1.28 | 0.34 | 0.85 |
| 320 | 1.00 | 1.36 | 0.41 | 0.92 |
| 400 | 1.04 | 1.42 | 0.45 | 0.97 |
| 450 | 1.09 | 1.47 | 0.49 | 1.02 |

SN 670 317

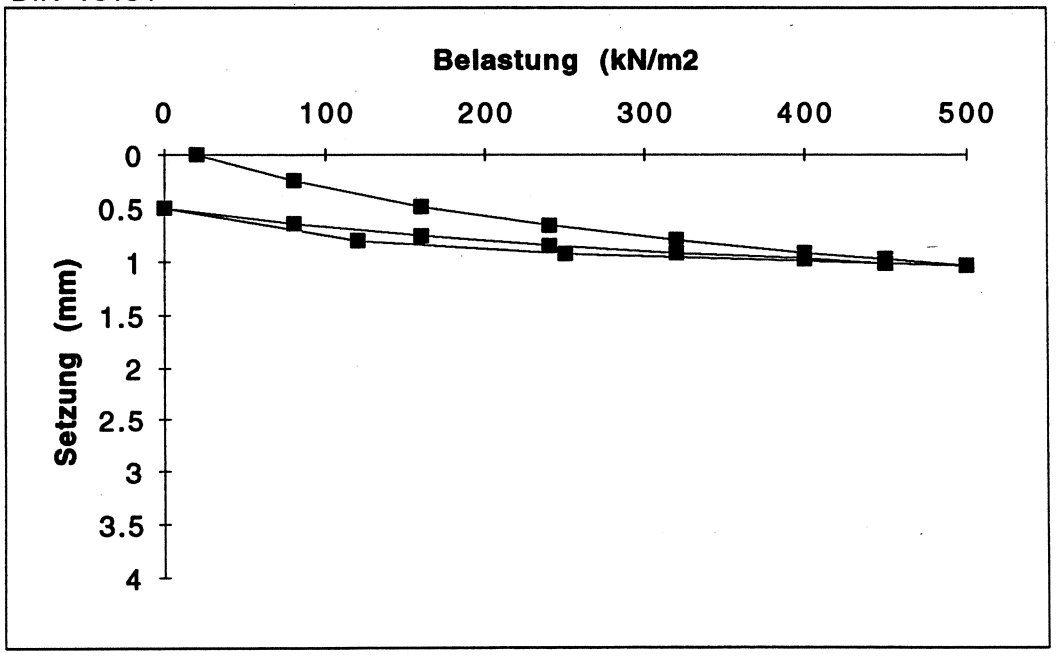
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 1.28 | 0.99 | 0.83 | 1.03 |
| 50 | 1.30 | 1.14 | 0.95 | 1.13 |
| 150 | 1.51 | 1.46 | 1.17 | 1.38 |
| 250 | 1.62 | 1.68 | 1.36 | 1.55 |
| 350 | 1.73 | 1.89 | 1.52 | 1.71 |
| 50 | 1.62 | 1.63 | 1.31 | 1.52 |
| 150 | 1.68 | 1.73 | 1.39 | 1.60 |
| 250 | 1.71 | 1.83 | 1.47 | 1.67 |

**Beilage 28a**

SN 670 317




DIN 18134



| Plattenversuch gemäss SN 670 317 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |
|---|---|---|

Versuch: Rundlauf

Feld 45B, belastete Zone, Punkt 2; 2.10.90

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | 1.50 | 1.65 | | 1.92 | | 2.07 | 2.20 | | 2.03 | | 2.12 | 2.15 | |
| | Δs (mm) | | | | 0.15 | | | | | | | | 0.04 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***200000*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 4.09

***ME2=*** ***818182*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| 0,3 >< 0.7 p | s (mm) | 0.00 | 0.23 | 0.53 | 0.77 | 0.85 | 1.04 | 1.05 | 0.69 | 0.80 | 0.87 | 0.94 | 1.00 | 1.06 |
| | Δs (mm) | | 0.42 | | | | | | 0.17 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 0.95 | 0.87 | 0.54 |
| | | |

***EV1=*** ***106509*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 2.30

***EV2=*** ***244528*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

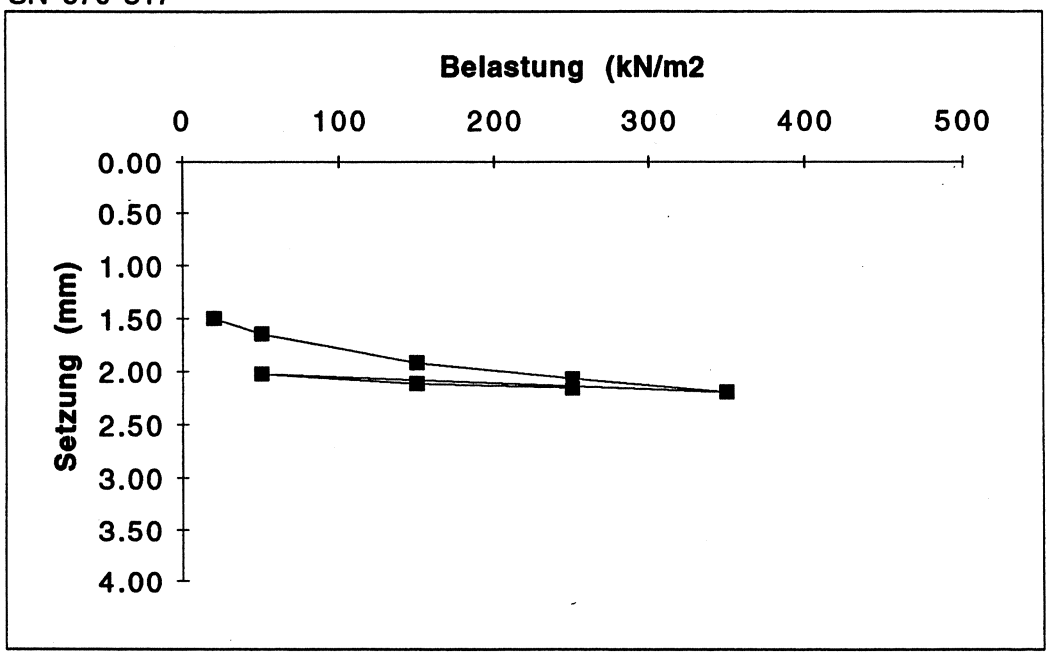
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.26 | 0.42 | 0.01 | 0.23 |
| 160 | 0.58 | 0.83 | 0.19 | 0.53 |
| 240 | 0.95 | 1.12 | 0.23 | 0.77 |
| 320 | 0.87 | 1.21 | 0.46 | 0.85 |
| 400 | 1.03 | 1.54 | 0.54 | 1.04 |
| 450 | 1.09 | 1.53 | 0.54 | 1.05 |
| 500 | | | | 1.07 |
| 250 | 0.99 | 1.37 | 0.49 | 0.95 |
| 120 | 0.89 | 1.31 | 0.40 | 0.87 |
| 0 | 0.57 | 0.93 | 0.11 | 0.54 |
| 80 | 0.76 | 1.09 | 0.21 | 0.69 |
| 160 | 0.86 | 1.21 | 0.34 | 0.80 |
| 240 | 0.94 | 1.29 | 0.38 | 0.87 |
| 320 | 1.03 | 1.35 | 0.43 | 0.94 |
| 400 | 1.06 | 1.47 | 0.48 | 1.00 |
| 450 | 1.12 | 1.52 | 0.53 | 1.06 |

SN 670 317

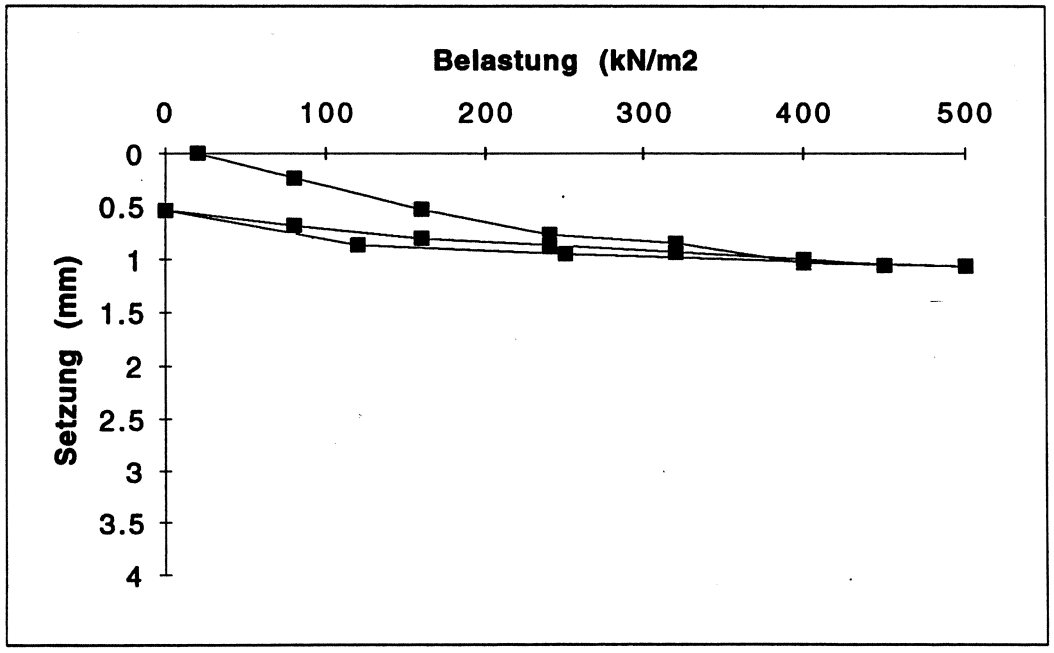
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 2.00 | 1.46 | 1.04 | 1.50 |
| 50 | 2.06 | 1.68 | 1.20 | 1.65 |
| 150 | 2.32 | 1.96 | 1.49 | 1.92 |
| 250 | 2.66 | 2.02 | 1.54 | 2.07 |
| 350 | 3.00 | 2.04 | 1.56 | 2.20 |
| 50 | 2.69 | 1.96 | 1.44 | 2.03 |
| 150 | 2.76 | 2.00 | 1.59 | 2.12 |
| 250 | 2.89 | 2.03 | 1.54 | 2.15 |

**Beilage 29a**

SN 670 317




DIN 18134



| Plattenversuch gemäss SN 670 317 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |
|---|---|---|

Versuch: Rundlauf

Feld 45B, belastete Zone, Punkt 3; 2.10.90

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | 1.20 | 1.28 | | 1.48 | | 1.63 | 1.75 | | 1.55 | | 1.62 | 1.70 | |
| | Δs (mm) | | | | 0.16 | | | | | | | | 0.08 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***191489*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 2.04

***ME2=*** ***391304*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| | s (mm) | 0.00 | 0.25 | 0.51 | 0.69 | 0.82 | 0.94 | 1.01 | 0.66 | 0.76 | 0.85 | 0.95 | 1.00 | 1.05 |
| 0,3 >< 0.7 p | Δs (mm) | | 0.39 | | | | | | 0.21 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 0.94 | 0.81 | 0.53 |
| | | |

***EV1=*** ***116631*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 1.62

***EV2=*** ***188555*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

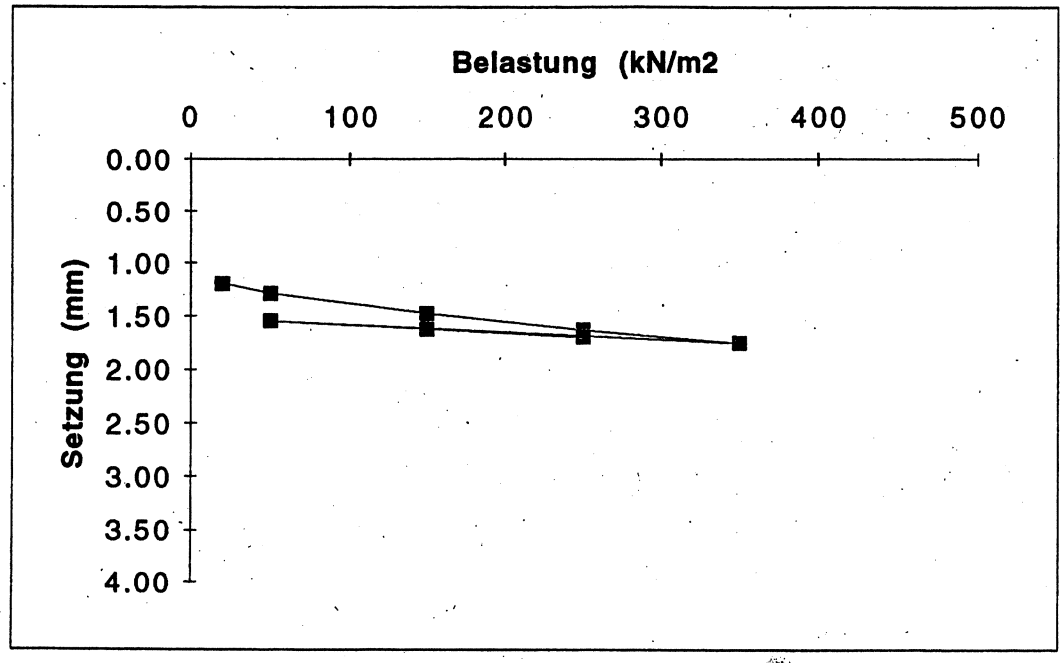
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.25 | 0.42 | 0.09 | 0.25 |
| 160 | 0.56 | 0.83 | 0.14 | 0.51 |
| 240 | 0.73 | 1.10 | 0.23 | 0.69 |
| 320 | 0.90 | 1.20 | 0.36 | 0.82 |
| 400 | 1.02 | 1.33 | 0.46 | 0.94 |
| 450 | 1.10 | 1.43 | 0.49 | 1.01 |
| 500 | | | | 1.05 |
| 250 | 1.00 | 1.35 | 0.46 | 0.94 |
| 120 | 0.86 | 1.22 | 0.34 | 0.81 |
| 0 | 0.57 | 0.91 | 0.10 | 0.53 |
| 80 | 0.73 | 1.06 | 0.20 | 0.66 |
| 160 | 0.83 | 1.18 | 0.28 | 0.76 |
| 240 | 0.93 | 1.29 | 0.33 | 0.85 |
| 320 | 1.04 | 1.39 | 0.43 | 0.95 |
| 400 | 1.07 | 1.44 | 0.48 | 1.00 |
| 450 | 1.14 | 1.48 | 0.52 | 1.05 |

SN 670 317

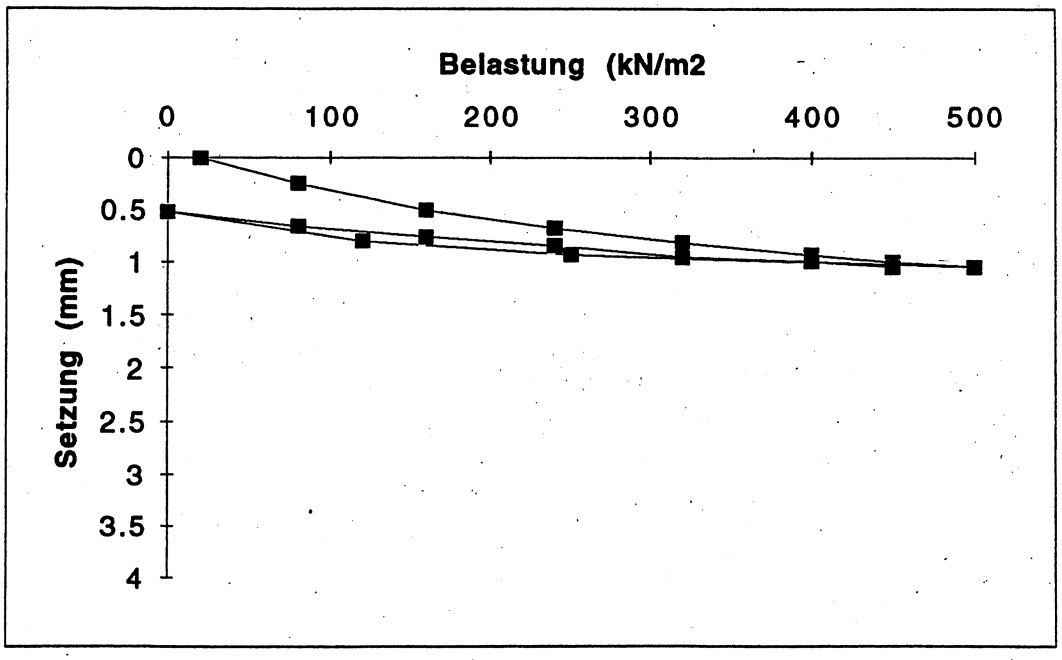
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.85 | 1.24 | 1.50 | 1.20 |
| 50 | 0.92 | 1.32 | 1.61 | 1.28 |
| 150 | 1.02 | 1.54 | 1.87 | 1.48 |
| 250 | 1.11 | 1.70 | 2.09 | 1.63 |
| 350 | 1.18 | 1.84 | 2.24 | 1.75 |
| 50 | 1.03 | 1.63 | 1.99 | 1.55 |
| 150 | 1.10 | 1.70 | 2.07 | 1.62 |
| 250 | 1.14 | 1.78 | 2.18 | 1.70 |

**Beilage 30a**

SN 670 317




DIN 18134



| Plattenversuch gemäss SN 670 317 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |
|---|---|---|

Versuch: Rundlauf

Feld 45B, unbelastete Zone, Punkt 1; 2.10.90

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | 1.52 | 1.66 | | 2.15 | | 2.52 | 2.83 | | 2.16 | | 2.63 | 2.74 | |
| | Δs (mm) | | | | | 0.37 | | | | | | | 0.11 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***81081*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 3.47

***ME2=*** ***281250*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| | s (mm) | 0.00 | 0.22 | 0.47 | 0.64 | 0.76 | 0.88 | 0.96 | 0.62 | 0.74 | 0.81 | 0.93 | 0.97 | 1.00 |
| 0,3 >< 0.7 p | Δs (mm) | | 0.37 | | | | | | 0.22 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 0.93 | 0.78 | 0.46 |
| | | |

***EV1=*** ***121896*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 1.50

***EV2=*** ***182364*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

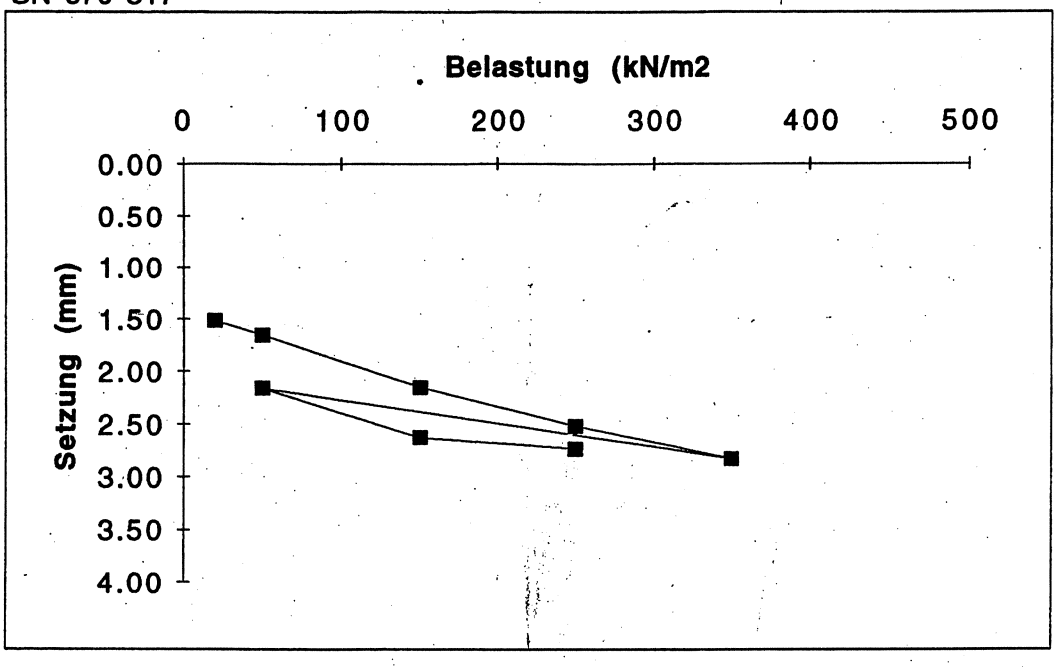
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.23 | 0.37 | 0.07 | 0.22 |
| 160 | 0.52 | 0.76 | 0.13 | 0.47 |
| 240 | 0.70 | 0.99 | 0.22 | 0.64 |
| 320 | 0.84 | 1.13 | 0.32 | 0.76 |
| 400 | 0.93 | 1.33 | 0.39 | 0.88 |
| 450 | 1.01 | 1.39 | 0.47 | 0.96 |
| 500 | | | | 1.01 |
| 250 | 0.99 | 1.36 | 0.43 | 0.93 |
| 120 | 0.83 | 1.16 | 0.34 | 0.78 |
| 0 | 0.53 | 0.81 | 0.05 | 0.46 |
| 80 | 0.69 | 1.02 | 0.16 | 0.62 |
| 160 | 0.80 | 1.15 | 0.27 | 0.74 |
| 240 | 0.90 | 1.22 | 0.31 | 0.81 |
| 320 | 0.99 | 1.35 | 0.46 | 0.93 |
| 400 | 1.03 | 1.41 | 0.48 | 0.97 |
| 450 | 1.07 | 1.44 | 0.49 | 1.00 |

SN 670 317

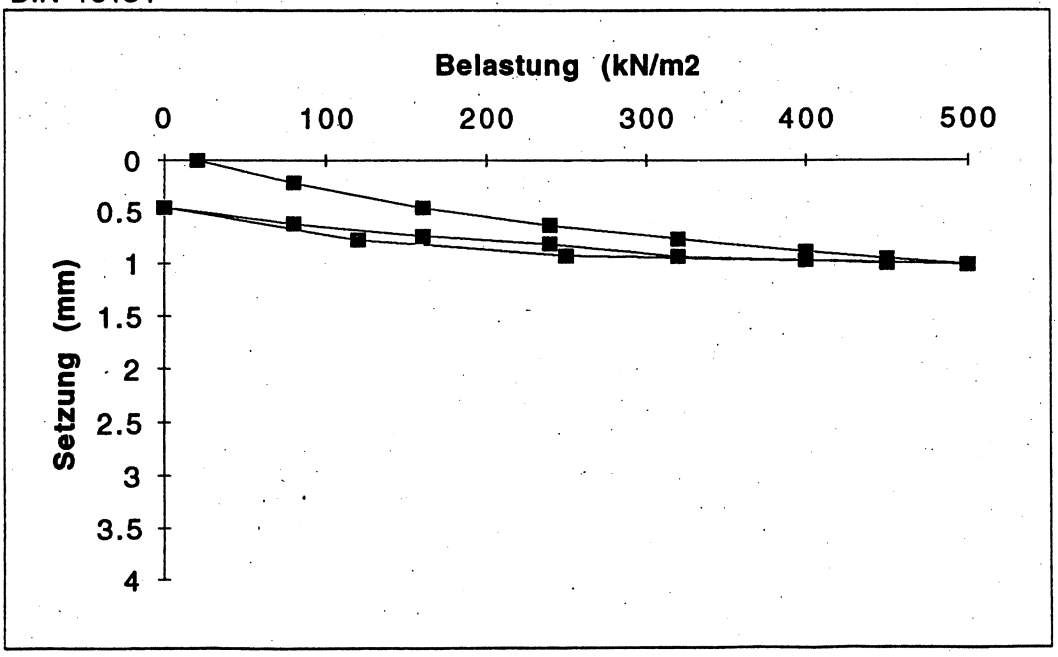
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.89 | 1.76 | 1.91 | 1.52 |
| 50 | 0.98 | 1.92 | 2.07 | 1.66 |
| 150 | 1.36 | 2.31 | 2.79 | 2.15 |
| 250 | 1.60 | 2.50 | 3.47 | 2.52 |
| 350 | 1.80 | 2.73 | 3.95 | 2.83 |
| 50 | 1.44 | 1.68 | 3.37 | 2.16 |
| 150 | 1.60 | 2.69 | 3.60 | 2.63 |
| 250 | 1.70 | 2.70 | 3.81 | 2.74 |

**Beilage 31a**

SN 670 317




DIN 18134



| Plattenversuch gemäss SN 670 317 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |
|---|---|---|

Versuch: Rundlauf

Feld 45B, unbelastete Zone, Punkt 2; 2.10.90

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | 1.77 | 2.62 | | 3.85 | | 4.52 | 5.07 | | 4.76 | | 4.92 | 5.06 | |
| | Δs (mm) | | | | | 0.67 | | | | | | | 0.13 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***45000*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 5.00

***ME2=*** ***225000*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| 0,3 >< 0.7 p | s (mm) | 0.00 | 0.25 | 0.49 | 0.66 | 0.79 | 0.91 | 1.01 | 0.67 | 0.72 | 0.84 | 0.91 | 0.97 | 1.03 |
| | Δs (mm) | | 0.37 | | | | | | 0.20 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 0.92 | 0.81 | 0.49 |
| | | |

***EV1=*** ***120941*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 1.67

***EV2=*** ***201660*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm

bei Belastung kPa

DIN 18134

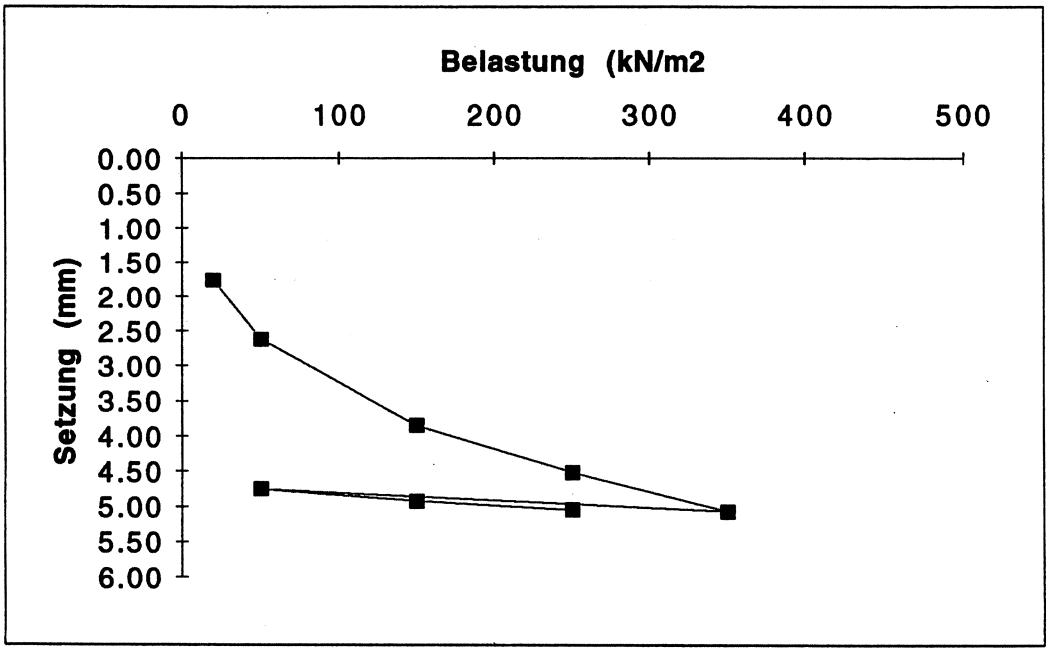
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.24 | 0.41 | 0.09 | 0.25 |
| 160 | 0.55 | 0.76 | 0.16 | 0.49 |
| 240 | 0.77 | 1.00 | 0.22 | 0.66 |
| 320 | 0.88 | 1.10 | 0.38 | 0.79 |
| 400 | 0.89 | 1.40 | 0.43 | 0.91 |
| 450 | 1.10 | 1.44 | 0.49 | 1.01 |
| 500 | | | | 1.04 |
| 250 | 0.99 | 1.34 | 0.44 | 0.92 |
| 120 | 0.88 | 1.21 | 0.35 | 0.81 |
| 0 | 0.50 | 0.88 | 0.10 | 0.49 |
| 80 | 0.75 | 1.07 | 0.20 | 0.67 |
| 160 | 0.80 | 1.12 | 0.25 | 0.72 |
| 240 | 0.90 | 1.28 | 0.33 | 0.84 |
| 320 | 0.97 | 1.37 | 0.40 | 0.91 |
| 400 | 1.00 | 1.44 | 0.47 | 0.97 |
| 450 | 1.09 | 1.49 | 0.50 | 1.03 |

SN 670 317

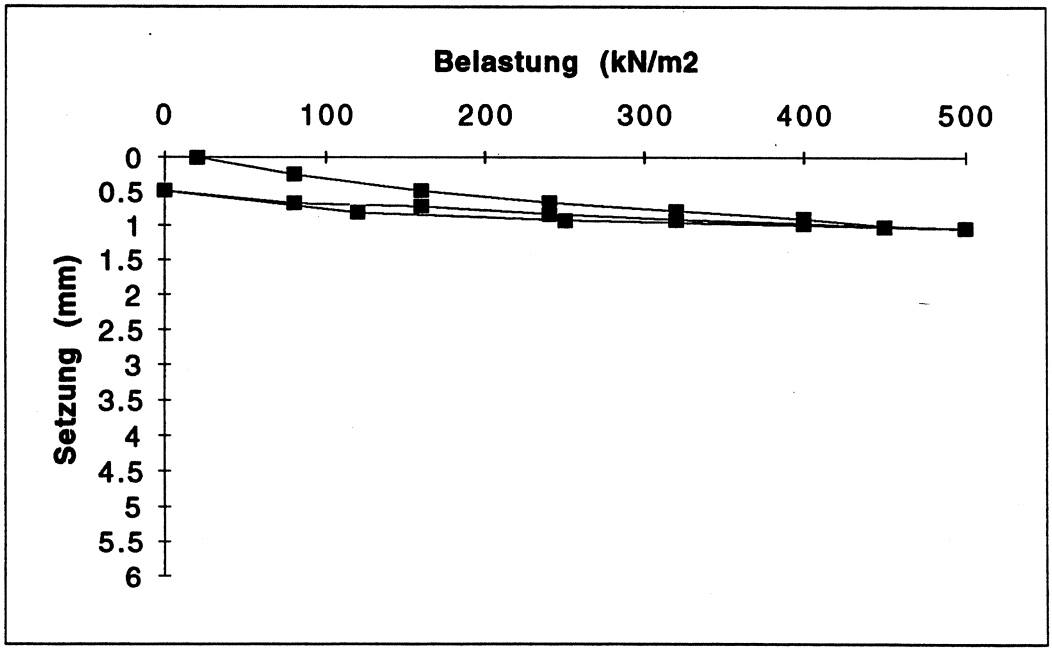
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 1.49 | 2.17 | 1.65 | 1.77 |
| 50 | 1.97 | 3.79 | 2.11 | 2.62 |
| 150 | 2.48 | 5.98 | 3.09 | 3.85 |
| 250 | 2.71 | 7.23 | 3.61 | 4.52 |
| 350 | 2.94 | 8.26 | 4.02 | 5.07 |
| 50 | 2.82 | 7.68 | 3.77 | 4.76 |
| 150 | 2.94 | 7.96 | 3.87 | 4.92 |
| 250 | 3.00 | 8.18 | 3.99 | 5.06 |

**Beilage 32a**

SN 670 317




DIN 18134



| Plattenversuch gemäss SN 670 317 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |
|---|---|---|

Versuch: Rundlauf
50, belastete Zone, 3.10.90

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | 1.71 | 1.80 | | 2.18 | | 2.40 | 2.57 | | 2.39 | | 2.51 | 2.57 | |
| | Δs (mm) | | | | 0.22 | | | | | | | | 0.06 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***138462*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 3.42
***ME2=*** ***473684*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| 0,3 >< 0.7 p | s (mm) | 0.00 | 0.99 | 1.27 | 1.44 | 1.65 | 1.82 | 1.92 | 1.60 | 1.66 | 1.79 | 1.85 | 1.97 | 2.04 |
| | Δs (mm) | | 0.48 | | | | | | 0.20 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 1.93 | 1.80 | 1.45 |
| | | |

***EV1=*** ***94241*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 2.14
***EV2=*** ***201660*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm
bei Belastung kPa

DIN 18134

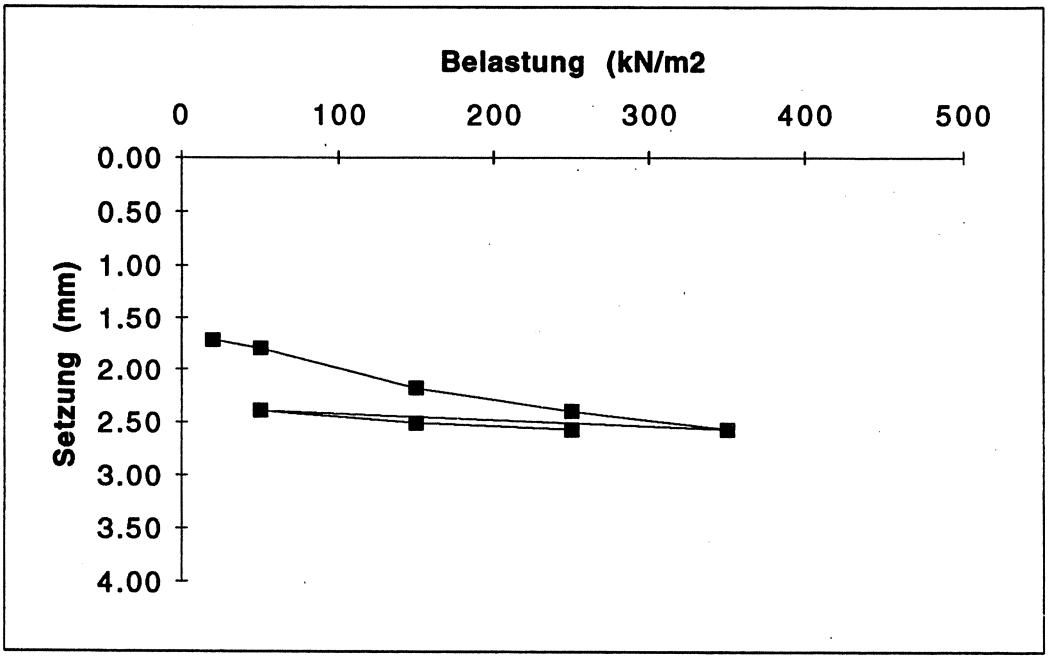
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.42 | 1.44 | 1.12 | 0.99 |
| 160 | 0.60 | 1.76 | 1.45 | 1.27 |
| 240 | 0.69 | 2.00 | 1.62 | 1.44 |
| 320 | 0.88 | 2.23 | 1.83 | 1.65 |
| 400 | 1.10 | 2.45 | 1.92 | 1.82 |
| 450 | 1.17 | 2.58 | 2.00 | 1.92 |
| 500 | 1.20 | 2.79 | 2.08 | 2.02 |
| 250 | 1.09 | 2.71 | 1.99 | 1.93 |
| 120 | 1.05 | 2.56 | 1.78 | 1.80 |
| 0 | 0.88 | 1.78 | 1.69 | 1.45 |
| 80 | 1.00 | 2.00 | 1.81 | 1.60 |
| 160 | 1.00 | 2.11 | 1.87 | 1.66 |
| 240 | 1.23 | 2.19 | 1.95 | 1.79 |
| 320 | 1.25 | 2.28 | 2.01 | 1.85 |
| 400 | 1.37 | 2.46 | 2.08 | 1.97 |
| 450 | 1.49 | 2.50 | 2.12 | 2.04 |

SN 670 317

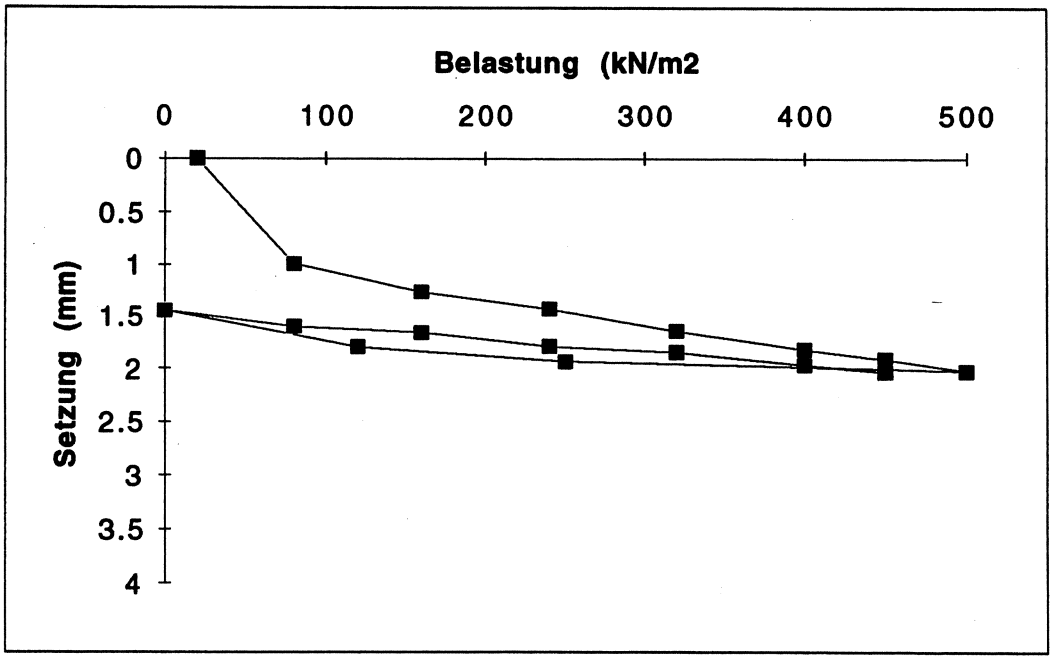
| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.88 | 3.32 | 0.94 | 1.71 |
| 50 | 0.93 | 3.39 | 1.07 | 1.80 |
| 150 | 1.17 | 3.52 | 1.85 | 2.18 |
| 250 | 1.06 | 3.67 | 2.46 | 2.40 |
| 350 | 1.05 | 3.87 | 2.78 | 2.57 |
| 50 | 1.25 | 3.75 | 2.18 | 2.39 |
| 150 | 1.33 | 3.83 | 2.36 | 2.51 |
| 250 | 1.22 | 3.88 | 2.61 | 2.57 |

**Beilage 33a**

SN 670 317




DIN 18134



| Plattenversuch gemäss SN 670 317 | | ETH Zürich<br>IVT/IGT , Strassenbau |
|---|---|---|

Versuch: Rundlauf
50, unbelastete Zone, 3.10.90

| | | Erstbelastung | | | | | | | | Zweitbelastung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 350 | 450 | 50 | 100 | 150 | 250 | 350 |
| Unterbau | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Fundations-schicht | s (mm) | 1.64 | 1.79 | | 2.26 | | 2.53 | 2.79 | | 2.42 | | 2.60 | 2.72 | |
| | Δs (mm) | | | | 0.28 | | | | | | | | 0.12 | |
| Tragschicht | s (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| | Δs (mm) | | | | | | | | | | | | | |

***ME1=*** ***108434*** ***kN/m2*** ***ME2/ME1=*** 2.37
***ME2=*** ***257143*** ***kN/m2***

Plattendruckversuch gemäss DIN 18134

| | | Erstbelastung | | | | | | | Zweitbelastung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spezifische Belastung p (kN/m2) | | 20 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 | 80 | 160 | 240 | 320 | 400 | 450 |
| 0,3 >< 0.7 p | s (mm) | 0.00 | 1.10 | 1.41 | 1.61 | 1.81 | 1.97 | 2.06 | 1.77 | 1.86 | 1.94 | 2.03 | 2.13 | 2.21 |
| | Δs (mm) | | 0.50 | | | | | | 0.19 | | | | | |

| Entlastung | | |
|---|---|---|
| 250 | 120 | 0 |
| 2.06 | 1.94 | 1.68 |
| | | |

***EV1=*** ***90150*** ***kN/m2*** ***EV2/EV1=*** 2.32
***EV2=*** ***209257*** ***kN/m2***

Eingabewerte in mm
bei Belastung kPa

DIN 18134

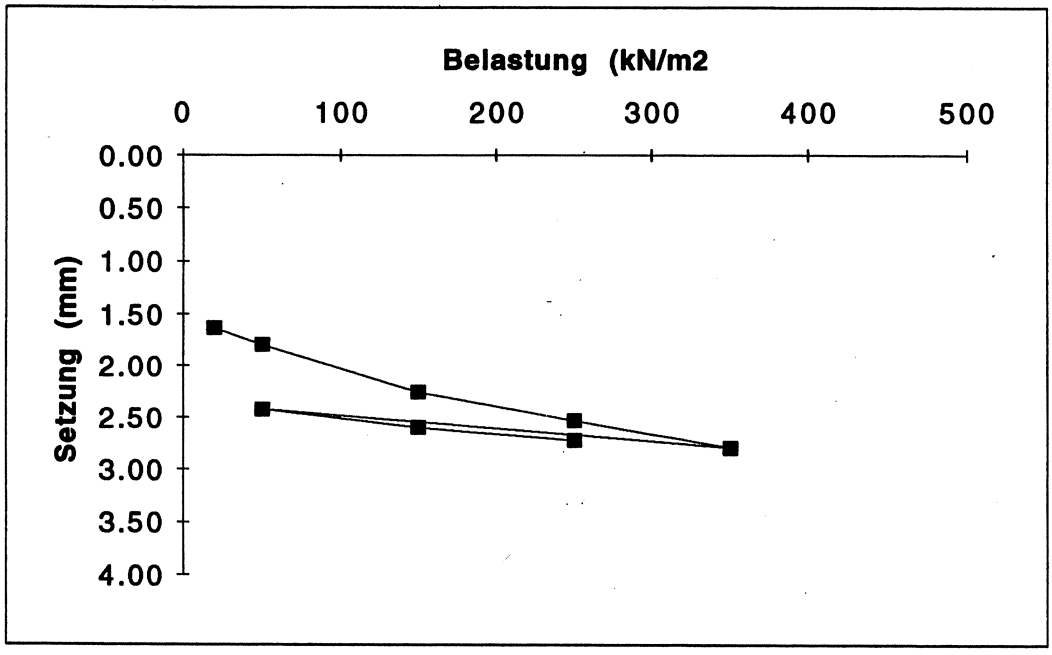
| DIN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 80 | 0.48 | 1.58 | 1.25 | 1.10 |
| 160 | 0.64 | 1.99 | 1.60 | 1.41 |
| 240 | 0.80 | 2.22 | 1.81 | 1.61 |
| 320 | 1.00 | 2.44 | 2.00 | 1.81 |
| 400 | 1.15 | 2.61 | 2.14 | 1.97 |
| 450 | 1.27 | 2.71 | 2.20 | 2.06 |
| 500 | 1.25 | 2.91 | 2.29 | 2.15 |
| 250 | 1.17 | 2.80 | 2.20 | 2.06 |
| 120 | 1.06 | 2.70 | 2.05 | 1.94 |
| 0 | 0.93 | 2.25 | 1.85 | 1.68 |
| 80 | 1.07 | 2.28 | 1.97 | 1.77 |
| 160 | 1.18 | 2.34 | 2.05 | 1.86 |
| 240 | 1.30 | 2.37 | 2.14 | 1.94 |
| 320 | 1.44 | 2.43 | 2.22 | 2.03 |
| 400 | 1.58 | 2.53 | 2.27 | 2.13 |
| 450 | 1.72 | 2.59 | 2.32 | 2.21 |

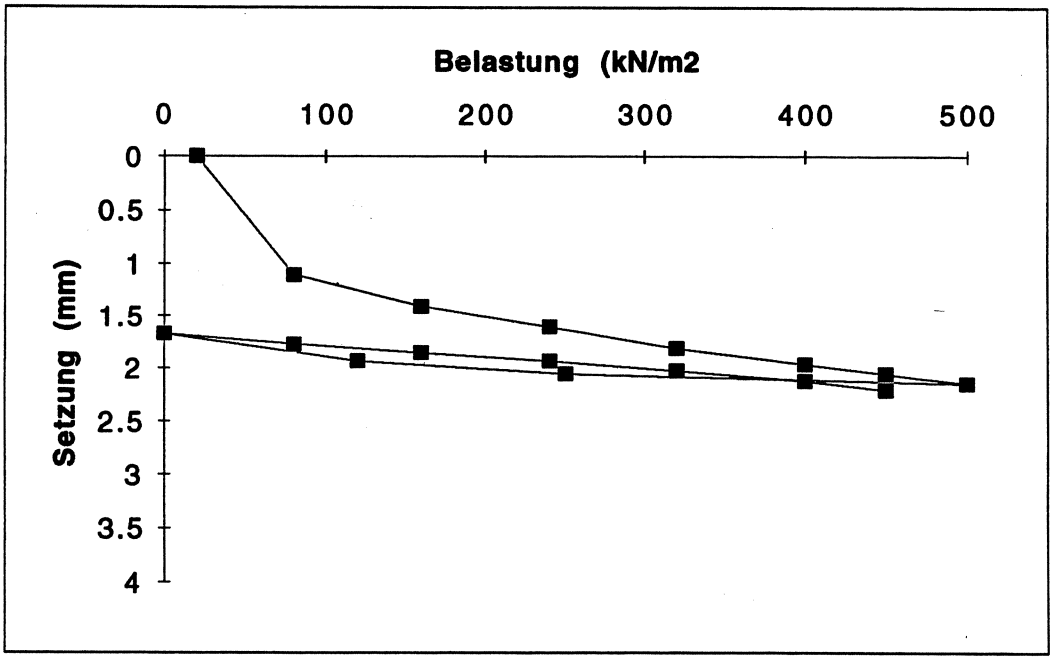
SN 670 317

| SN | Nr1 | Nr2 | Nr3 | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 20 | 0.53 | 1.47 | 2.91 | 1.64 |
| 50 | 0.67 | 1.69 | 3.02 | 1.79 |
| 150 | 1.31 | 2.31 | 3.15 | 2.26 |
| 250 | 1.79 | 2.62 | 3.19 | 2.53 |
| 350 | 2.28 | 2.87 | 3.22 | 2.79 |
| 50 | 1.60 | 2.44 | 3.23 | 2.42 |
| 150 | 1.89 | 2.68 | 3.24 | 2.60 |
| 250 | 2.10 | 2.82 | 3.24 | 2.72 |

**Beilage 34a**

SN 670 317




DIN 18134