



Handbuch 20

## **Bodenmechanik, Erd- und Grundbau**

## Inhaltsverzeichnis

1	Arbeitsphasen der Bodenmechanik .....	4
2	Baugrund und Grundwasser .....	5
2.1	Baugrundverhältnisse .....	5
2.1.1	Allgemeine geologische Verhältnisse .....	5
2.1.2	Bodeneinteilung im Flughafengelände .....	6
2.1.2.1	Boden A: Jüngste quartäre Deckschichten .....	7
2.1.2.2	Boden B: Quartäre feinkornreiche Kiese und Sande .....	9
2.1.2.3	Boden C: Quartäre feinkornarme Kiese und Sande .....	9
2.1.2.4	Boden D: Im Quartär umgelagerte, tertiäre Böden .....	10
2.1.2.5	Boden E: Tertiäre Kiese und Sande .....	10
2.1.2.6	Boden F: Tertiäre Schluffe und Tone .....	11
2.1.3	Bodenkennwerte .....	11
2.2	Grundwasserverhältnisse .....	12
2.2.1	Allgemeines .....	12
2.2.2	Durchlässigkeitsbeiwerte .....	12
2.2.3	Grundwasserstände .....	12
3	Qualitätsanforderungen im Erd- und Grundbau .....	14
3.1	Verdichtungsanforderungen .....	14
3.2	Aufschluss- und Pegelbohrungen im Planfeststellungsbereich MUC .....	14
3.2.1	Aufschlussbohrungen .....	14
3.2.2	Grundwassermessstellen .....	15
3.3	Trogbauweise - Baugrubenumschließungen .....	17
4	Qualitätskontrolle im Erd- und Grundbau .....	20
4.1	Flächendeckende Dynamische Verdichtungskontrolle (FDVK) .....	20
4.1.1	Allgemeines .....	20
4.1.2	Prüfwalze, Messwerterfassungs- und Aufzeichnungsgeräte, Dokumentation .....	20
4.1.3	Maschinenparameter und Kalibrierung .....	21
4.1.3.1	Maschinenparameter .....	21
4.1.3.2	Kalibrierung und dynamische Messwerte .....	22
4.1.4	Prüfungen mit der FDVK .....	26
4.1.4.1	Generelle Vorgaben .....	26
4.1.4.2	Prüffelder .....	26
4.1.4.3	Protokollierung und Qualitätssicherung .....	26
4.1.4.4	Bewertung der Messergebnisse .....	27
4.1.4.5	Konventionelle Prüfungen .....	27
4.1.4.6	Leistungspositionen .....	28
4.2	Verdichtungskontrolle - Feldprüfungen, Zugelassene punktuelle Prüfverfahren .....	28
4.3	Prüfung auf statistischer Grundlage - Stichprobenprüfpläne - .....	29
4.4	Qualitätssicherungsplan Erdbau, Eigenüberwachung .....	29

5	Probenlagerung.....	30
6	Ablaufschemas.....	32
7	Dokumentation .....	36

Anhang A: Berichtsbeispiel

Anhang B: Formblätter

## **1 Arbeitsphasen der Bodenmechanik**

Die bodenmechanischen, grund- und erdbaulichen Untersuchungen und Berechnungen gliedern sich in 3 Phasen:

### **Phase I**

Allgemeine Vorerkundungen der Untergrundverhältnisse  
(Grundlage für Planfeststellung)

- Ermittlung der Schichtenfolge durch weitmaschiges Aufschlussnetz (Bohrungen, Sondierungen, Schürfe)
- Einteilung in Bodengruppen
- Ermittlung typischer Bodenkennwerte
- Ermittlung der Grundwasserverhältnisse

Das Ergebnis ist in einem Bericht zusammengefasst, der allgemeine Hinweis auf Bodeneigenschaften und grundbautechnische Maßnahmen im Flughafenbereich enthält.

### **Phase II**

Ergänzende Untersuchungen des Untergrundes  
(Grundlage für Vor-, Entwurfs-, Genehmigungs-, Ausschreibungs- und Ausführungsplanung)

1. Einzelobjekte
2. Erdbau für Verkehrsflächen
3. Bohrarbeiten
4. Großversuche
5. Entwicklung und Pflege von geotechnischen Datenbanken; Digitales Bodenmodell

### **Phase III**

Nachuntersuchungen - Qualitätssicherungen  
(Überprüfung und Überwachung während der Baudurchführung)

1. Einzelobjekte
2. Erdbau
3. Eignungs- und Kontrollprüfungen Sonderbauweisen
4. Geotechnische Messungen zur Beweissicherung

## 2 Baugrund und Grundwasser

Allgemeine Baugrund- und Grundwasserverhältnisse auf dem Gelände des Flughafens München

### Baugrund

Bodenklassifizierung im Flughafengelände

Boden A Mutterboden, Deckschichten

Boden B, C Quartäre Böden

Boden D - F Tertiäre Böden

### Grundwasser

Durchlässigkeitsbeiwerte

Wasserstände

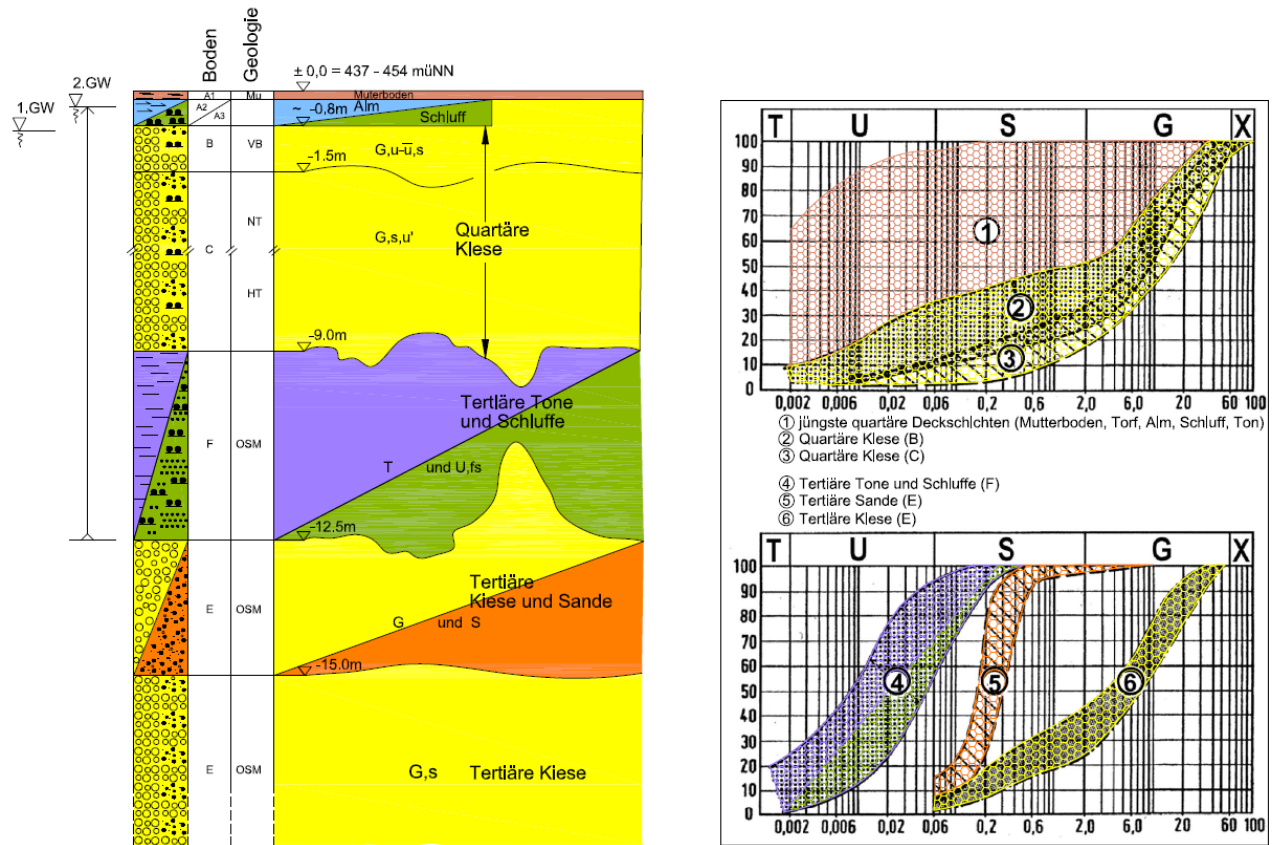
### 2.1 Baugrundverhältnisse

#### 2.1.1 Allgemeine geologische Verhältnisse

Geologisch liegt das Flughafengelände im nördlichen Teil der Münchner Schotterebene, die vom Alpenvorland bis nach Freising reicht. Es handelt sich um fluvioglaziale Aufschotterungen der Riß- und Würmeiszeit sowie des Holozäns. Die quartären Schichten sind den würmeiszeitlichen Niederterrassenschottern sowie der nacheiszeitlichen Altstadt- und Pullingstufe zuzuordnen. Die Altstadtstufe ist flächig verbreitet. Die Pullingstufe ist nur im westlichen Bereich des Flughafens anzutreffen wobei die Grenze etwa von der Flugzeughalle 1 im Süden zum Rollweg A4 im Norden parallel zur Isar verläuft. Im östlichen Bereich sind ferner Hochterrassenschotter anzutreffen.

Unter den quartären Kiesen treten die tertiären Schichten der Oberen Süßwassermolasse (OSM) auf, die als Flinz bekannt sind. Die ursprüngliche Tertiäroberfläche lag ca. 50 m bis 100 m höher als heute und wurde besonders in der Rißeiszeit erodiert. Das Tertiär besteht aus stark sandigen Kiesen des Hauptschotters, die im Nordteil des Flughafengeländes an die hangenden quartären Kiese angrenzen, und aus tertiären Sanden. In die überwiegend durchlässigen tertiären Kiese und tertiären Sande sind mit unterschiedlicher Mächtigkeit schwach bis sehr schwach durchlässige Schluffe, Tone und Mergel eingelagert. Die tertiären Schichten stehen bis in sehr große Tiefe an und sind örtlich verfestigt.

Das Schema der Bodenschichtung und der Grundwasserstockwerke sowie das geologische Profil und die Körnungsbänder quartärer bzw. tertiärer Böden sind dem *Bild 1*: zu entnehmen.



**Bild 1: Schema Bodenschichtung und Grundwasserstockwerke, Körnungsbänder**

## 2.1.2 Bodeneinteilung im Flughafengelände

Grundsätzlich werden im gesamten Flughafengebiet, folgende 6 Böden unterschieden:

- Boden A: Jüngste quartäre Deckschichten
- Boden B: Quartäre, stark schluffige Sande und Kiese
- Boden C: Quartäre, schwach schluffige bis schluffige Sande und Kiese
- Boden D: Im Quartär umgelagerte, tertiäre Böden
- Boden E: Tertiäre Sande und Kiese
- Boden F: Tertiäre Schluffe und Tone

Durch diese Einteilung ist es möglich, in ihrem bodenmechanischen Verhalten ähnliche und nach ihrer geologischen Entstehung zusammenfassbare Böden möglichst einfach in Baugrundprofilen darzustellen und ihr typisches Verhalten zu charakterisieren.

Die jüngsten quartären Deckschichten des Bodens A wurden in allen von Baumaßnahmen berührten Flächen des Bestandes weitestgehend entfernt. Es sind nur in Grünflächen Wiederandeckungen von Böden A1 vorhanden. Unmittelbar unter den quartären Deckschichten stehen hauptsächlich die feinkornreichen quartären Kiese des Bodens B an. Darunter folgen die quartären Kiese des Bodens C mit geringem Feinkornanteil bis zu den tertiären Böden E und F.

Die quartären Böden B und C lassen sich anhand der mürbe verwitterten Kiesgerölle des Bodens B in der Regel gut abgrenzen, während eine scharfe Abgrenzung der tertiären Böden E und F wegen der großen Streuung der Zusammensetzung nicht immer möglich ist.

Die Böden A - F und ihre bautechnische Eingruppierung sind in *Tabelle 1*: zusammengestellt.

**Tabelle 1: Die Böden A - F des Flughafengeländes und ihre bautechnische Eingruppierung**

Boden Flughafen MUC			Bodengruppe DIN 18196	Bodenklasse DIN 18300	Bohrklasse DIN 18301	Frostempfind- lichkeitsklasse ZTV E-StB 09
jüngste quartäre Deckschichten	A1	Mutterboden/Humus	OT, OU, OH	1	BO1, BN2	F2
	A2A	Alm	OK	2, 3 und 4 <sup>1)</sup>	BO2, BB1, BB2, BB3	F2 u. F3
	A2H	Torf	HN, HZ			
	A2M	Böden mit org. oder humosen Anteilen	OU, OT OH			
	A3	bindige Deckschichten	U, T	2 und 4 <sup>1)</sup>	BB2, BB3	F3
quartäre feinkornreiche Kiese und Sande	B1	Korn-Ø < 0,063 mm 10 - 20 %	SU, ST, GU, GT, SU*, ST*, GU*, GT*	3 und 4	BN1, BN2	F2 u. F3
	B2	Korn-Ø < 0,063 mm 20 - 40 %	GU*, GT*	3 und 4	BN1, BN2	F3
quartäre feinkornarme Kiese und Sande	C1	Korn-Ø < 0,063 mm < 5 %	GI, GE, GW SI, SE, SW	3	BN1, BN2	F1
	C2	Korn-Ø < 0,063 mm 5 - 10 %	GU, GT SU, ST	3	BN1, BN2	F2
tertiäre Sande und Kiese	E		SI, SE, SW, SU, SU* GI, GE, GW, GU, GT	3 und 5 <sup>2)</sup>	BN1, BN2	F1, F2, F3
tertiäre Schluffe und Tone	F		UL, UM, TL, TM, TA	4, 5 und 6 <sup>2)</sup>	BB2, BB3, BB4	F2 und F3
<sup>1)</sup> Diese Böden können beim Bearbeiten bei hohen Wassergehalten breiige oder flüssige Konsistenz (Bodenklasse 2) annehmen <sup>2)</sup> In den Böden E und F können zusätzlich verfestigte Schichten u. Bereiche eingelagert sein, die je nach Festigkeit und Abmessungen den Bodenklassen 5 und 6 zugeordnet werden können						

#### 2.1.2.1 Boden A: Jüngste quartäre Deckschichten

Der Boden A lässt sich nach der Zusammensetzung und seiner bautechnischen Eignung in die Böden A1 bis A3 untergliedern. Diese Unterteilung wurde bei den Baugrunduntersuchungen bis 2005 nicht unterschieden. In diesen Fällen sind die Böden A1 bis A3 als Boden A zusammengefasst beschrieben und dargestellt.

#### Boden A1 - Mutterboden/Humus inklusive der Grasnarbe

Er ist in der Regel schwach durchlässig bis durchlässig, stark wasser- und frostempfindlich, nicht langzeitstabil und in der Regel stark kompressibel. Diese Böden gehören nach den Klassifikationsmerkmalen der DIN 18196 (Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke) in der Regel zur Gruppe OT, OU und OH.

Der Boden A1 ist für die Aufnahme von Bauwerkslasten nicht geeignet und ist in der Regel nur für Oberbodenarbeiten sowie für vegetationstechnische Zwecke verwendbar, weshalb er im Zuge von Erdarbeiten gesondert zu behandeln ist.

### **Boden A2 - Alm und Torf, Böden mit humosen Beimengungen**

Alm und Torf treten häufig in wenige Dezimeter dicken Lagen auf oder es sind in untergeordneten Umfang Torflinsen im Alm eingelagert. Aufgrund der geologischen Entstehung infolge Quellaustritts des Grundwassers über den Torf und nachfolgender Ausfällung von Kalk liegt der Alm über dem Torf. Weiterhin tritt Torf auch bevorzugt im unteren Abschnitt der Oberbodenschicht auf.

Der Boden A2 ist meist schwach durchlässig bis durchlässig, nicht langzeitstabil und in der Regel stark kompressibel. Der Alm ist zusätzlich stark wasser- und frostempfindlich. Zum Boden A2 werden auch die Übergangsbereiche zu den Böden A1 und A3 gezählt, d.h. Böden mit organischen oder mittel bis stark humosen Beimengungen.

Für die Differenzierung des Bodens A2 ist ein Buchstabe (A, H oder M) nachgestellt.

A2A steht für Alm,

A2H für Torf und

A2M für Schluffe und Tone mit organischen oder humosen Beimengungen.

Die Böden A2 gehören nach den Klassifikationsmerkmalen der DIN 18196 (Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke) den Gruppen OK, HN, HZ, OU, OT und OH an.

Die Böden A2 mit organischen oder humosen Beimengungen sind ohne besondere Maßnahmen (Bodenverbesserung) für die qualifizierte Verwendung im Erdbau und für die Aufnahme von Bauwerkslasten ungeeignet. Ihre Verwendbarkeit für spezielle Fragestellungen in Verbindung mit einer Bodenverbesserung muss in Eignungsprüfungen gesondert untersucht werden. Ohne Bodenverbesserung kann der Boden A2, geeignete Konsistenz vorausgesetzt, nur in z. B. Schutzwällen und Geländemodellierungen mit mehreren Metern, Verwendung finden oder in Erdstoffdeponien abgelagert werden.

Der Boden A2A (Alm) und A2H (Torf) sind nicht für den Einbau in standsicherheitsrelevanten Bereichen von Sichtschutzwällen geeignet. Die Böden A2 sind mit Ausnahme der Torfe in bautechnischer Hinsicht bei geringen Anforderungen auch für eine Nassverfüllung geeignet.

### **Boden A3 - bindige Deckschichten**

Die bindigen Deckschichten des Bodens A3 sind meist Hochwassersedimente (Auelehm) der früher unregulierten Isar und ihrer Seitenbäche. Der Kornanteil  $\varnothing < 0,063$  mm beträgt in der Regel mehr als 40 Gew.-%. Sie treten außer in flächiger Verbreitung örtlich auch als linsenförmige Einlagerungen überwiegend aus Schluff und vereinzelt aus Ton unter dem Boden A2 auf. In Teilbereichen führt der Boden A3 auch Kies und Sand.

Die Böden A3 sind überwiegend schwach wasserdurchlässig, stark wasser- und frostempfindlich und in der Regel stark kompressibel. Diese Böden gehören nach den Klassifikationsmerkmalen der DIN 18196 (Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke) zu den Gruppen UL, UM, TL, TM, TA.

Für die Aufnahme von Bauwerkslasten ist der Boden A3 nur bedingt geeignet. Die Eignung für den Erdbau hängt von der vorliegenden Konsistenz und den Anforderungen des zu erstellenden Bauwerkes ab. Sie kann durch Bodenverbesserungsmaßnahmen erreicht werden. Prinzipiell eignen sie sich unter Beachtung des Einbauwassergehaltes für Dammschüttungen aller Art. Die Böden A3 sind in bautechnischer Hinsicht bei geringen Anforderungen für eine Nassverfüllung geeignet.



#### 2.1.2.2 Boden B: Quartäre feinkornreiche Kiese und Sande

Der Boden B erfasst den sogenannten Verwitterungsboden unterhalb der Deckschicht (Boden A). Es handelt sich dabei überwiegend um einen quartären, schluffigen bis stark schluffigen Kies und vereinzelt um Sand mit verwitterten Kieskörnern mit einem Feinkornanteil  $\varnothing < 0,063$  mm von 10 bis 40 Gew.-%. Er kann mit Alm, Torf sowie Schluff durchsetzt sein und ein Teil der Kieskörner ist aufgrund der bereits eingetretenen Verwitterung oft mürbe entfestigt. Die Böden B enthalten oft organische, meist pflanzliche Reste.

Der Boden B lässt sich nach dem Feinkorngehalt und seiner bautechnischen Eignung in die Böden B1 und B2 untergliedern. Diese Unterteilung wurde bei den Baugrunduntersuchungen bis 2005 nicht vorgenommen. In diesen Fällen sind die Böden B1 bis B2 als Boden B zusammengefasst beschrieben und dargestellt.

##### **Boden B1 - Quartäre Kiese mit 10 % bis 20 % Kornanteil $\varnothing < 0,063$ mm**

Dieser Boden ist in der Regel als schwach durchlässig einzustufen, bedingt wasser- und frostempfindlich sowie oft schwer entwässerbar. Je nach Gehalt an Feinkorn ist der Boden B1 nach den **Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau ZTVE-StB 09** überwiegend frostempfindlich (Klasse F2) und teilweise stark frostempfindlich (Klasse F3). Nach DIN 18196 sind diese Böden den Gruppen GU bzw. GU\* (Kies-Schluff-Gemische), vereinzelt zu den Gruppen GT und GT\* (Kies-Ton-Gemische) zuzuordnen.

Sie stehen im Baugelände üblicherweise überwiegend dicht und örtlich sehr dicht gelagert an und weisen eine mittlere bis geringe Kompressibilität sowie eine hohe Scherfestigkeit auf, sodass sie zur verformungsarmen Aufnahme auch konzentrierter Lasten geeignet sind. Bei besonderer Beachtung des Einbauwassergehaltes sind sie als Schütt- und Verfüllmaterial geeignet.

##### **Boden B2 - Quartäre Kiese mit 20 % bis 40 % Kornanteil $\varnothing < 0,063$ mm**

Der Boden B2 ist in der Regel als sehr schwach durchlässig einzustufen, wasser- und frostempfindlich sowie sehr schwer entwässerbar (siehe Tabelle 5). Er ist nach ZTVE-StB 09 stark frostempfindlich (Klasse F3). Die DIN 18196 ordnet diesen Boden den Gruppen GU\* (Kies-Schluff-Gemische) und vereinzelt GT\* (Kies-Ton-Gemische) zu.

Sie stehen im Baugelände überwiegend dicht und örtlich sehr dicht gelagert an und weisen eine mittlere Kompressibilität sowie eine mittlere bis hohe Scherfestigkeit auf, was sie ebenfalls zur Aufnahme konzentrierter Lasten geeignet macht. Bei besonderer Beachtung des Einbauwassergehaltes sind sie als Schütt- und Verfüllmaterial geeignet, erfordern aber häufig eine Bodenverbesserung.

#### 2.1.2.3 Boden C: Quartäre feinkornarme Kiese und Sande

Im Boden C sind quartäre, sandige oder sandige, schwach schluffige Kiese sowie in weit geringerem Umfang auftretende, teils schluffige, kiesige Sande zusammengefasst. Auch Zwischenlagen aus stark schluffigem Kies und dünne Lagen aus kiesig sandigem Schluff können in den Kiesen des Boden C vorkommen. Teilweise sind einzelne Steine bis zu ca. 200 mm Kantenlänge eingelagert. Im Allgemeinen sind die Böden C nach DIN 18130 stark wasserdurchlässig. Es muss allerdings damit gerechnet werden, dass die Durchlässigkeit in Abhängigkeit von Feinkorngehalt und Lagerungsdichte örtlich stark wechselt (siehe *Tabelle 2*). Zum Beispiel können sie in rolligen (d.h. feinkornfreien und sandarmen) Zwischenlagen sehr stark durchlässig sein, während in schluffigen Zonen teils nur eine schwache Durchlässigkeit vorliegt.

Der Boden C lässt sich nach dem Feinkorngehalt und seiner bautechnischen Eignung in die Böden C1 und C2 untergliedern.

### **Boden C1 - Quartäre Kiese und Sande mit < 5 % Kornanteil $\varnothing < 0,063$ mm**

Dieser Boden ist nach DIN 18130 in der Regel als stark durchlässig einzuordnen und wird nach ZTVE-StB 09 als nicht frostempfindlich (Klasse F1) eingestuft. Nach DIN 18196 werden diese Böden den Gruppen GI, GE, GW bzw. SI, SE, SW zugeordnet.

Die Lagerung ist aufgrund der örtlichen Erfahrung und der Sondierwiderstände unterschiedlich und kann besonders in den oberen Abschnitten teilweise mitteldicht, überwiegend jedoch dicht bis sehr dicht sein. Es kann von einer geringen Kompressibilität und einer hohen Scherfestigkeit ausgegangen werden. Die Kiese des Bodens C1 sind zur verformungsarmen Aufnahme von Bauwerkslasten, für den Bau von Trag- und Frostschutzschichten sowie als Schütt- und Verfüllmaterial sehr gut geeignet.

### **Boden C2 - Quartäre Kiese und Sande mit 5 % bis 10 % Kornanteil $\varnothing < 0,063$ mm**

Dieser Boden ist überwiegend als stark durchlässig, teils als durchlässig einzustufen und er wird nach ZTVE-StB 09 als gering bis mittel frostempfindlich (Klasse F2) eingestuft. Die DIN 18196 ordnet diese Böden den Gruppen GU, GT bzw. SU, ST zu. Eingelagerte feinkornreiche Schichten sind erfahrungsgemäß den Gruppen GU\*, SU\*, GT und ST zugehörig. Örtlich auftretende Quartärkiese mit mehr als 10 % Kornanteil  $\varnothing < 0,063$  mm, aber ohne mürbe verwitterte Gerölle werden ebenfalls dem Boden C2 zugeordnet. In Tiefen von mehr als 5 m unter Gelände sind in den quartären Kiesen bereichsweise durch Schluff verkittete Schichten mit Mächtigkeiten von 2 m bis 3 m eingelagert.

Die Lagerung ist aufgrund der örtlichen Erfahrung und der Sondierwiderstände sehr unterschiedlich, überwiegend dicht, oft mitteldicht, lagenweise sehr dicht und örtlich locker. Es kann von einer geringen Kompressibilität und einer hohen Scherfestigkeit ausgegangen werden. Die Kiese des Bodens C2 sind zur verformungsarmen Aufnahme von Bauwerkslasten sowie als Schütt- und Verfüllmaterial gut geeignet.

#### **2.1.2.4 Boden D: Im Quartär umgelagerte, tertiäre Böden**

Mitunter sind Kiese und Sande der tertiären Böden E mit Böden C vermengt an der Oberfläche des Tertiärs in umgelagertem Zustand anzutreffen. In seltenen Fällen sind Böden F umgelagert. Die Eigenschaften des nichtbindigen Bodens D unterscheiden sich nicht wesentlich von denen des Bodens E. Sie sind jedoch nicht wie jene waagrecht geschichtet und daher in horizontaler Richtung geringer durchlässig als die nicht umgelagerten tertiären Böden E gleicher Korngrößenverteilung. Ihr Vorkommen ist von untergeordneter Bedeutung.

#### **2.1.2.5 Boden E: Tertiäre Kiese und Sande**

Als Boden E werden die tertiären Sande und Kiese mit Anteilen der Korngrößen unter  $0,063$  mm  $\varnothing$  bis zu 40 Gew.-% zusammengefasst. Ihr Kornaufbau variiert stark und es kommen sowohl schluff-arme Kiese wie auch stark schluffige Sande in unregelmäßigem Wechsel vor. Die tertiären Kiese heben sich in ihrem Kornaufbau von den quartären Kiesen durch einen größeren Sandanteil, der meist als sandig bis stark sandig und nur untergeordnet als schwach sandig zu bezeichnen ist und einen kleineren mittleren Korndurchmesser ab. Im Grobsandbereich zwischen den Korngrößen  $0,6$  mm und  $2,0$  mm liegt häufig eine Fehlkörnung vor. Weiterhin fällt beim Sandanteil der vergleichsweise hohe Anteil an Feinsand auf, der in der manuellen Ansprache ohne begleitend ausgeführte Laborversuche leicht mit dem Feinkornanteil verwechselt werden kann. Innerhalb der Sande können Konkretionen auftreten (bzgl. der Konkretionen siehe Boden F).

Bemerkenswert ist auch der hohe Anteil an gleichkörnigen Fein- und Mittelsanden mit einer Hauptkornfraktion zwischen  $0,1$  mm und  $0,4$  mm, was auf eine große Fließempfindlichkeit hinweist. Bereits ein geringes hydraulisches Gefälle ist ausreichend, um diese Böden in einen instabilen Zustand überzuführen (Schwimmsand). Je nach dem Anteil an Feinkorn sind die Böden nach den ZTVE-StB 09 nicht (Frostempfindlichkeitsklasse F1) oder gering bis mit-

tel frostempfindlich (Klasse F2) oder als sehr frostempfindlich (Frostempfindlichkeitsklasse F3) einzustufen.

In gleicher Weise variiert auch der Durchlässigkeitsbereich nach DIN 18130 in weiten Grenzen von stark bis schwach durchlässig. Wegen der geregelten Ablagerung in fast horizontalen Schichten ist die vertikale Durchlässigkeit in den tertiären Sanden um ein Vielfaches geringer als in horizontaler Richtung. Im Baufeld N9N10 überwiegen die durchlässigen Kiese (siehe *Tabelle 2*).

Aufgrund der Sondierergebnisse im Bohrloch (SPT) und auch der Laborversuche an ungestörten Sandproben sind die Böden dieser Gruppe als dicht bis sehr dicht gelagert einzustufen. Im Labor war es unter normgerechten Bedingungen meist nicht möglich, die in der Natur vorhandene dichte Lagerung wieder herzustellen. Die Böden weisen eine geringe bis sehr geringe Kompressibilität und eine hohe bis sehr hohe Scherfestigkeit auf. Bei Ramm- und Rüttelarbeiten muss daher auch mit erheblichen Schwierigkeiten gerechnet werden.

#### 2.1.2.6 Boden F: Tertiäre Schluffe und Tone

Als Boden F sind die feinkörnigen (bindigen) tertiären Böden mit Feinkornanteilen der Korngrößen unter 0,063 mm von mehr als 40 Gew.-% zusammengefasst. Sie sind im Kornaufbau sehr heterogen zusammengesetzt, wobei es sich um ein breites Spektrum von Tonen bis hin zu sandigen Schluffen handelt. Bei den Kornfraktionen mit bis zu 30 Gew.-% der Korngrößen über 2,0 mm Durchmesser handelt es sich um Kalkkonkretionen. Unter Kalkkonkretionen werden durch chemische Reaktionen zur Ausfällung gekommene, unregelmäßig knollige bzw. plattige Körper, z.T. auch stark kavernöse Körper verstanden.

Neben dem Vorkommen als Einzelkorn können die Kalkkonkretionen auch flächig als zusammenhängende plattige bzw. schiefrige Schicht ausgebildet sein. Erfahrungsgemäß kann die Schichtdicke gelegentlich auch über 20 cm betragen. Der horizontale Trennflächenabstand kann über ein Meter betragen und mit stark oder eng klüftig beschrieben werden.

Die Festigkeit streut mit dem Hohlraumanteil und ist generell als gering bis mittel zu beurteilen. In gleicher Weise wie die Kornverteilung streuen auch die Plastizitätsgrenzen sehr stark. Die Böden mit höherem Sandanteil und die Schluffe mit geringen Plastizitäten sind stark wasserempfindlich, d.h. sie können bereits bei geringer Wasseraufnahme ihre Kohäsion und Festigkeit verlieren.

Diese Böden sind nach den ZTVE-StB 09 überwiegend als sehr frostempfindlich (Klasse F3) einzustufen. Lediglich die ausgeprägt plastischen Tone sind gering bis mittel frostempfindlich (Klasse F2), weniger wasser- und nicht erosionsempfindlich sowie spülungsunwillig (erheblicher Widerstand beim Einrütteln von Spundbohlen oder Trägern). Sie können bei freier Oberfläche zum Quellen neigen. Auch im Hinblick auf die Festigkeit sind die Streuungen sehr groß. Neben dem Auftreten steifer Konsistenz ist ihr Zustand überwiegend halbfest. Es treten auch Böden mit natürlichen Wassergehalten unterhalb der Schrumpfgrenze auf, welche zu den festen Böden gehören. Ton- oder Schluffsteinbildung tritt nur sehr selten in meist wenige cm dicken Lagen auf. Die feinkörnigen Tone zerfallen bei einer Wasserlagerung in der Regel nicht. Sie zerbröckeln aber häufig, weichen auf und lassen sich nach der Wasserlagerung leicht zerdrücken. Demnach ist keine diagenetische Bindung vorhanden. Im natürlichen Zustand ist die Kompressibilität dieser Böden gering und die Scherfestigkeit hoch bis sehr hoch. Die Böden gehören nach DIN 18130 zum Durchlässigkeitsbereich schwach bis sehr schwach durchlässig. Im baupraktischen Sinne können sie als undurchlässig angesehen werden.

### 2.1.3 Bodenkennwerte

Für erdstatische Berechnungen sind die charakteristischen Werte der Bodenkenngrößen für jede Baumaßnahme bei der Flughafen München GmbH anzufragen.

## 2.2 Grundwasserverhältnisse

### 2.2.1 Allgemeines

Das Grundwasser strömt bei unterschiedlichen Grundwasserspiegelhöhen etwa in Neigung des ursprünglichen Geländes mit 0,25 % bis 0,30 % Gefälle nach Nord-Ost. Die Durchlässigkeit der quartären Kiese des Bodens C ist im Allgemeinen hoch bis sehr hoch und weist abhängig von der Körnung starke Schwankungen auf zwischen  $k = 1 \cdot 10^{-1}$  m/s in den feinkornfreien und sandarmen Kiesen (Rollkiese) bis zu etwa  $k = 1 \cdot 10^{-6}$  m/s in feinkornreichen Zwischenlagen.

Neben den quartären Kiesen führen auch die tertiären Schichten Grundwasser. Bei Abdeckung durch bindige tertiäre Formationen kann dieses Wasser gespannt sein und der tertiäre Grundwasserspiegel erfahrungsgemäß bis ca. 0,30 m über den eingeregelter quartären Grundwasserspiegel reichen. Das quartäre sowie das tertiäre Grundwasser sind erfahrungsgemäß nach DIN 4030 nicht betonangreifend.

### 2.2.2 Durchlässigkeitsbeiwerte

Die im Flughafenbereich für Überschlagsrechnungen ansetzbaren mittleren Durchlässigkeitsbeiwerte sind der *Tabelle 2*: zu entnehmen. Die anzusetzenden Durchlässigkeitsbeiwerte sind für jedes Bauvorhaben anhand der Lage im Planungsbereich des Flughafens und in Abstimmung mit der Bauaufgabe zu ermitteln.

*Tabelle 2:*     **Mittlere Durchlässigkeitsbeiwerte quartärer und tertiärer Böden**

Bodenart	Boden	Durchlässigkeitsbeiwert k
Quartäre Kiese:	B2	$k = 1 \cdot 10^{-8}$ m/s
Quartäre Kiese:	B1	$k = 1 \cdot 10^{-7}$ m/s
Quartäre Kiese:	C2	$k = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-6}$ m/s
Quartäre Kiese:	C1	$k = 5 \cdot 10^{-3}$ m/s     bei Grundwasserförderung $k = 2,5 \cdot 10^{-3}$ m/s     bei Versickerung in der ungesättigten Zone
Tertiäre Sande:	E	$k_v = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s, $k_h = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s
Tertiäre Kiese:	E	$k \leq 1 \cdot 10^{-4}$ m/s
Tertiäre bindige Böden: - Tone/Schluffe	F	$k \leq 1 \cdot 10^{-8}$ m/s

### 2.2.3 Grundwasserstände

Die Bauwasserstände und Bemessungswasserstände für bestimmte Bereiche des Flughafengeländes können bei der Fachabteilung FMG/KEUB und im Planungsbereich der 3. Bahn bei FMG-PTB Wasserwirtschaft erfragt werden.

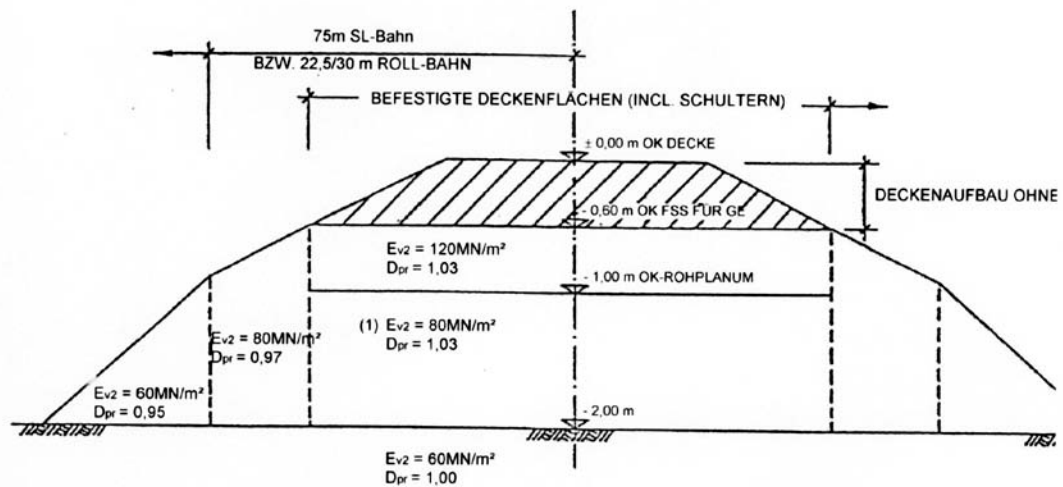
Die FMG verarbeitet und pflegt die von ihr erhobenen Daten über den Untergrund und die Grundwasserstände (hydrogeologische und bauliche Verhältnisse) in einem hydraulischen

Grundwasserströmungsmodell. Bei komplexeren Fragestellungen und kritischen Randbedingungen empfiehlt es sich daher, das Grundwassermodell des Flughafens München zu verwenden (evtl. kostenpflichtig, Anfragen sind an FMG-KEUB als Betreiber des Grundwassermodells zu richten). Der Einsatz des Grundwassermodells zur Bemessung von Bauwasserhaltungen im Planungsbereich der 3. Bahn ist mit FMG-PTB Wasserwirtschaft und FMG-KEUB abzustimmen.

### 3 Qualitätsanforderungen im Erd- und Grundbau

#### 3.1 Verdichtungsanforderungen

##### GEFORDERTE $E_v$ -WERTE, VERDICHTUNGSGRAD



ANM.: (1) – AUCH IN ABTRAGSBEREICHEN BIS 0,5 m  
– AUCH IN ABTRAGSBEREICHEN BIS 0,5 m UNTER ROHPLANUM

#### 3.2 Aufschluss- und Pegelbohrungen im Planfeststellungsbereich MUC

##### 3.2.1 Aufschlussbohrungen

Als Bohrmethoden kommen nur Verfahren mit durchgehender Gewinnung gekernter Bodenproben in Frage. Üblicherweise sind alle Bohrungen in den quartären Schichten (Bodenklassen 1 bis 5 der DIN 18300) und in den tertiären Schichten (Bodenklasse 3 bis 5, lagenweise verfestigt zu Klasse 6 der DIN 18300) bis zu Bohrtiefen von maximal 30 m als Rammkernbohrungen durchzuführen.

Bohrungen mit Endtiefen über 30 m sollen in den Schichten der Bodenklassen 3 bis 5 der DIN 18300 als Rammkernbohrungen oder Rotationstrockenkernbohrungen (Einfachkernrohr) ohne Zugabe von Wasser und in festen Schichten der Bodenklassen 6 und 7 der DIN 18300 als Rotations-Kernbohrungen mit Doppelkernrohr und mäßiger Spülung durchgeführt werden. Die Bohrlöcher sind fortlaufend mit dem Bohrfortschritt zu verrohren. Der Mindestkerndurchmesser soll 90 mm betragen. Es ist 100% Kerngewinn anzustreben.

Sicherungsmaßnahmen gegen Auftrieb im Bohrloch wie z. B. Bohren mit Wasserüberdruck bis über Gelände bei Tertiärsanden sind erforderlich.

Die Entnahme von Sonderproben mit einem Minstdurchmesser von 100 mm muss in allen Tiefen möglich sein. Der fortlaufend gewonnene Bohrkern ist in Bohrkisten einzulagern.

Vom Geräteführer ist an der Bohrstelle ein Schichtenverzeichnis nach DIN 4022 T1 gleichlaufend mit dem Bohrfortschritt zu führen.

Beim Verfüllen der Bohrlöcher sind alle tertiären Schichten und die Grenze zwischen den quartären und den tertiären Bodenschichten generell mit einer schwindfreien Zement-Bentonit-Suspension abzudichten (Rückstellproben, siehe Punkt 3.2.2, Tertiär).

Die genauen, auf das Untersuchungsobjekt abgestimmten Anforderungen an den Bohrbetrieb und die detaillierten Bohranweisungen werden von TUM-ZG zur Verfügung gestellt.

### **3.2.2 Grundwassermessstellen**

Nach den wasserrechtlichen Bestimmungen gelten folgende Auflagen:

#### **Bohrungen:**

Die maximale Bohrendtiefe wird auf 410 m NN (entsprechend ca. 35 m unter GOK) begrenzt. Es sind nur Trockenkernbohrverfahren mit durchgehender Probengewinnung zulässig. Sind aus bohrtechnischen Gründen ausnahmsweise Spülbohrungen erforderlich, so ist als Spülung nur reines Wasser ohne Zusätze zugelassen. Hydraulisch und hydrochemisch eigenständige Grundwasser-Stockwerke (zum Beispiel quartäres und erstes tertiäres Stockwerk) sind durch getrennte Bohrungen zu erschließen und getrennt auszubauen. Der Ausbau von sogenannten Mehrfach-Messstellen in einem Bohrloch ist nicht zulässig.

Der Bohrenddurchmesser muss mindestens Ausbauaußendurchmesser + 160 mm betragen. Für Messstellen DN 125 (5") ist damit ein Bohrdurchmesser von mindestens 300 mm erforderlich.

Bohrproben sind mindestens meterweise und bei Schichtwechsel zu entnehmen. Die Proben sind geschützt vor Witterungseinflüssen nach Absprache mit TUM-ZG und dem Wasserwirtschaftsamt Freising aufzubewahren.

#### **Ausbau zur Messstelle:**

Der Ausbau hat mit korrosionsbeständigen Filter- und Vollrohren (in der Regel ohne Sumpfrohr) mit mindestens DN 125 Innendurchmesser zu erfolgen und ist auf einem gesonderten Formblatt (siehe *Anhang B*) zu protokollieren.

- Quartär:

Ab Sohle bis 2 m über Grundwasseroberfläche ausschließlich Filterrohre (bei flurnahem Grundwasserspiegel jedoch nur bis 0,5 m unter Gelände), Hinterfüllung mit Filterkies im Bereich der Filterstrecke und 0,5 m darüber, Sandgegenfilter und geeignete Abdichtung des Ringraumes in der ungesättigten Zone.

- Tertiär:

Filter im tertiären Aquifer und wirksame Ringraumabdichtung mit aufsteigenden Zementationsverfahren im Bereich der gesamten Deckschichten, Nachweis der fachgerechten Ausführung der Abdichtungsmaßnahme, Entnahme mindestens einer Würfelprobe der Dichtungsmasse als Rückstellprobe von jedem Zementationsabschnitt.

Bohrlochverfüllung und Rückbau von Grundwassermessstellen:

Vorhandene Grundwassermessstellen dürfen nur nach Vorlage von Rückbauplänen über FMG-TEWW bzw. TUM-ZG und nach Zustimmung des Wasserwirtschaftsamtes Freising verändert oder beseitigt werden. Ein nicht ausgebautes Bohrloch ist mit geeignetem Dichtungsmaterial wieder zu befüllen und abzudichten, im Tertiär grundsätzlich mit Zement-Bentonit-Suspension zu plombieren.

- Klarpumpen:

Jede ausgebaute Grundwassermessstelle ist vor der Abnahme wirksam zu entsanden und klar zu pumpen. Hierbei ist in der Regel eine Mindestpumpdauer von 5 Stunden mit mehrfachem Intervallbetrieb der Pumpe erforderlich. Auf die einschlägigen technischen Regeln, Hinweise und Merkblätter wird verwiesen.

- Einleitung in einen Vorfluter:

Das geförderte Wasser aus den Entsandungspumpen ist über ein ausreichend dimensioniertes Absetzbecken (Sandfangbehälter) in den örtlichen Vorfluter zu leiten oder breitflächig zu versickern.

### **Vorlage von Unterlagen und Daten:**

Nach Abschluss der Bohrungen ist ein Bericht zu fertigen und über FMG-TEWW bzw. TUM-ZG dem Wasserwirtschaftsamt Freising vorzulegen. Der Bericht soll in schriftlicher Form und an Hand von Plänen und grafischen Auswertungen insbesondere folgende Angaben zu jeder Bohrung enthalten:

- Rechts- und Hochwert in Gauß-Krüger-Koordinaten (Meter-Genauigkeit) und Flughafen-Koordinaten (Zentimeter-Genauigkeit), Messpunkthöhe mNN (Zentimeter-Genauigkeit),
- Bohrverfahren und Bohrdurchmesser,
- erbohrte Schichtenfolge nach geologischer Ansprache der Bohrproben,
- Ausbaubezeichnung (vollständige Darstellung und Bezeichnung aller in den Untergrund eingebrachten Ausbauteile, Baustoffe und Schüttgüter nach Lage, Menge und Qualität),
- Dokumentation der Ringraumabdichtungen (Bestandteile und Zusammensetzung der Dichtungsmasse, Einbauverfahren, zeitlicher Ablauf, Angabe von Sollmenge und eingebauter Ist-Menge je Abdichtungsabschnitt),
- qualitativer und quantitativer Nachweis der Ringraumabdichtungen,
- Entsandung und Entwicklung,

Ausgenommen von diesen Vorgaben sind Bohrungen zur Baugrunderkundung, die zu bauwerksbezogenen Grundwasserpegeln ohne wasserwirtschaftlichen Beweissicherungszweck ausgebaut werden. Auch hier ist auf einem gesonderten Formblatt (siehe *Anhang B*) der Ausbau zu protokollieren.

Bohrungen mit einer Endteufe von mehr als 35 m, entsprechend < 410 m NN sowie Pumpversuche über mehr als 144 Stunden Dauer oder an mehreren Brunnen oder Messstellen gleichzeitig sind rechtzeitig vor Bauausführung wasserrechtlich zu beantragen.

Oberhalb dieser Endteufe ist es ausreichend, dass die genannten Auflagen erfüllt und die Maßnahme wasserrechtlich über FMG-TEWW angezeigt wird.



### 3.3 Trogbauweise - Baugrubenumschließungen

Alle Verbaumaßnahmen sind so auszuführen, dass die Auswirkungen auf die Strömungs- und Potentialverhältnisse im quartären und tertiären Grundwasser minimiert werden. Insbesondere müssen das Druckpotential des tertiären Grundwassers und die hydraulische Dichtwirkung der tertiären Deckschichten erhalten bleiben.

Als Baugrubenwände für Baugrubenumschließungen können neben Spundwänden auch Bohrpfehlwände, Schlitzwände oder Dichtwände mit eingestellter Spundwand oder mit Stützung durch den Erdkörper zur Anwendung kommen. Die Baugrubenumschließung / Dichtwand ist mindestens 0,8 m in die bindigen tertiären Schichten einzubinden.

Bei Spundwänden und Schmaldichtwänden ist zu beachten, dass diese erfahrungsgemäß bei den vorhandenen Untergrundverhältnissen nur bis zu Tiefen von etwa 20 m in den Untergrund eingebracht werden können. Wie die örtlichen Erfahrungen zeigen, sind selbst Einbindetiefen von < 20 m, aufgrund der dichten Lagerung bzw. der halbfesten bis festen Konsistenz des Tertiärs, nur mit großem technischen und zeitlichen Aufwand möglich.

**Spundwände** können bei den geforderten großen Tiefen und den dicht gelagerten bzw. halbfesten bis festen Bodenschichten erfahrungsgemäß nur mit Spülhilfe eingebracht werden. Es sollten nur schwerste Profile mit einem Widerstandsmoment größer gleich dem des Profils BU 25 eingesetzt werden, wobei die Schlossrestwassermenge 3 l/s je 1000 m<sup>2</sup> benetzter Wandfläche nicht überschreiten soll. Es sind nur neue oder gebrauchte unverformte Bohlen mit Toleranzen von neuen Bohlen zu verwenden. Empfohlen wird der Einsatz von Doppelbohlen. Die Schlösser sind mit einer umweltverträglichen Schlossdichtung zu versehen. Weiter sind die Bohlen im sogenannten Rüttelspülverfahren einzubringen, wobei je Doppelbohle 4 Lanzen vorhanden sein müssen. Zum Einrütteln ist ein frequenzsteuerbarer, mäklergeführter Rüttler erforderlich. Während der Einbringung der Spundbohlen sind u. a. die Leistungsaufnahme, die Rüttelfrequenz, die Eindringgeschwindigkeit sowie der Spülwasserdruck jeweils tiefenabhängig durch automatische Datenerfassungstechnik zu protokollieren. Beim Ziehen der Spundbohlen sind die Schlitzte in den tertiären Schichten zu verschließen, wobei die Wasserwegigkeit im Quartär erhalten bleiben muss. Die Verfüllmenge muss dabei dem dreifachen Spundbohlenvolumen entsprechen. Für das Einbringen und Ziehen von Spundwänden sind die wasserrechtlichen Auflagen und die am Flughafen geltenden technischen Verfahren zur Qualitätssicherung zu beachten. Der Qualitätsnachweis ist an 2 Kalibrierversuchen zu je 3 Doppelbohlen in Bereichen mit unterschiedlichem Schichtenaufbau nachzuweisen. Verbleiben die Spundwände im Boden, sind die Spüllanzen mit Zementsuspension zu verfüllen.

Die Herstellung einer **Dichtwand**, in die eine Spundwand eingestellt wird, hat nach DIN 4126 unter Beachtung von DIN 4127 zu erfolgen. Die Mindestdicke sollte 600 mm betragen und die Lamellenlänge sollte im Bereich mit unmittelbarer Anschlussbebauung ohne Eignungsversuche nicht größer als 2,5 m angenommen werden. Die Standsicherheit des offenen Schlitzes ist nachzuweisen. Hierbei ist auch der tertiäre Wasserdruck zu berücksichtigen. In den stark durchlässigen Kiesen (Rollkieslagen) kann es zu Suspensionsverlusten und zu großen seitlichen Eindringtiefen der Suspension kommen. Bei einer im Einphasensystem hergestellten Schlitzwand ist zu beachten, dass vor dem Öffnen des Nachbarschlitzes eine ausreichende Festigkeit erreicht ist. Die Wahl der Spundwand erfolgt nach statischen Erfordernissen. Zur Qualitätssicherung sind Untersuchungen in Anlehnung an DIN 4126 und DIN 4127 auszuführen. Die Grundwasserunschädlichkeit der Dichtsuspension ist zu belegen.

**Schlitzwände** sind gemäß DIN 4126 unter Beachtung von DIN 4127 herzustellen. Beim erdstatischen Nachweis des mit stützender Flüssigkeit gefüllten, offenen Schlitzes ist der tertiäre Wasserdruck mit zu berücksichtigen. In den stark durchlässigen Kiesen (Rollkieslagen) kann es zu Suspensionsverlusten und zu großen Eindringtiefen der Suspension kommen. Des Weiteren sind die sehr gleichkörnigen Sande (Schwimmsande) zu beachten. In Abhängigkeit von der gewählten Schlitzwandbreite und der sich dabei ergebenden Sicherheit gegen Bo-

denverbruch im gestützten Schlitz kann die Ausführung eines Probeschlitzes gemäß DIN 4126 erforderlich sein.

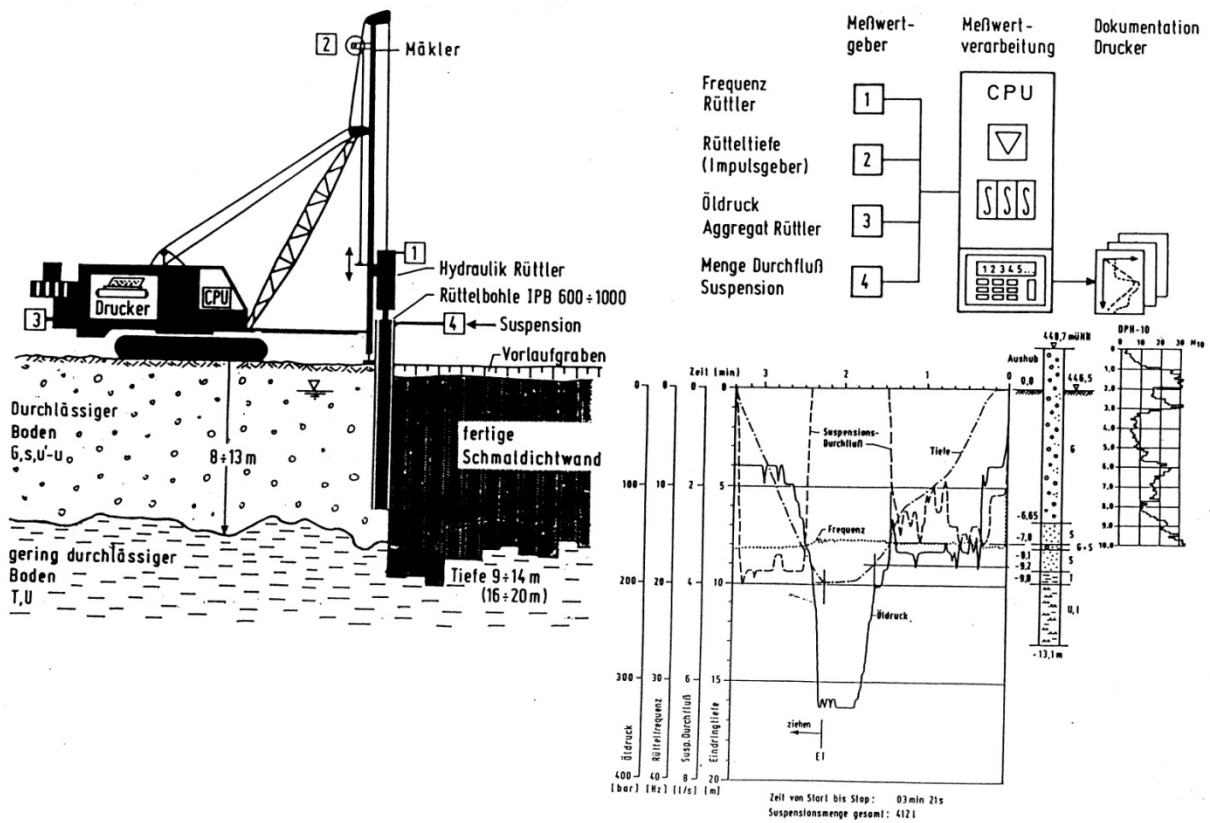
Für das Herstellen von **Bohrpfahlwänden** sind die Grundsätze und Einzelempfehlungen aus DIN 4014 bzw. ENV 1536 zu berücksichtigen. Besonders ist bei den zu verrohrten Bohrungen zu beachten, dass der Wasserspiegel im Bohrloch zur Vermeidung eines Sohlaufbruches über den Bemessungswasserspiegel zu halten ist. Aufgrund der Gefahr der Undichtigkeit, insbesondere in den gleichkörnigen Sanden, ist auf einen ausreichenden Überschnitt der Bohrpfähle unter Berücksichtigung der möglichen Abweichungen zu achten. Die Lotabweichung sollte 0,5 cm je Meter Bohrpfahlänge nicht überschreiten.

Für die Herstellung von Erdkörper gestützten **Schmaldichtwänden** sind im Hinblick auf die Einbringung und Dichtigkeit die auf dem Flughafengelände üblichen Qualitätsstandards für die Ausführung und die Dokumentation einzuhalten:

- Die Dicke des Schuhs am Stahlprofil soll 7,0 cm nicht unterschreiten.
- Der Profilanschluss muss gewährleistet sein.
- Die Eignung der Mischung ist im Hinblick auf Festigkeit, Durchlässigkeit und Erosionsbeständigkeit durch eine Eignungsprüfung zu belegen.
- Durch Eigenüberwachung während der Bauausführung sind die Dichten und Fließeigenschaften sowie durch Fremdüberwachung die Festigkeiten und Durchlässigkeiten der Suspension laufend zu kontrollieren. Entnahme von 2 Proben je 1000 m<sup>2</sup> Dichtwand und fachgerechte Lagerung ( $\varnothing > 100$  mm,  $l > 200$  mm).
- Dichtwand und fachgerechte Lagerung ( $\varnothing > 100$  mm,  $l > 200$  mm).
- Verwendung eines frequenzsteuerbaren mäklergeführten Rüttlers und einer Rüttelbohle mit Metermarkierungen.
- Während der Herstellung sind das Schreitmaß, die Leistungsaufnahme des Gerätes, die Rüttelfrequenz, die Eindringgeschwindigkeit des Stahlträgers, der Suspensionsverbrauch und der Suspensionsdruck in Abhängigkeit von der jeweiligen Tiefe durch Datenerfassungsgeräte automatisch zu protokollieren und zeichnerisch darzustellen.
- Erstellung und laufende Aktualisierung eines Abwicklungsplanes mit vorhandenen Bodenaufschlüssen und Eintragung der Stiche mit Nummer, Tiefe, Datum und Einbindekriterien.
- Die am Bohlenfuß verbleibenden Bodenreste sind bodenmechanisch zu beurteilen und zu protokollieren.
- Der Anschluss an bestehende Bauteile oder Spundwände muss dicht sein, was je nach örtlichen Verhältnissen durch entsprechend ausgebildete Anschlussstiche oder z. B. durch Bodenvermörtelungen im Düsenstrahl-Verfahren erreicht werden kann.
- Die Durchlässigkeit der abgebundenen Dichtwandmischung soll einen Wert von  $k = 1 \times 10^{-8}$  m/s nicht unterschreiten.
- Die fertige Wand muss gegen Beschädigung, wie z. B. Überfahren gesichert werden.
- Die ausreichende Zugabe von Suspension ist durch einen stets mit Suspension gefüllten Vorlaufgraben zu garantieren.

Der Qualitätsnachweis ist durch 2 Kalibrierversuche mit je 6 Stichen an Stellen mit unterschiedlichem Schichtaufbau nachzuweisen.

Nachstehend ist am Beispiel einer Schmaldichtwand das Protokoll mit tiefenabhängiger automatischer Aufzeichnung der Herstellungsparameter für die Tiefenfestlegung aus dem Kalibrierversuch dargestellt. In gleicher Weise erfolgt die Qualitätskontrolle bei Herstellung von Spundwänden.



## 4 Qualitätskontrolle im Erd- und Grundbau

### 4.1 Flächendeckende Dynamische Verdichtungskontrolle (FDVK)

#### 4.1.1 Allgemeines

Bei der FDVK werden selbstfahrende Vibrationswalzen (Prüfwalzen) verwendet, die mit Hilfe registrierender Messeinrichtungen bereits während des Abwalzens den jeweiligen Verdichtungszustand des Erdkörpers durch einen dynamischen Messwert qualitativ anzeigen. Durch die kontinuierliche Aufzeichnung der Messdaten während der Prüffahrten und deren Dokumentation soll eine Beurteilung des Verdichtungszustandes und der Gleichmäßigkeit der verdichteten Planien erzielt werden. Damit ist sowohl die Möglichkeit zur Durchführung rationaler Verdichtungsarbeiten als auch zur arbeitsintegrierten, flächenhaften Eigenüberwachung gegeben.

Der Einsatz der Prüfmethode setzt die Kalibrierung des eingesetzten Messsystems (Prüfwalze, Messwerterfassung) voraus, mit dem die Zuordnung des dynamischen Messwertes zu den vertraglich vereinbarten Qualitätsanforderungen festgestellt werden soll.

Das Vorhalten und Betreiben der entsprechenden Mess- und Aufzeichnungsgeräte der FDVK sowie die Kalibrierung und Dokumentation der einzelnen Prüffahrten sind in eigenen Leistungspositionen zur FDVK erfasst.

Bereits bei Angebotsabgabe ist eine Geräteaufstellung vorzulegen, in der die zum Einsatz kommenden Vibrationswalzen sowie das vorgesehene Messwerterfassungs- und Aufzeichnungssystem angegeben werden. Die Leistungsfähigkeit der Prüfwalzen bzw. der Messwerterfassung muss auf die Kapazität des Erdbaubetriebes abgestimmt sein.

Für die Eigenüberwachung der Bodenverdichtung ist die Methode M2 (Flächendeckende Dynamische Verdichtungskontrolle FDVK) der ZTVE-StB 09 im Abschnitt 14.2.3 anzuwenden.

Die folgenden Ausführungen gelten in Verbindung mit der Technischen Prüfvorschrift TP BF-StB Teil E 2, "Flächendeckende dynamische Verfahren zur Prüfung der Verdichtung im Erdbau", Ausgabe 1994 und dem "Merkblatt über flächendeckende dynamische Verfahren zur Prüfung der Verdichtung im Erdbau", Ausgabe 1993, die von der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, in 50996 Köln bezogen werden können.

#### 4.1.2 Prüfwalze, Messwerterfassungs- und Aufzeichnungsgeräte, Dokumentation

Prüfwalzen sind mit geeigneten Messsystemen versehene Vibrationswalzen, die zur Prüfung der Verdichtung kalibriert sind und besondere Anforderungen an die Betriebs- und Messtechnik erfüllen. Messwalzen sind Vibrationswalzen mit Messsystem die für die Verdichtung von Böden eingesetzt werden. Der für Prüfzwecke technisch einwandfreie Zustand der zum Einsatz vorgesehenen Vibrationswalze (Prüfwalze) ist durch ein max. 6 Monate altes Zertifikat des Herstellers nachzuweisen. Die Kontrolle des technischen Zustandes erfolgt bei der Kalibrierung.

Das Mess- und Aufzeichnungsgerät muss folgende Vorgaben erfüllen:

- In der Walze eine ständige flächige Darstellung der Verdichtungsqualität (**Flächenplot**) von mindestens 10 Prüfspuren des Prüffeldes entsprechend der Fahrtrichtung
- Geschwindigkeitsgesteuerte kontinuierliche Darstellung und Speicherung des **dynamischen Messwertes** mit Kennzeichnung eines ev. Sprungbetriebes
- Anzeige und Speicherung der **Vibrationsfrequenz** mit Minimal-, Maximal- und Mittelwert
- Anzeige und Speicherung der **Geschwindigkeit** mit Minimal-, Maximal- und Mittelwert
- Umschaltmöglichkeit zwischen **Flächenplot** und **Liniendarstellung** einer Prüfspur

- Angabe des arithmetischen Mittelwertes der Messwerte für jede Prüfspur
- Möglichkeit der Datenübertragung auf PC zur späteren Weiterbearbeitung

Falls vom Auftragnehmer (AN) Messverfahren bzw. Aufzeichnungsgeräte eingesetzt werden sollen, die nicht dem Compactometer-Messprinzip mit dem Aufzeichnungsgerät CDS-012 (Geodynamic AB, Schweden) oder dem Terrameter-Messprinzip mit dem Aufzeichnungsgerät BCM (BOMAG, Deutschland) entsprechen, sind vom AN die Funktionsweise und die Eignung zu seinen Lasten nachzuweisen und ein Datenausgang (Anschlussbuchse) auf das Aufzeichnungsgerät CDS-012 bereitzustellen.

Die dynamischen Messwerte sind in einer flächigen farbigen oder vergleichbaren Darstellung (Flächenplot gemäß Anhang 2.3 oder 2.4 der TP BF-StB, Teil E2) entsprechend ihrer Spurfolge zu dokumentieren, wobei durch unterschiedliche Farb- oder Grauabstufungen die Höhe von Unterschreitungen des bei der Kalibrierung festgelegten Grenzwertes des dynamischen Messwertes dargestellt werden soll. Die Verteilung der Messwerte bzgl. des gewählten Grenzwertes und der festgelegten Abstufungen (Unterschreitungen) ist gemäß ZTVE-StB 09 Abschnitt 14.2.3 statistisch auszuwerten. Die Messdaten von Vibrationsfrequenz, Geschwindigkeit sowie die gewählte Prüfamplitude pro Prüfspur sind auf dem zuvor beschriebenen Flächenplot mit auszudrucken.

Die gespeicherten Messdaten je Prüffeld sowie dessen Eckkoordinaten sind dem AG auf Datenträger (CD/DVD) zusammen mit den zugehörigen Prüfprotokollen zu übergeben.

Gegebenenfalls ist vom Hersteller des Mess- bzw. Aufzeichnungsgerätes auf Kosten des AN ein Umsetzprogramm für die Datenübernahme zur Verfügung zu stellen, falls das Datenformat nicht dem von Geodynamic AB oder BOMAG entspricht.

### **4.1.3 Maschinenparameter und Kalibrierung**

#### **4.1.3.1 Maschinenparameter**

Die Vibrationsfrequenz, Fahrgeschwindigkeit und Amplitude sowie deren tolerierbare Abweichungen werden bei der Kalibrierung der Prüfwalze festgelegt. Die Prüfwalze muss über justierbare Arretiervorrichtungen oder vergleichbare Einrichtungen verfügen, mit denen Frequenz, Fahrgeschwindigkeit und Amplitude konstant gehalten werden. An der Prüfwalze ist eine Abstreifvorrichtung zu installieren, die das Anlegen von Boden an die Bandage verhindert.

Der Walzenfahrer soll für die Anwendung der FDVK besonders qualifiziert sein.

Bei den Mess- bzw. Prüffahrten sind der dynamische Messwert, die Frequenz und Geschwindigkeit an Mess- oder Aufzeichnungsgeräten im Führerstand anzuzeigen, wobei die analoge Anzeige (z. B. Tacho) zu bevorzugen ist.

Das Betriebsgewicht der Prüfwalze darf bei Frostschutzschichten 13-Tonnen und bei den übrigen Schichten 19-Tonnen nicht überschreiten und ist mit dem AG auf die Prüfaufgabe hin abzustimmen.

Die Prüffahrten dürfen nicht im Sprungbetrieb erfolgen, es sei denn, das Messsystem ist darauf abgestimmt. Ist auch durch Variation der Maschinenparameter (Frequenz, Amplitude, Balastierung, usw.) der Sprungbetrieb bei dafür nicht geeignetem Verdichtungsmessgerät unvermeidbar, ist die Prüfwalze und/oder das Messsystem auszutauschen.

#### 4.1.3.2 Kalibrierung und dynamische Messwerte

Die Anwendung der FDVK basiert auf der Einhaltung dynamischer Grenzwerte, die es mindestens zu erreichen gilt. Die Kalibrierung der Prüfwalze soll den Zusammenhang des dimensionslosen dynamischen Messwertes zu den bauvertraglich geforderten Qualitätskriterien wie Verdichtungsgrad oder statischem Verformungsmodul feststellen und ist in den TP BF-StB, Teil E 4 geregelt. Als konventionelle punktuelle Prüfmethode können direkte und indirekte Prüfverfahren nach ZTVE-StB 09 herangezogen werden:

direkte Verfahren:

- Dichtemessungen und Bestimmung des Verdichtungsgrades (DIN 18 125, Blatt 1 und 2, DIN 18127)

indirekte Verfahren:

- Plattendruckversuche (DIN 18 134),
- Rammsondierungen (DIN 22476-2),
- Radiometrische Verfahren zur Bestimmung der Dichte (TP BF-StB Teil B 4.3)
- Dynamischer Plattendruckversuch (TP BF-StB Teil B 8.3)
- in Verbindung mit dem statischen Plattendruckversuch (DIN 18134).

Die Randbedingungen der Kalibrierung richten sich nach den späteren Prüfaufgaben. Daher ist das Kalibrierfeld hinsichtlich der Schichtdicke der Einbaulagen, der Bodenart, der Liegezeit zwischen Messfahrt und punktuellen Prüfverfahren und der Untergrundsteifigkeit entsprechend anzulegen. Die Gültigkeit der Kalibrierung ist nur dann gewährleistet, wenn die bestimmenden Parameter des Kalibrierfeldes und der Prüfwalze einschl. Messsystem mit denen der späteren Prüflose übereinstimmen.

Sämtliche in Frage kommenden Kombinationen von Prüfwalzen und Einbaumaterialien sind vor Beginn der Erdarbeiten zu kalibrieren bzw. die Notwendigkeit einer Kalibrierung mit dem AG abzustimmen. Das Schüttmaterial darf in seinen, die Verdichtung bestimmenden Eigenschaften in der Prüffläche nicht wechseln. Die vorgesehene Prüffläche ist im Bedarfsfall in kleinere Prüfflächen mit jeweils annähernd gleichen Bodeneigenschaften aufzuteilen.

Die zulässige Schütthöhe der Einbaulagen hängt von den Bodeneigenschaften, den Verdichtungsanforderungen, den eingesetzten Verdichtungsgeräten und von den konventionellen Prüfmethode ab. Sie wird durch die Kalibrierung ermittelt.

Die Ergebnisse der Messfahrten der Kalibrierung und der punktuellen Vergleichsversuche sind in Form eines Berichtes (Vorgehensweise, Randbedingungen, tabellarische Versuchszusammenstellung und Diagramm) mit Wertung der Ergebnisse dem AG zu übergeben.

Die mit der Kalibrierung festgelegten Kriterien (Maschinenparameter, Schütthöhe, dynamischer Grenzwert, Prüfmethode, Prüfumfang, Prüfmanagement, etc.) sind von den Beteiligten (AN, AG) einvernehmlich anzuerkennen. Legt der AN eine Kalibrierung ohne Einbeziehung des AG vor, so muss diese rechtzeitig vor Beginn der Erdarbeiten auf ihre Eignung überprüft und anerkannt werden.

Die folgenden Grafiken zeigen das Ergebnis der Kalibrierung sowie Flächenplots mit dem BCM-System und dem System Geodynamic AB.

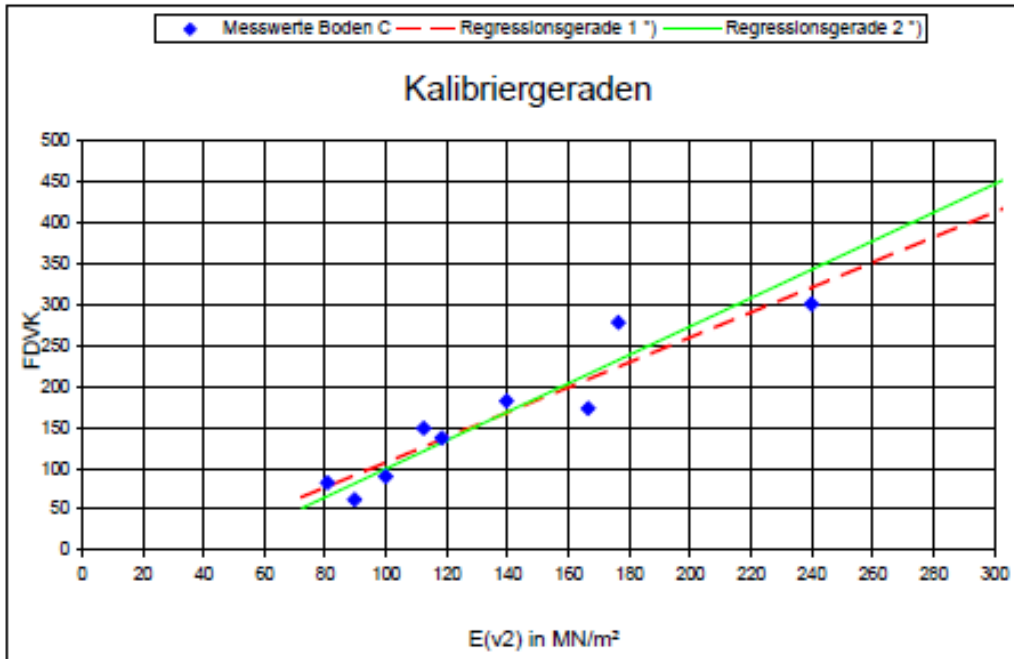
# **Flughafen München** Erweiterung Terminal 2, Vorfeld Ramp 3

## **Boden**

Boden: C  
GI / GU  
v. a. In Abtragsbereichen  
Fläche: Vorfeld Ramp 3

## **Maschine**

Modell: BW 213 DH 3  
Gewicht: 12650 kg  
Frequenz: 33 Hz  
Geschw.: 4 km/h  
Amplitude: klein



\*) Die Kalibriergeraden 1 und 2 ergeben sich aus der Regressionsanalyse infolge der Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate.

- 1) Regressionsgerade 1 dient dazu dem im Bauvertrag geforderten Qualitätskriterium (Verdichtungsgrad und Verformungsmodul) den Mindestwert für den FDK-Grenzwert auf dem Prüflos zuzuordnen.
- 2) Regressionsgerade 2 dient dazu aus den FDK-Meßwerten der Prüfwalze auf den Verformungsmodul bzw. Verdichtungsgrad zu schließen.

## **Ergebnisse der Kalibrierung**

### *Regressionsgerade 1*

a = -47,2  
b = 1,534  
y = -47,2 + 1,534 \* x

### *Regressionsgerade 2*

r = 0,94  
s(y,x) = 30,59  
c = 43,17  
d = 0,575  
x = 43,2 + 0,575 \* y

gefordert: E(v2)	min. dyn. MW
45	22
60	45
70	60
80	76
100	106
120	137
150	183
180	229

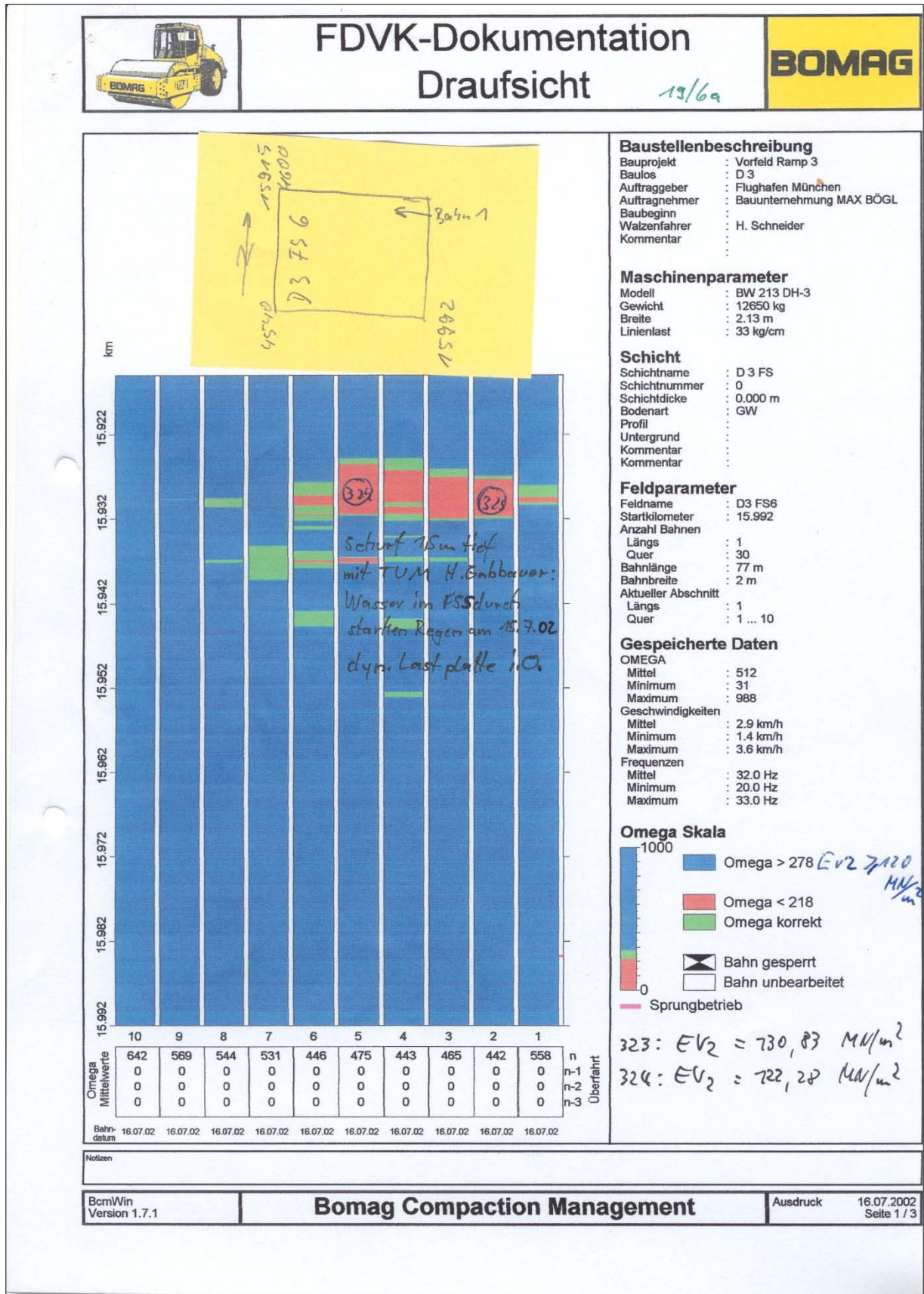
Anforderung Ev2 > 60 MN/m²

Ev2 = 45 -->	Omega < 22	
Ev2 = 60 -->	Omega > 45	

Anforderung Ev2 > 80 MN/m²

Ev2 = 70 -->	Omega < 60	
Ev2 = 80 -->	Omega > 76	







7200/653

CDS-012J GEODYNAMIK AB  
Compaction Documentation System

2/1

TU-MÜNCHEN  
:3-07-03 15:48

Kontrollprüfung

Rollweg B5

OBJEKT : TU-MÜNCHEN MUC B5

## MASCHINENPARAMETER

Modell : H-4011 *HAMM*  
Gewicht : 12200 kg  
Breite : 210/213 cm  
Amplitude : 2.0/0.8 mm

KALIBRIERDATEN *OK-Rollplanum*

Lage : 0 A U. TRAGSCHICHT  
f: 38 Hz v: 4.0 km/h A: klein

## SPURMARKIERUNGEN für

- ② f-Abweichung > 4% (36.5-39.5)  
Sprungbetrieb > 25%  
v-Abweichung > 10% (3.6-4.4)

## RESULTATE - LETZTER ÜBERGANG

Max Spurlänge : 49.0 m  
Gesamtfläche : 822 m<sup>2</sup>  
Ein Messwert : 1.1 m<sup>2</sup>

## VERDICHTUNGSMESSEUR-WERTE

Anzahl	Mittel	SD	CV
780	37.3	9.9	27%

< 30: 216 m<sup>2</sup> (26%)

Grenze	10	20	30
Fläche	0	32	216 m <sup>2</sup>
	0	4	26 %

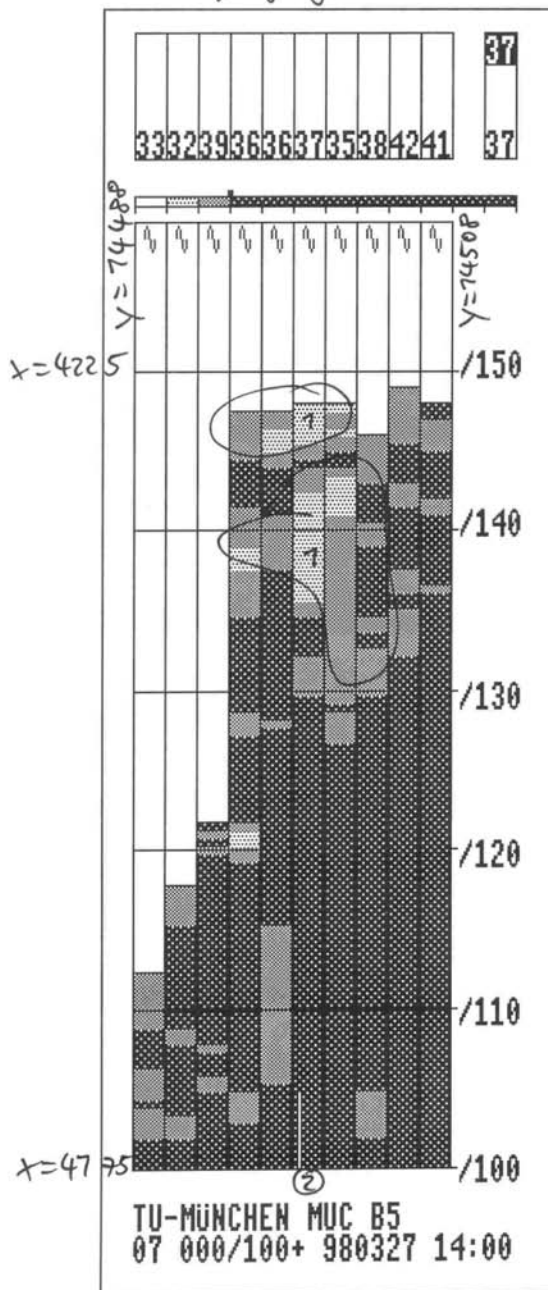
*EV<sub>2</sub> ≥ 80 MN/m<sup>2</sup>*

## FREQUENZ/GESCHWINDIGKEIT

	② Min	Mittel	Max
f	26.0	30.1	30.4 Hz
v	4.0	4.0	4.0 km/h

## BEURTEILUNG:

- ① Schiffe, Schloßlinsen  
Boden austausch empfohlen
- ② geringe f-Abweichung, d.h. i.d.  
i.d. feld TU-München  
Prüfung f. Grundbau  
27.03.98



#### 4.1.4 Prüfungen mit der FDVK

##### 4.1.4.1 Generelle Vorgaben

Der AN hat jedes fertiggestellte Zwischen- und Endplanum flächendeckend zu überprüfen (Eigenüberwachung). Die zu prüfenden Planien sollten dabei aus wirtschaftlichen Gründen Flächen von mind. 500 m<sup>2</sup> aufweisen. Sie müssen wegen der erforderlichen Ebenheit für eine vollständige Bandagenauflage mit einer max. Höhendifferenz von  $\pm 2,5$  cm auf 4 m hergestellt sein. Die Länge eines Prüffeldes darf 150 m nicht übersteigen. Die zu prüfende Fläche ist in einem mit dem AG zuvor festgelegtem Schema durch die FDVK abzuwalzen. Die Prüffahrten sind spurgetreu (ohne Überlappung) durchzuführen.

Die dynamischen Messwerte sind nur bei Vorwärtsfahrt aufzuzeichnen. Die Prüffahrten bei der FDVK erfolgen mit den bei der Kalibrierung festgelegten konstanten Parametern der Vibrationsfrequenz, Abwalzgeschwindigkeit und Amplitude. Die Einhaltung der geforderten Parametergrößen ist bei jeder Messfahrt vom AN zu garantieren.

Bei Überschreitung der Toleranzbereiche für die Maschinenparameter ist die Prüffahrt zu wiederholen. Bei der Vibrationsfrequenz darf hierbei die maximale Abweichung  $\pm 1$  Hz von der Sollfrequenz und bei der Prüfgeschwindigkeit  $\pm 10$  % von der in der Kalibrierung festgelegten Geschwindigkeit betragen.

Die Amplitude für die Prüffahrt wird bei der Kalibrierung festgelegt. Bei kleiner Prüfamplitude sollte der letzte Verdichtungsübergang vor einer Prüffahrt wegen der durch den Verdichtungs Vorgang aufgelockerten Planums oberfläche ebenfalls mit kleiner Amplitude erfolgen.

Bei Prüffahrten mit großer Amplitude muss eine mögliche Auflockerung der Planums oberfläche entweder vor Aufbringen der folgenden Schüttlage oder bei ihrer Verdichtung beseitigt werden. Auf dem Endplanum (z. B. Frostschuttschicht) ist nach der Prüffahrt mit geeignetem Gerät statisch nachzuverdichten.

##### 4.1.4.2 Prüffelder

Zur Lokalisierung des einzelnen Prüffeldes im Baufeld ist ein zugehöriges Prüfprotokoll (Beispiel: siehe Anlage) mit folgenden Eintragungen zu erstellen:

- Datum und Uhrzeit, Prüffeldnummer, Fahrer
- Witterungsbedingungen
- Koordinaten x,y oder km-Stationierung, Breite des Prüffeldes
- Einbaulage und Höhe des Prüffeldes unter Planum
- Lage und Richtung der Prüfspuren im Prüffeld
- Maschinenparameter (Walzentyp, Frequenz, Geschwindigkeit, Amplitude)
- Verhalten der Prüfwalze (Sprungbetrieb, Taumelbewegungen, Konstanz von Frequenz und Geschwindigkeit, usw.)
- Bodenart und Schichtdicke
- Verbesserungsmaßnahmen
- Liegezeit
- örtliche Situation (Böschungen, Einbauten, usw.)
- Zustand des Planums (Wasserpützen, Unebenheiten, usw.)

##### 4.1.4.3 Protokollierung und Qualitätssicherung

Für jede Prüfebene sind Lagepläne mit Angabe der Lage und Bezeichnung der einzelnen Prüffelder zu erstellen und mit Fortschreitung des Erdbaues laufend zu aktualisieren. Diese Pläne sind in der örtlichen Bauleitung des AN jederzeit einsehbar vorzuhalten. Jedem Prüf-

feld wird eine Kennzahl zugewiesen die sich aus der Übergabenummer und der Anzahl der Prüffelder ergibt (z. B. 1/3 , 1.Übergabe/3.Prüffeld).

Das Anfertigen der Lagepläne und des Längsschnittes, die Übergabe der Prüfprotokolle der Flächenplots und der Datenträger incl. aller dazu notwendigen Auswertungen und Verwaltungstätigkeiten gehören zur Dokumentationspflicht der Eigenüberwachung.

Die einzelnen Prüfprotokolle und Ausdrücke der dynamischen Messwerte (Flächenplots) mit sämtlichen handschriftlichen Eintragungen sowie die gespeicherten Messdaten sind bei Anmeldung zur Kontrollprüfung vom AN dem AG mit zugehörigem Lageplanausschnitt (Zwischenstand) zu übergeben. Die Lagepläne mit der Gesamtdarstellung der Prüffeldanordnung sind erst bei der Abnahme an den AG zu übergeben.

Die einzelnen Übergaben und Prüfprotokolle sind in einer Liste fortlaufend zu erfassen und als Datei im EXCEL-Format zu übergeben. In der Übergabenliste sind die laufende Nummer der Übergabe, Datum, Prüfebene und Prüffeldbezeichnungen anzugeben. In der Prüfprotokollliste sind die Kennzahl des Prüffeldes, Prüfebene, Prüffeldbezeichnung, Datum, Koordinaten anzugeben.

Jede Prüffläche wird nach Vorlage der Prüfunterlagen der Eigenüberwachung durch den AN vom AG auf Einhaltung der dynamischen Grenzwerte bzw. der vorgeschriebenen Verdichtung kontrolliert und erst dann zur weiteren Bearbeitung freigegeben. Falls erforderlich werden Zusatzmaßnahmen angeordnet oder Kontrollprüfungen ausgeführt. Für Kontrollprüfungen hat der AN eine Prüfwalze (kalibrierte Messwalze) mit Messwerterfassung kostenlos zu Verfügung zu stellen.

Wird eine nicht geprüfte und/oder nicht freigegebene Fläche ohne Absprache mit dem AG überschüttet, so ist das ursprüngliche Planum zur Prüfung wieder freizulegen.

Besteht die Möglichkeit, dass durch baubetriebliche Verzögerungen die Verdichtungsqualität einer freigegebenen Prüffläche gemindert werden kann, sind rechtzeitig geeignete Schutzmaßnahmen gegen Aufweichen, Auflockern, Erosion usw. zu ergreifen. Unterbleibt dies, verfällt die Freigabe und es ist ein erneuter Nachweis der Verdichtung erforderlich. Nicht geprüfte bzw. noch nicht freigegebene Flächen dürfen nicht befahren werden. Weiter ist bei statischen Versuchen auf der Prüffläche ein Abstand zum Baubetrieb von mind. 50 m einzuhalten.

#### 4.1.4.4 Bewertung der Messergebnisse

Die Bewertung der Ergebnisse und Annahme eines Prüfloses (Prüffläche) richtet sich im Einzelnen nach der ZTVE-StB 09 Abschnitt 14.2.3. Bei Einhaltung des in der Kalibrierung festgelegten Mindestquantils  $T_M$  kann die sofortige Freigabe der Prüffläche erfolgen. Zusätzlich ist an Hand des Flächenplots zu prüfen, ob im Prüflos die Stellen, an denen das Mindestquantil  $T_M$  unterschritten wird, gleichmäßig über die Fläche verteilt sind.

Bei Unterschreitung des Mindestquantils  $T_M$  in Teilbereichen ist eine gezielte Nachverdichtung und erneute Prüfung mit der Prüfwalze erforderlich. Führt eine Nachverdichtung zu keiner Verbesserung, so ist zu überprüfen, ob die Randbedingungen der Kalibrierung hinsichtlich Bodenart und Bodeneigenschaften, Schichtdicke, Festigkeit der Unterlage sowie hinsichtlich der Maschinenparameter erfüllt sind. Im Zweifelsfall sind konventionelle Prüfungen an diesen Teilflächen erforderlich.

Bei Meinungsverschiedenheiten in der Interpretation der Messergebnisse der FDVK zwischen AN und AG gilt das durch herkömmliche Prüfverfahren festgestellte Qualitätskriterium.

#### 4.1.4.5 Konventionelle Prüfungen

Die Einhaltung der geforderten Verdichtungswerte durch konventionelle Prüfungen ist unterhalb der durch die Vibration aufgelockerten Zone, d.h. im allgemeinen in einer Tiefe von 0,10 - 0,20 m unterhalb des Planums nachzuweisen. Bei einer Frostschuttschicht ist der Nachweis auf OK zu führen.

Die Prüfergebnisse sind dem AG immer in ausgewerteter Form (z. B. Druck-Setzungskurven von Plattendruckversuchen, Diagramme von Rammsondierungen, usw.) vorzulegen.

#### 4.1.4.6 Leistungspositionen

Ordnungszahl (OZ)	Menge	Preis
Positionsnummer	Beschreibung	
X 1	1,00 Pauschal Vorhalten und Betreiben der Mess- und Aufzeichnungsgeräte der flächendeckenden Verdichtungskontrolle FDVK, wie in den Vorbemerkungen unter ..... Verdichtung der Erdbauwerke beschrieben	
X 2	1,00 Pauschal Durchführung der Prüffahrten (Eigenüberwachung) und Dokumentation der flächendeckenden Verdichtungskontrolle FDVK wie in den Vorbemerkungen unter ..... Verdichtung der Erdbauwerke beschrieben	
X 3	1,00 Pauschal Durchführung der Kalibrierung einer Bodenart/Prüfwalze im Auftragsbereich zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle FDVK, wie in den Vorbemerkungen unter ..... Verdichtung der Erdbauwerke beschrieben. Die Kosten für die erforderlichen Geräte, Feld- und Laborversuche sind in die Pauschale einzurechnen. Die Ergebnisse der Messfahrten und der punktuellen Vergleichsversuche sind in Form eines Berichtes (Versuchszusammenstellung, Messfahrten auf Datenträger) mit Wertung der Ergebnisse dem AG zu übergeben	

## 4.2 Verdichtungskontrolle - Feldprüfungen, Zugelassene punktuelle Prüfverfahren

Zweck	Verfahren	Vorschrift Standard	Bemerkung
Dichtebestimmung (direkte Verfahren)	Entnahme von Bodenproben, Bestimmung von Masse und Volumen	DIN 18125, T. 2 Deutsches Institut für Normung	Eignung der Verfahren gem. <i>Tabelle 2</i> DIN 18125, T. 2
Dichtebestimmung (indirekte Verfahren)	Bestimmung von Dichte und Wassergehalt mit radiometrischen Verfahren	TP BF-StB, T.B 4.3 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswege, Köln	Anwendung nur nach Kalibrierung mit Verfahren nach DIN 18125, T. 2 und nach Zustimmung durch Gutachter / FMG

Bestimmung der Lagerungsdichte (indirekte Verfahren)	Sondierungen	DIN EN ISO 22476-2	Beurteilung Verdichtungserfolg bevorzugt durch Rammsondierungen. Kalibrierung mit Verfahren nach DIN 18125, T. 2 oder DIN 18134 notwendig
Bestimmung der Verformbarkeit und Tragfähigkeit (Verformungsmodul)	Plattendruckversuch dyn. Plattendruckversuch Benkelmann-Balken	DIN 18134 TP BF-StB, Teil B 8.3 TP BF-StB, Teil B 9.1	Messtiefe = $1.5/.2 \times D$ Lastplatte Kalibrierung erforderlich mit Plattendruckversuch oder FDVK. Zustimmung durch Gutachter / FMG. Nur zur Übersicht und Versuchstellenauswahl, Kalibrierung notwendig, Zustimmung durch Gutachter / FMG.

#### 4.3 Prüfung auf statistischer Grundlage - Stichprobenprüfpläne -

Die Prüfmethode M1 nach ZTVE-StB 09 ist für Baumaßnahmen der Flughafen München GmbH nicht vorgesehen.

#### 4.4 Qualitätssicherungsplan Erdbau, Eigenüberwachung

Für die geotechnische Qualitätssicherung bei Erdarbeiten (Eigenüberwachungsprüfung) gelten die Ausführungen der ZTVE-StB 09 mit der Prüfmethode M3. Auf flächenhaften Planien ist zusätzlich die Methode M2 (FDVK) auszuführen. Die am Flughafen München geltende Mindestanzahl von Eigenüberwachungsprüfungen ist in der nachfolgenden *Tabelle 3*: angegeben.

*Tabelle 3:* **Mindestanzahl von Eigenüberwachungsprüfungen**

Bereich	Mindestanzahl	Zugelassene punktuelle Prüfverfahren nach Abs. 4.2
Frostschuttschicht	2 je 5.000 m <sup>2</sup> und FDVK	Statischer Plattendruckversuch
Planum, Unterbau jede Schüttlage	1 je 5.000 m <sup>2</sup> und FDVK	Statischer Plattendruckversuch oder dynamischer Plattendruckversuch
Untergrund	1 je 5.000 m <sup>2</sup> und FDVK	Statischer Plattendruckversuch
Bauwerksüberschüttung	3 innerhalb des ersten Meters der Überschüttung	Statischer Plattendruckversuch oder dynamischer Plattendruckversuch
Bauwerkshinterfüllung	1 je Bauwerk (Fläche < 50m <sup>2</sup> ), 2 je Bauwerk (Fläche > 50m <sup>2</sup> )	Rammsondierung über die gesamte Einbauhöhe.

		Zusätzlich 1 dynamischer Plattendruckversuch je m Bauwerkshöhe
Schächte (Kanäle, Befeuerung, etc.)	1 je Schacht	Rammsondierung über die gesamte Einbauhöhe. Zusätzlich 1 dynamischer Plattendruckversuch je m Schachthöhe
Leitungsgräben	3 je 150 m Länge pro m Grabentiefe, 3 je 150 m Länge Grabensohle, 3 je 150 m Länge OK Verfüllung	Statischer Plattendruckversuch oder dynamischer Plattendruckversuch

Bei zugelassener Anwendung des dynamischen Plattendruckversuches ist der Umfang der Prüfungen gemäß der obigen *Tabelle 3*: zu verdoppeln. Für die Zuordnung vom dynamischen Verformungsmodul  $E_{vd}$  zum Verdichtungsgrad  $D_{Pr}$  gelten für den Boden C die Richtwerte der Tabelle 10 der ZTVE-StB 09. Für den Verdichtungsgrad  $D_{Pr} \geq 103$  ist ein  $E_{vd}$  von  $60 \text{ MN/m}^2$  einzuhalten. Alternativ kann die Zuordnung  $E_{vd}$  zu  $D_{PR}$  oder  $E_{v2}$  durch eine Probeverdichtung nachgewiesen werden, wobei sich dann die erforderlichen  $E_{vd}$ -Werte i.d.R. verringern.

## 5 Probenlagerung

Lagerung von Bodenproben, Kernkisten usw.

Kerne von typischen Bohrungen sowie Bodenproben zur Beweissicherung (Eimer, Becher/Gläser, Hülsen) werden nach Angaben der FMG bzw. deren Beauftragte zur Aufbewahrung ausgewählt. Die Einlagerung erfolgt durch den Bohrunternehmer in den dafür vorgesehenen Probelagerräumen im Bauteil 116.05, Ebene 02, Raum 020 und 004 bzw. im Bauteil 100.06 (ehem. Sanitärgebäude Campingplatz) des Flughafens München.

Mit der Einlagerung der Kerne bzw. der Entnahme der Proben sind diese zu beschriften (DIN 4021):

1. Kernkisten (auf Deckel und Stirnseiten) mit:
  - Nummer der Bohrung,
  - Tiefenbereich,
  - Bohrunternehmer,
  - Datum der Bohrung.
2. Proben mit:
  - Nummer der Bohrung,
  - Entnahmetiefe von... bis... bezogen auf OK-Gelände,
  - Ober- und Unterseite der Probe bei Sonderproben,
  - Schlagzahl oder Anpressdruck bei Sonderproben,
  - Bodenart,
  - Bohrunternehmer,
  - Datum.

Sonderproben (Güteklasse 1 und 2 DIN 4021) sind an den Enden mit Ceresin oder Ozokerit o. ä. sorgfältig zu versiegeln, so dass eine Mindestlagerzeit von 12 Monaten zu garantieren ist, ohne dass die Güteklasse verloren geht.

Von der FMG bzw. deren Vertretern werden über die eingelagerten Kernkisten und Bodenproben Inventarlisten geführt.

Bei Einlagerung der ausgewählten Kerne/Proben ist vom Bohrunternehmer der vollständig ausgefüllte Bodenprobenlaufbeleg (Formular 2.6) an die FMG bzw. deren Beauftragte zu übergeben.

Eingelagerte Kernkisten, Probebehälter (Güteklasse 3 - 5) werden Eigentum der FMG.

Hülsen (Güteklasse 1 - 2) bleiben Eigentum des Bohrunternehmers und werden nach Auslagerung wieder ausgeliefert.

## **6 Ablaufschemata**

Um die Ergebnisse der Bodenmechanik als übergreifende Disziplin vergleichen zu können, ist auf einen einheitlichen Standard der Untersuchungen und Aussagen zu achten.

Dies wird u. a. dadurch gewährleistet, dass die Zuständigkeiten für Anforderungen, Bearbeitung und Archivierung innerhalb der Organisationseinheiten eindeutig geregelt sind.

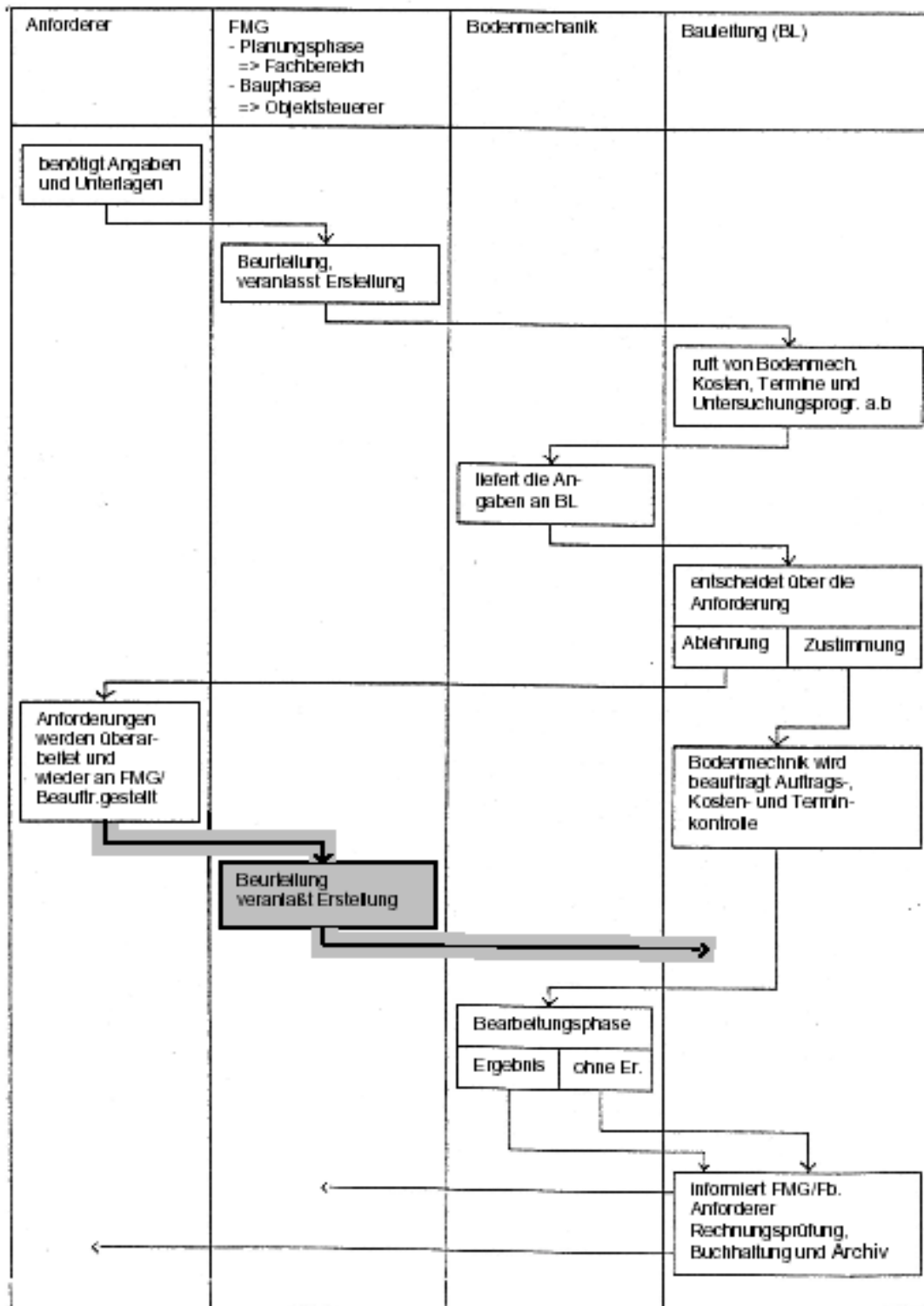
Das Ablaufschema ist für die Anforderungen zur Bodenmechanik

- Phase I und II,
- Leistungsverzeichnis,
- Phase III,

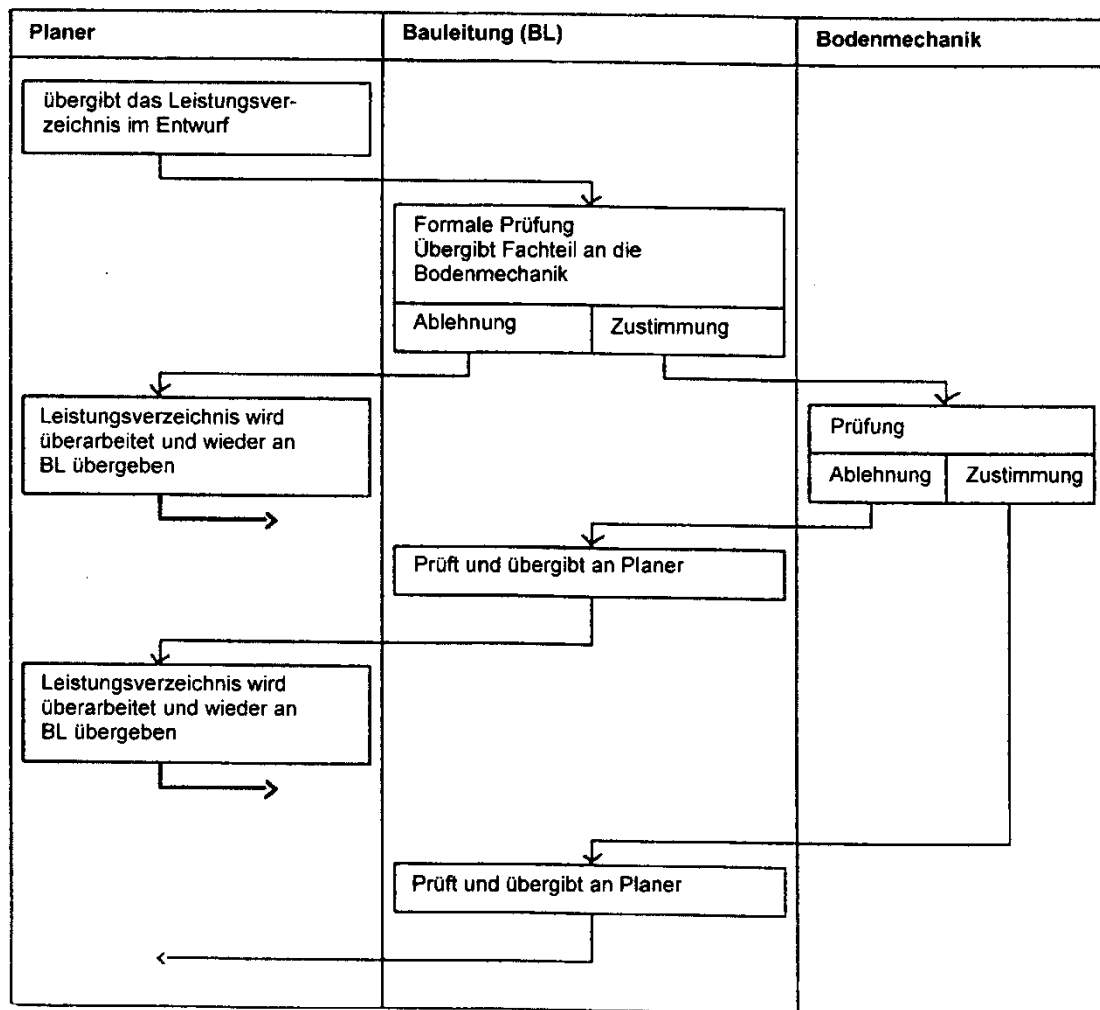
nachfolgend dargestellt.



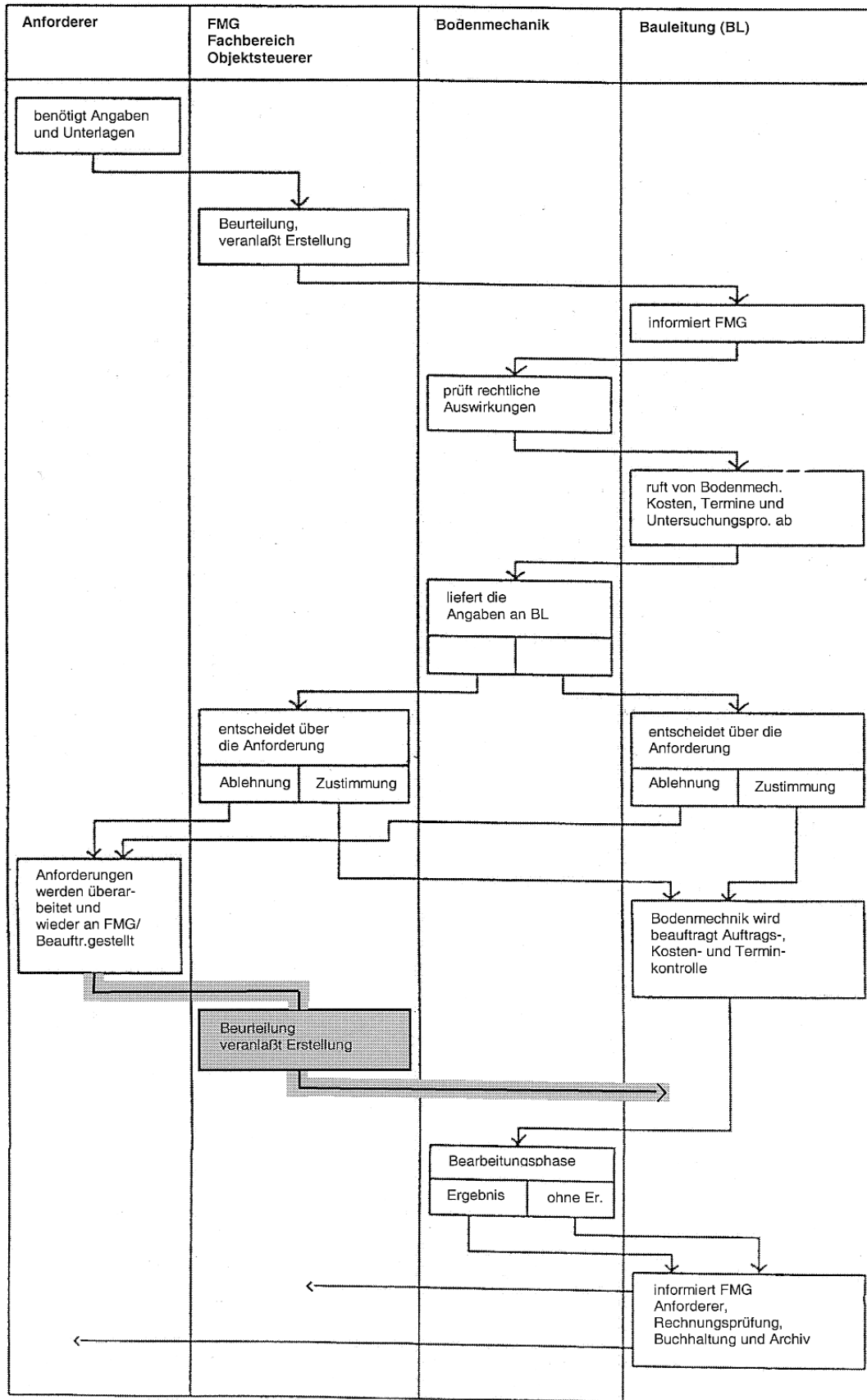
## Anforderungen zur Bodenmechanik: Phase I und II



## Anforderungen zur Bodenmechanik: Leistungsverzeichnis



### Anforderungen zur Bodenmechanik: Phase III



## 7 Dokumentation

Ergebnisse von Feld- und Laboruntersuchungen sowie von Messungen zu Kontrollmessungen (z. B. Beweissicherung, Verformungen, o. ä.) sind in geschlossener Berichtsform zu dokumentieren.

Der Bericht soll neben den allgemeinen Angaben zum Auftrag, zum Objekt, zur Veranlassung und zum Berichtsersteller die Versuchsergebnisse nachvollziehbar enthalten.

Im Einzelnen wird folgender Berichtsaufbau angestrebt:

### 1. Allgemeines

Beschreibung der Aufgabenstellung, Begründung der gewählten Untersuchungsmethodik bzw. des angewendeten Messverfahrens, Zeitraum der Untersuchungen, beteiligte Institutionen.

### 2. Versuchsprogramm

Beschreibung der Art und Anzahl der durchgeführten Versuche mit Datum und Angabe der zugehörigen Normen, Standards usw. Zusammenstellung der Versuchsergebnisse in Tabellen, Übersichten, Graphiken und Darstellung der Versuchspunkte in einem maßstäblichen Lageplan, der auch die Flughafen Koordinaten enthält.

Bei nicht standardisierten Versuchen ist eine Versuchsbeschreibung anzufertigen, die eine Nachvollziehung der Ergebnisse erlaubt.

### 3. Messprogramm

Wie Ziffer 2, jedoch sollen neben den ausgewerteten Versuchsergebnissen auch die Feldprotokolle zur Verfügung gestellt werden.

### 4. Anlagenverzeichnis

Der Inhalt und die Anzahl der dem Text beigelegten Anlagen ist anzugeben.

Ein Berichtsbeispiel ist als **Anhang A** beigelegt.

Die erforderlichen Formblätter sind im **Anhang B**.