

# **EINFLUSS DER VERKEHRSLAST AUF DIE SCHADENSHÄUFIGKEIT VON TRINKWASSERNETZEN**

Diplomarbeit zum Erwerb des  
akademischen Titels Diplomingenieur der  
Studienrichtung Bauingenieurwesen

**FRANZ FRIEDL**

Verfasst am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und  
Landschaftswasserbau der Technischen Universität Graz

Betreuer der Diplomarbeit:

Univ.-Prof. DDipl.-Ing. Dr. techn. Harald Kainz

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Schweiger

Mitbetreuender Assistent:

Dipl.-Ing. Gerald Gangl

Graz, April 2007

# ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, April 2007

.....

(Franz Friedl)

## **DANKSAGUNG**

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern Monika und Josef Friedl und meiner Familie, durch deren große und langjährige Unterstützung mir dieses Studium ermöglicht wurde.

Weiters möchte ich mich bei Herrn Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing Dr. techn. Helmut Schweiger und bei Herrn Univ.-Ass. Dipl.-Ing Florian Scharinger vom Institut für Bodenmechanik und Grundbau für die Betreuung bei den numerischen Berechnungen für diese Arbeit bedanken.

Mein besonderer Dank gebührt an dieser Stelle vor allem Herrn Univ.-Prof. DDipl.-Ing. Dr. techn. Harald Kainz und meinem Betreuer Herrn Wiss.-Ass. Dipl.-Ing. Gerald Gangl vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der Technischen Universität Graz für die ausgezeichnete Betreuung während der Erstellung dieser Diplomarbeit.

# Kurzfassung

Trinkwasserleitungen liegen über einer sehr langen Zeitperiode im Straßenraum. In dieser Zeit können sich die Verkehrsbelastungen sowie der Straßenaufbau ändern. Hinzu kommt, dass die Materialien der Rohrleitungen Alterungsprozessen unterliegen.

Für die Stadt Graz gibt es eine Aufgrabungsrichtlinie, die den Straßenaufbau für das Stadtgebiet für Gemeindestraßen regelt. Zusätzlich gibt es von der Stadt Graz ein Verkehrsbelastungsmodell für das Straßennetz.

Es wurde ein repräsentatives Beispiel innerhalb des Grazer Rohrleitungsnetzes ausgewählt. Für dieses Beispiel wurden mit Berücksichtigung des Straßenaufbaus, der Verkehrsbelastung und der Belastung während der Bauphase „Straßenbau“ Berechnungen ausgeführt, hinsichtlich Korrelation zwischen Schadensauftreten und Verkehrsbelastung.

Es wurde auch speziell der Verdichtungsprozess beim Wiederverfüllen der Künette untersucht. Dabei wird von der Annahme ausgegangen, dass sich eine hohe Verdichtung oder hohe Steifigkeit des Verfüllmaterials in der Rohrleitungszone positiv auf die Beanspruchung und auf die Verformung der Rohrleitung auswirkt. Diese hohe Verdichtung führt aber schon zu einer erhöhten Beanspruchung während des Verfüllens und Verdichtens, was zu einer größeren Verformung der Rohrleitung und höherer nicht vernachlässigbarer Spannung im Rohr führt. Aus statischen Gründen ist ersichtlich, dass zur Einhaltung der erforderlichen Sicherheit, wie in der ÖNORM B 5012 vorgeschrieben, eine Abstimmung der Verdichtung, der Belastung und des eingesetzten Verfüllmaterials auf Rohrmaterial, Rohrdurchmesser, Verdichtungsart, Verdichtungsenergie und anstehendem Boden von entscheidendem Einfluss ist. Eine Verdichtung des Verfüllmaterials von Künetten für Rohrleitungen unterhalb von Straßenflächen ist aus Setzungsgründen jedenfalls erforderlich und kann nicht vernachlässigt werden.

Die analytischen Berechnungen wurden nach der ÖNORM B 5012 durchgeführt. In weiterer Folge wurden auch Variationsberechnungen ausgeführt, wodurch Zusammenhänge zwischen dem verlegten Rohrmaterial, dem Rohrrinnendruck und der Verkehrsbelastung festgestellt werden können.

Als Vergleich zur analytischen Berechnung wurden mit denselben Eingangsparametern numerische Berechnungen mit dem FEM Programm „Plaxis“ durchgeführt.

# Abstract

Water pipes stay over a long period of time underneath streets. In this period of time traffic load and the construction of streets possibly change. In addition, it is possible that the material of water pipes may change their constitution caused by an aging process.

The city of Graz has a guideline for excavation, called "Aufgrabungsrichtlinie", in which the construction of the communal streets of the city area is managed. In addition the city of Graz has a traffic-load-model for the whole street system.

One representative example of the pipe system of Graz was chosen and calculations were made in order to prove correlation between the appearance of damage and traffic load by considering the street-construction, traffic-load and building-load during street construction.

Also the compaction of the backfill was examined. As definition a high compaction of the backfill is considered to have a positive impact on the stresses and the deformation of the pipe. During this process of over-compaction unfavourable stresses and higher deformations may result.

For static reasons it is necessary to relate the compaction, load and used backfill-material with the pipe-material, sort of compaction, compaction-energy and the surrounding soil.

For pipelines underneath areas with traffic load, compaction of the backfill soil is necessary in order to reduce settlements.

The analytical calculations were performed according to "ÖNORM B 5012". Further variation-calculations were performed to see the relationship between the used pipe-material, water-pressure inside the pipe and traffic load.

As a comparison to the analytical calculations, numerical calculations were performed with FEM program "Plaxis".

# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS.....</b>	<b>F</b>
<b>VERANLASSUNG UND ZIEL.....</b>	<b>1</b>
<b>1 GRUNDLAGEN.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Rechtliche Grundlagen .....</b>	<b>2</b>
1.1.1 Allgemeines .....	2
1.1.2 Aufgrabungsrichtlinie der Stadt Graz (1997) .....	3
1.1.3 Kraftfahrzeuggesetz (BGBl 1967/267 idF BGBl 2006/57) .....	5
<b>1.2 Technische Grundlagen.....</b>	<b>6</b>
1.2.1 ÖNORM B 5012 (2005) – Statische Berechnung erdverlegter Rohrleitungen für die Wasserversorgung und die Abwasser-Entsorgung .....	6
1.2.2 ÖNORM B 5016 (1997) - Überprüfung von Erdarbeiten für Rohrleitungen des Siedlungs- und Industrierwasserbaues - Verdichtungsgrade .....	11
1.2.3 ÖNORM B 2538 - Transport-, Versorgungs- und Anschlussleitungen von Wasserversorgungsanlagen - Ergänzende Bestimmungen zu ÖNORM EN 805.....	13
1.2.4 ÖNORM B 2533 - Koordinierung unterirdischer Einbauten – Planungsrichtlinien.....	18
1.2.5 RVS Ausgabe (2004).....	19
<b>2 ALLGEMEINE BEGRIFFSBESTIMMUNGEN .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Historische Entwicklung.....</b>	<b>23</b>
2.1.1 Entwicklung des Straßenaufbaues .....	23
2.1.2 Veränderung der Verkehrsbelastung.....	24
<b>2.2 Rohrleitungen .....</b>	<b>25</b>
2.2.1 Arten von Rohrleitungen.....	25
2.2.2 Rohrwerkstoffe .....	26
<b>2.3 Begriffsbestimmungen Grundbau .....</b>	<b>28</b>
2.3.1 Verdichtungsverfahren.....	28
2.3.2 Bodenart.....	28

2.3.3	Korngrößenverteilung .....	29
2.3.4	Konsistenzgrenzen .....	29
2.3.5	Prüfung der Bodenverdichtung .....	29
<b>2.4</b>	<b>Grundlagen der Bodenverdichtung .....</b>	<b>31</b>
2.4.1	Verdichtungswirkung und Maschinen-Kenndaten .....	31
2.4.2	Verwendete Verdichtungsgeräte im Grazer Stadtgebiet .....	35
<b>3</b>	<b>DERZEITIGER STAND .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1</b>	<b>Dimensionierung des Oberbaus .....</b>	<b>36</b>
3.1.1	Empirische Bemessungsverfahren .....	37
3.1.2	Halbtheoretische Bemessungsverfahren .....	37
3.1.3	Theoretische Bemessungsverfahren .....	37
<b>3.2</b>	<b>Lasten auf das System Fahrbahn-Boden-Leitung .....</b>	<b>38</b>
3.2.1	Erdlast - Einbaulast .....	38
3.2.2	Innendruck .....	38
3.2.3	Auflasten – ruhende Lasten auf der Fahrbahn .....	38
3.2.4	Verkehrslasten – bewegte Lasten auf der Fahrbahn .....	39
3.2.5	Belastung Frost .....	41
3.2.6	Verschleiß durch fließendes Medium .....	43
3.2.7	Innenkorrosion .....	43
3.2.8	Außenkorrosion .....	43
3.2.9	Erdstrom- und Streustromkorrosion .....	43
3.2.10	Benachbarte Grabungen .....	44
<b>4.</b>	<b>BERECHNUNGEN .....</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Numerisches Modell .....</b>	<b>45</b>
4.1.1	Verwendete Stoffgesetze .....	45
4.1.2	Beziehung zwischen Proctordichte und Steifigkeitsmodul .....	47
<b>4.2</b>	<b>Berechnung nach Boussinesq, Jones und Burmister .....</b>	<b>47</b>

<b>4.3</b>	<b>Tragfähigkeitsnachweis des Rohres mit Einbauziffer .....</b>	<b>50</b>
<b>4.4</b>	<b>Berechnung mit ÖNORM B 5012.....</b>	<b>53</b>
4.4.1	Einführung .....	53
4.4.2	Künette (Lastfall Verkehr allgemein): .....	55
4.4.3	Künette (Lastfall „Bauzustand der Strasse“, Aushub bis UP und Neueinbau des Straßenoberbaus).....	60
<b>4.5</b>	<b>Vergleich Vertikalspannung am Rohrscheitel zwischen B 5012 - Burmister für Lastfall „Bauzustand“ .....</b>	<b>66</b>
<b>4.6</b>	<b>Variationsberechnungen mit B 5012 .....</b>	<b>68</b>
<b>5</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>74</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>76</b>
	<b>TABELLEN- UND ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>78</b>
<b>6</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>81</b>
<b>6.1</b>	<b>Verwendete Verdichtungsgeräte im Grazer Stadtgebiet.....</b>	<b>81</b>
6.1.1	Leichte Verdichtungsgeräte für die Leitungszone: .....	81
6.1.2	Mittelschwere Verdichtungsgeräte oberhalb der Leitungszone: .....	82
<b>6.2</b>	<b>Beispiel Tragfähigkeitsnachweis Einbauziffer nach ATV-A 127 .....</b>	<b>83</b>
6.3	Berechnungsparameter für Software ÖNORM B 5012 .....	86
6.4	Ergebnisse aus numerischer Berechnung mit Plaxis .....	88

## Veranlassung und Ziel

Trinkwasserleitungen liegen über einer sehr langen Zeitperiode im Straßenraum. In dieser Zeit können sich die Verkehrsbelastungen sowie der Straßenaufbau ändern. Hinzu kommt, dass die Materialien der Rohrleitungen Alterungsprozessen unterliegen.

Für die Stadt Graz gibt es eine Aufgrabungsrichtlinie die den Straßenaufbau für Gemeindestraßen des Stadtgebietes regelt. Zusätzlich gibt es von der Stadt Graz ein Verkehrsbelastungsmodell für das Straßennetz.

Ziel der Arbeit ist die Auswahl von repräsentativen Untersuchungsgebieten innerhalb des Rohrnetzes und die Auswahl maßgebender Lastfallkombinationen (Verkehrsbelastung, Belastung während der Bauphase „Straßenbau“, Belastungen durch Baumaßnahmen anderer Leitungsträger) und Untersuchungen hinsichtlich Korrelation zwischen Schadensauftreten und Verkehrslast.

Schließlich sollen vorhandene Zusammenhänge zwischen dem verlegten Material, dem Rohrdurchmesser und der Verkehrsbelastung herausgefunden werden, um so Risikozonen im Trinkwassernetz festlegen zu können.

# 1 Grundlagen

## 1.1 Rechtliche Grundlagen

### 1.1.1 Allgemeines

#### 1.1.1.1 Wasser

ist ein nicht ersetzbarer Naturstoff und Urquell allen Lebens auf der Erde. Es ist eine geschmack- und geruchlose, durchsichtig klare und farblose Flüssigkeit, die aus zwei der am häufigsten verbreiteten Elemente der Natur besteht:

Wasserstoff (2 Teile, "H" für Hydrogenium),

Sauerstoff (1 Teil, "O" für Oxygenium).

Natürliches Wasser enthält neben Schwebstoffen aus mineralischen und organischen Bestandteilen in gelöster Form verschiedene Gase und Feststoffe (z.B. Nährsalze).

Wasser kommt vor z.B. als

- Oberflächenwasser,
- Quellwasser,
- Grundwasser,

und wird genutzt als Trinkwasser, Brauchwasser, Löschwasser und Abwasser.

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Wasser>)

#### 1.1.1.2 Trinkwasser

Trinkwasser ist das für den menschlichen Genuss und Gebrauch geeignete Wasser, das bestimmte in Rechtsnormen festgelegte Anforderungen erfüllen muss. Als wichtigstes und unersetzbares Lebensmittel wird es auch als "Lebensmittel Nr. 1" bezeichnet. Trinkwasser muss frei von Krankheitserregern sein und darf keine gesundheitsschädigenden Eigenschaften besitzen. Es muss keimarm, appetitlich, farb- und geruchlos, kühl und geschmacklich einwandfrei sein. Darüber hinaus darf es nur einen geringen Gehalt an gelösten Stoffen aufweisen und keine unverhältnismäßigen Korrosionsschäden am Leitungsnetz hervorrufen (Kainz et al, 2002).

#### 1.1.1.3 Öffentliche Wasserversorgung

Die öffentliche Wasserversorgung, ein Teil der Wasserwirtschaft, fällt unter den Begriff der Daseinsvorsorge und ist kommunale Pflichtaufgabe. Gegenstück ist eine (meist private) Eigen- bzw. Einzeltrinkwasserversorgung. Aufgabe der öffentlichen Wasserversorgungsunternehmen (Stadtwerke, Gemeindewerke, Verbände) ist die Sicherstellung von für menschlichen Genuss und Gebrauch geeignetem Wasser (Trinkwasser) in der durch die Trinkwasserverordnung vorgeschriebenen Qualität, in ausreichender Menge und mit dem notwendigen Druck. Dabei sind die örtlichen Wasservorkommen zu sichern (Kainz et al, 2002).

## **1.1.2 Aufgrabungsrichtlinie der Stadt Graz (1997)**

### **1.1.2.1 Allgemeines**

Momentan wird die Aufgrabungsrichtlinie 1997 überarbeitet und diese aktualisierte Fassung wird voraussichtlich 2007 veröffentlicht.

### **1.1.2.2 § 1 Geltungsbereich**

Diese Richtlinien gelten:

- für alle Aufgrabungen im Bereich von öffentlichen Verkehrsflächen, darunter oder unmittelbar angrenzend und den dazugehörigen Anlagen;
- für Materiallagerungen und die sonstige Benützung öffentlichen Grundes, durch die ein Eingriff in eine Verkehrs- oder Erholungsfläche vorgenommen wird;
- auf Bundes- und Landesstraßen, die entsprechend dem gültigen Verwaltungsübereinkommen zur Erhaltung dieser Bundes- und Landesstraßen im Stadtgebiet von der Stadt Graz verwaltet werden, gelten diese privatrechtlichen Vorschriften gleichfalls.

### **1.1.2.3 § 2 Bewilligungspflicht**

Vor Aufgrabungen oder Materiallagerungen, in oder unter öffentlichen Verkehrsflächen sowie vor sonstiger Benützung ist ein Gestattungsvertrag, eine Grabungsbewilligung und eine straßenpolizeiliche Bewilligung nach der Straßenverkehrsordnung 1960 zu erwirken.

### **1.1.2.4 § 3 Bewilligungsverfahren**

Für die Inanspruchnahme öffentlichen Grundes zur Verlegung von Ver- und Entsorgungsleitungen oder sonstiger Einbauten ist nach dem Stmk. Landesstraßenverwaltungsgesetz 1964 eine privatrechtliche Bewilligung (Gestattungsvertrag) vom Bauherrn zu erwirken. Diese Bewilligung ist mindestens 6 Wochen vor Beginn der Arbeiten bei der Straßenverwaltung der Stadt Graz (Straßen- und Brückenbauamt) einzubringen.

Falls zur Feststellung der Lage der vorhandenen oder geplanten Leitungen die Grabung von Suchschlitzen erforderlich ist, haben die Leitungsträger diese auf ihre Kosten vorzunehmen.

### **1.1.2.5 § 5 Gebrechensbehebung (Elementarereignis)**

Bei der Behebung von Gebrechen, die eine sofortige und unaufschiebbare Aufgrabung erfordern, sind das Straßen- und Brückenbauamt, die zuständige Straßenmeisterei (Region) und das örtlich zuständige Polizeiwachzimmer vom Arbeitsbeginn zu verständigen. In solchen Fällen ist spätestens am folgenden Werktag um die (nachträgliche) Aufgrabungsbewilligung anzusuchen.

### **1.1.2.6 § 8 Verpflichtung des Bauführers zur Sicherung von vorhandenen Einbauten**

Sämtliche Arbeiten sind unter Einhaltung der geltenden bau- und verkehrspolizeilichen Vorschriften vom hierzu befugten Gewerbetreibenden auszuführen.

Der Bauführer ist verpflichtet, sich durch Einsichtnahme in die Pläne bei den zuständigen Behörden und Leitungsberechtigten über die genaue Lage der vorhandenen Einbauten und Leitungen zu informieren und für deren Sicherung bei der Durchführung der Arbeiten zu sorgen.

### **1.1.2.7 § 16 Durchführung der Bauarbeiten**

Die Aufgrabung, Verlegung von Versorgungsleitungen oder die Herstellung sonstiger Einbauten sowie die Wiederverfüllung der Baugrube oder Künette und die Wiederherstellung des Straßenkörpers hat Zug um Zug zu erfolgen.

Um die notwendigen Straßenerhaltungstätigkeiten nicht unmöglich zu machen (Abwalzen des Unterbauplanums mit einer 6 to - Vibrationswalze) ist bei allen Einbauten eine Überdeckung von 100 cm, gemessen von der Straßenoberfläche (19 cm bituminöse Tragschicht, 50 cm ungebundene Tragschicht, ca. 30 cm Überdeckung) über dem höchsten Leitungsteil einzuhalten.

Beim Einsatz schwerer Aufbruch- und Baugeräte ist mit gebotener Vorsicht vorzugehen, damit Beschädigungen von Fremdleitungen usw. mit Sicherheit vermieden werden. Jede durch die Bauarbeiten verursachte Beschädigung von Fremdleitungen und sonstigen Einbauten ist dem Eigentümer auf schnellstem Wege bekannt zu geben.

Bei nicht ausreichend standsicherem Material ist die Baugrube zu pölzen. Treten dennoch Schäden am angrenzenden Straßenkörper auf, so hat sich die Wiederherstellung der Straßendecke auf Kosten des Bauwerbers auf alle beschädigten Teile zu erstrecken.

### **1.1.2.8 § 18 Zuschütten der Baugrube**

Vor Verfüllung der Baugrube ist den betreffenden Leitungsinhabern ausreichend Gelegenheit zu geben, ihre freigelegten Leitungen usw. auf Beschädigungen oder Schäden zu untersuchen. Den Beginn der Verfüllung hat der Bauführer den betroffenen Leitungsinhabern rechtzeitig bekannt zu geben. Die Nichtbeachtung dieser Bestimmung kann es nach sich ziehen, dass die Baugrube auf Kosten des Bauführers erneut geöffnet werden muss.

Nach der Fertigstellung der Arbeiten ist die Baugrube unverzüglich und lagenweise bis zu jeweils 30 cm Stärke zuzuschütten. Das Füllmaterial muss für diesen Verwendungszweck geeignet sein, soll den optimalen Wassergehalt aufweisen und darf nicht gefroren sein. Wenn das gewonnene Aushubmaterial den vorgenannten Anforderungen nicht oder nicht in vollem Umfang entspricht, ist es durch entsprechend geeignetes Füllmaterial zu ersetzen oder zu ergänzen. Die letztliche Entscheidung über die Eignung des Materials behält sich das Straßen- und Brückenbauamt vor. Das Einschlämmen des Füllmaterials in der Baugrube ist unzulässig.

Der Einbau der obersten Lage hat mit frostsicherem Gesteinsmaterial mit einem Größtkorn von 70 mm und zwar bei Fahrbahnflächen und Radwegen in einer Stärke von mind. 50 cm und bei Gehflächen in einer Stärke von mind. 25 cm zu erfolgen.

In besonderen Fällen, insbesondere bei Querungen von Straßenzügen ist auf Anordnung des Straßen- und Brückenbauamtes die Baugrube max. bis zur Unterkante der Frostschutzschichte mit einem sandstabilisierten Mörtel aufzufüllen.

Die Prüfung der angegebenen Werte erfolgt durch Lastplattenversuche nach der ÖNORM B4417 „Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Lastplattenversuch“.

Das Straßen- und Brückenbauamt ist berechtigt, pro Baustelle mindestens eine Materialprüfung des jeweiligen eingebauten Materials auf Kosten des Bauführers zu verlangen.

### **1.1.2.9 § 19 Verdichtung des Füllmaterials**

Das Füllmaterial ist lagenweise in einer Schichtstärke von max. 30 cm einzubringen. Die Verdichtung hat derart zu erfolgen, dass die vorgeschriebenen Verdichtungswerte erreicht werden und später keine Setzungen des Füllmaterials auftreten können. Wird bei durchgeführten

Lastplattenversuchen festgestellt, dass die erforderlichen Verdichtungswerte nicht erreicht werden, hat der Bauführer unverzüglich alle notwendigen Maßnahmen, wie Nachverdichtung oder erforderlichenfalls die Auswechslung des eingebrachten Füllmaterials vorzunehmen. Damit die Lastplattenversuche zur Feststellung der Verdichtungswerte vor Schließung der Künette rechtzeitig durchgeführt werden können, hat der Bauführer die zuständige Straßenmeisterei (Region) des Straßen- und Brückenbauamtes rechtzeitig, mindestens jedoch einen Tag vorher, zu verständigen.

Die Lastplattenversuche werden vom Straßen- und Brückenbauamt gemäß der RVS (Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau) und der ÖNORM B4417 „Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Lastplattenversuch“ durchgeführt, wobei als  $E_{V1}$ -Wert auf dem Unterbauplanum gemäß RVS 8.24 35 MN/m<sup>2</sup> einzuhalten sind. Das Verdichtungsverhältnis  $E_{V2}$ :  $E_{V1}$  muss kleiner oder 2,2 betragen.

### **1.1.3 Kraftfahrzeuggesetz (BGBl 1967/267 idF BGBl 2006/57)**

#### **1.1.3.1 § 4 Bauart und Ausrüstung der Kraftfahrzeuge und Anhänger**

Die Achslast (§ 2 Z 34) darf 10 to, die der Antriebsachse jedoch 11,5 to nicht überschreiten, wobei bei einem Fahrzeug mit mehreren Antriebsachsen eine gelenkte Achse nicht als Antriebsachse gilt.

Die zulässige Achslastsumme zweier Achsen mit einem Abstand ist:

- zwischen 0,0 m und 1,0 m max. 11,5 to,
- zwischen 1,0 m und 1,3 m max. 16,0 to,
- zwischen 1,3 m und 1,8 m max. 18,0 to,
- ab 1,8 m max. 19,0 to.

Das Gesamtgewicht eines Kraftwagens oder Anhängers darf nicht überschreiten:

- bei zwei Achsen 18,0 to (ausgenommen Sattelanhänger),
- bei mehr als zwei Achsen 25,0 to,
- bei mehr als drei Achsen 32,0 to,
- bei Gelenkkraftfahrzeugen 38,0 to,
- bei Einachsanhängern 10,0 to,
- bei Anhängern mit mehr als zwei Achsen 24,0 to (ausgenommen Sattelanhänger).

Bei Kraftwagen mit Anhängern darf die Summe der Gesamtgewichte sowie die Summe der Achslasten 40 to und beim Transport von Rundholz aus dem Wald zum nächstgelegenen Verladebahnhof 44 to nicht überschreiten.

## **1.2 Technische Grundlagen**

### **1.2.1 ÖNORM B 5012 (2005) – Statische Berechnung erdverlegter Rohrleitungen für die Wasserversorgung und die Abwasser-Entsorgung**

#### **1.2.1.1 Wahl der Bettungsart (ÖN B 5012 - Kapitel 5.4.1)**

Die Einbettungsart hat einen wesentlichen Einfluss auf die Verteilung der Belastung am Rohrumfang.

##### *ET1 (Einbettungsart 1)*

Das Rohr ist direkt auf der entweder speziell vorbehandelten oder nicht vorbehandelten Grabensohle verlegt.

##### *ET2 (Einbettungsart 2)*

Die untere Auflagerzone besteht aus dem gleichen Material wie die obere Auflagerzone und die Seitenverfüllung. Für diese können die gleichen Bodeneigenschaften bezüglich Bodengruppe und Verdichtung vorausgesetzt werden.

##### *ET3 (Einbettungsart 3)*

Die Bodeneigenschaften bezüglich Bodengruppe und Verdichtung sind unterschiedlich in der Auflagerzone (inklusive Zwickel) und der Seitenverfüllung.

##### *ET4 (Einbettungsart 4)*

Das Rohr ist auf ein Betonaufleger gebettet. Diese Einbettungsart ist für flexible Rohre nicht zulässig.

#### **1.2.1.2 Verdichtungsklasse (ÖN B 5012 - Kapitel 5.4.2)**

Die verschiedenen in dieser ÖNORM behandelten Verdichtungsklassen werden im Zusammenhang mit den Einbettungsarten angegeben.

Es gelten drei Verdichtungsklassen:

- Verdichtungsklasse W (gut verdichtetes Material),
- Verdichtungsklasse M (mäßig verdichtetes Material),
- Verdichtungsklasse N (unverdichtetes, d.h. geschüttetes Material).

Die Verdichtung ist so auszuführen, dass die Anforderungen bezüglich der erreichten Proctordichte mindestens erfüllt werden. In Abbildung 1 ist der Zusammenhang zwischen der Verdichtungsklasse, dem einzusetzenden Verdichtungsgerät, der maximal einzubringenden Schichtdicke nach Verdichtung und der Mindestdicke über dem Rohrscheitel vor Verdichtung in Abhängigkeit der Bodengruppen dargestellt.

Verdichtungsgerät	Anzahl an Übergängen für Verdichtungsklassen		Maximale Schichtdicke nach Verdichtung für Bodengruppe (siehe Anhang A)				Mindestdicke über Rohrscheitel vor Verdichtung (Sicherheitszone)
			m				
	W (Gut)	M (Mäßig)	1	2	3 + 4	5	m
Fuß- oder Handstampfer min. 15 kg	3	1	0,15	0,10	0,10	0,10	0,20
Rüttelstampfer min. 70 kg	3	1	0,30	0,25	0,20	0,15	0,30
Platten-Rüttler min. 50 kg	4	1	0,10	–	–	–	0,15
min. 100 kg	4	1	0,15	0,10	–	–	0,15
min. 200 kg	4	1	0,20	0,15	0,10	–	0,20
min. 400 kg	4	1	0,30	0,25	0,15	0,10	0,30
min. 600 kg	4	1	0,40	0,30	0,20	0,15	0,50
Rüttelwalze min. 15 kN/m	6	2	0,35	0,25	0,20	–	0,60
min. 30 kN/m	6	2	0,60	0,50	0,30	–	1,20
min. 45 kN/m	6	2	1,00	0,75	0,40	–	1,80
min. 65 kN/m	6	2	1,50	1,10	0,60	–	2,40
Doppelrüttelwalze min. 5 kN/m	6	2	0,15	0,10	–	–	0,20
min. 10 kN/m	6	2	0,25	0,20	0,15	–	0,45
min. 20 kN/m	6	2	0,35	0,30	0,20	–	0,60
min. 30 kN/m	6	2	0,50	0,40	0,30	–	0,85
Schwerstgerät mit drei Walzen (kein Rütteln) min. 50 kN/m	6	2	0,25	0,20	0,20	–	1,00

**Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Verdichtungsklasse und Bauausführungsverfahren (ÖN B 5012 – Tabelle 1)**

### 1.2.1.3 Lasten (ÖN B 5012 - Kapitel 6)

Mit diesen Lasten werden die in Rohrscheitelhöhe wirkenden vertikalen Spannungen berechnet, wobei die Wechselwirkung Rohr/Boden berücksichtigt werden muss.

### 1.2.1.4 Erdlasten (ÖN B 5012 - Kapitel 6.2)

Der vertikale Erddruck ohne Rohr und Graben ist der geostatische Druck und lautet:

$$p_s = \gamma_s * (h - h_w) + \gamma_{s,w} * h_w$$

Der vertikale Erddruck in einem Graben ohne Rohr lautet:

$$p_{s,v} = \kappa * p_s$$

Die Silotheorie besagt, dass aufgrund der Reibungskräfte zwischen der vorhandenen Grabenwand und der Verfüllung eine Abminderung der Bodenspannung durch Auftreten dieser Reibungskräfte möglich ist.

Der Wandreibungswinkel hängt von den Einbaubedingungen und der Bodengruppe der Verfüllung ab.

Drei Einbaubedingungen werden festgelegt:

- L1 (guter Kontakt zwischen Überschüttungsmaterial und gewachsenem Boden),

- L2 (geringer Kontakt zwischen Überschüttungsmaterial und gewachsenem Boden, z.B. Verbau wird während der Verfüllung schrittweise entfernt),
- L3 (kein definierbarer Kontakt zwischen Überschüttungsmaterial und gewachsenem Boden, z.B. Verbau wird nach der Verfüllung entfernt).

### 1.2.1.5 Oberflächenlasten (ÖN B 5012 – Kapitel 6.3)

Wenn es sich bei der Oberflächenlast um eine Verkehrslast handelt, ist die Rohrbelastung mit dem entsprechenden dynamischen Beiwert zu erhöhen. Wenn das Rohr wie in Abbildung 2 außerhalb der Ausbreitungszonen, d.h. Zone I und Zone II, liegt dann wird es von der Oberflächenlast nicht belastet.

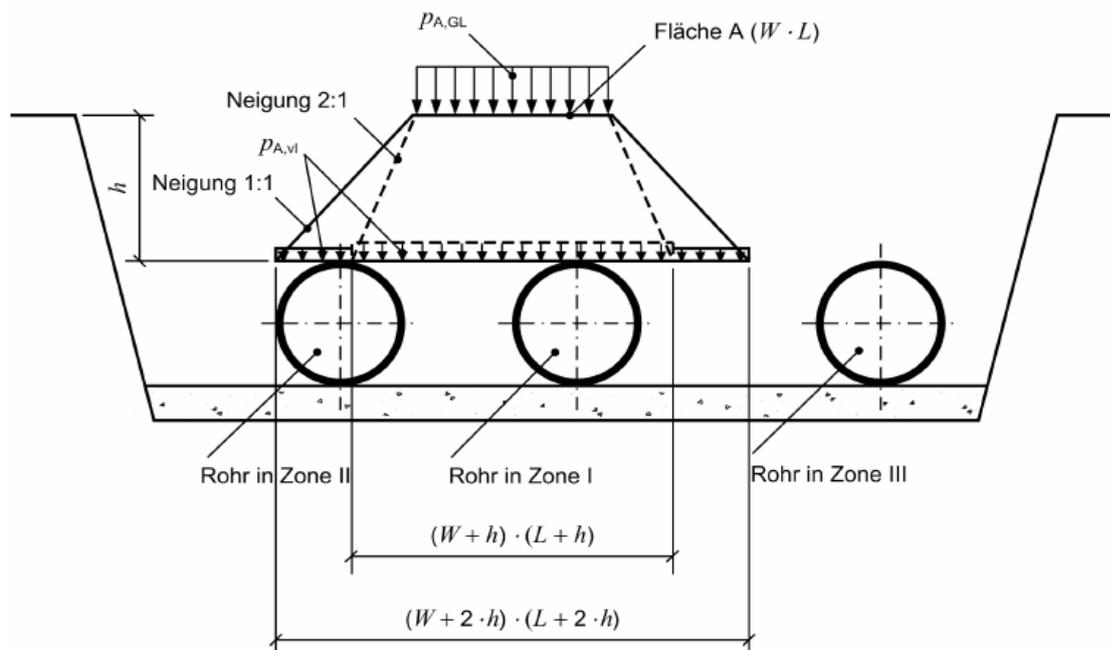


Abbildung 2: Begrenzte Oberflächenlast über dem Rohr (ÖN B 5012 – Bild 8)

### 1.2.1.6 Verkehrslasten (ÖN B 5012 – Kapitel 6.4)

Auf eine erdverlegte Rohrleitung kann Verkehrsbelastung unter einer Straße oder im offenen Feld einwirken. Die Größenordnung der Verkehrslasten und der Oberflächenzustand müssen realitätsnah bewertet und modelliert werden.

Alle Verkehrsbelastungen sind laut dieser ÖNORM Kurzzeitbelastungen und sind mit anderen Lasten unter Langzeitbedingungen zu überlagern. Dies bezieht sich sowohl auf zeitabhängige Bodeneigenschaften und Rohreigenschaften in Bezug auf Durchbiegung, Spannung, Verformung und Sicherheitsberechnung.

Die vertikale Last aus der Verkehrsbelastung kann als eine Funktion der Überdeckungshöhe und des Rohrdurchmessers berechnet werden:

$$p_{T,V} = f_{\text{Verkehr}} \cdot D_{\text{Tmod}} \cdot p_T$$

Der Beiwert  $f_{\text{Verkehr}}$  ist ein Korrekturfaktor, der die Lastausbreitung über dem Rohr berücksichtigt.

Das vorgeschlagene Verfahren gilt ab einer Mindestüberdeckungshöhe von  $h = 0,5$  m. Für kleinere Scheitelüberdeckungen sind gesonderte Überlegungen anzustellen. Der dynamische Beiwert ist in der Berechnung bereits enthalten.

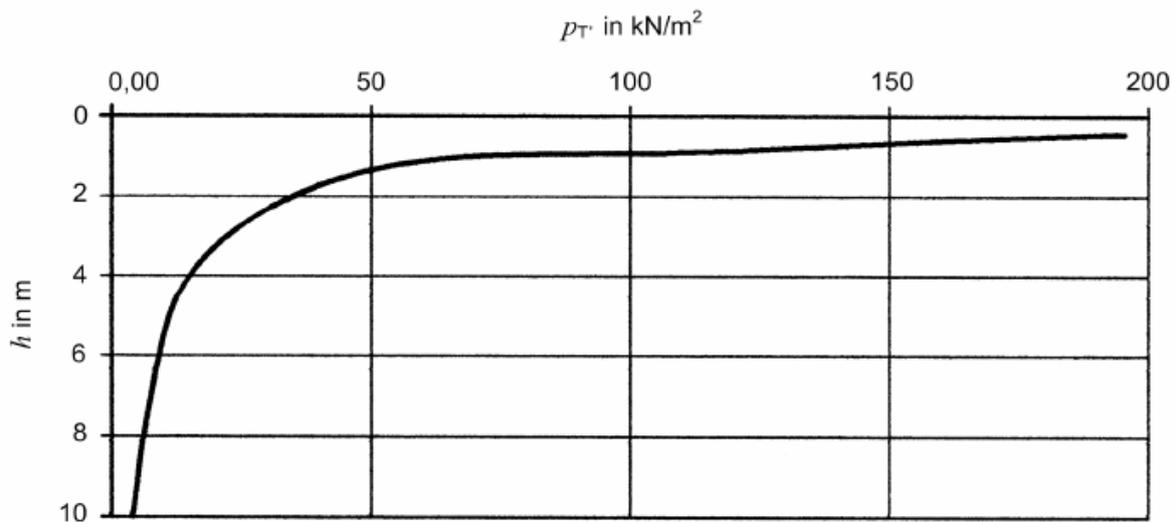
Für den Beiwert  $D_{Tmod}$  wird einer der folgenden Werte verwendet:

- 0,6 für steife Oberbauten (Betondecke),
- 0,8 für nachgiebige Oberbauten (Asphaltdecke),
- 1,0 für nicht befestigtes Planum.

Die Straßenverkehrslast wird mit folgender Formel berechnet:

$$p_{T'} = 82,6 * h^{-1,25}$$

Aus dieser Formel ergibt sich laut Abbildung 3 folgende Kurve:



**Abbildung 3:  $p_{T'}$  (Straße) als Funktion der Überdeckungshöhe (ÖN B 5012 – Bild 9)**

Während der Bauausführung können große Lasten durch Bagger oder Walzen auftreten, wobei der Rohrplaner:

- seine Rohrleitungen für die Tragfähigkeit solcher Schwerlasten bemessen muss, oder
- maximal zulässige Lasten für Überfahrten angeben muss, oder
- die Verantwortung auf den Bauunternehmer übertragen mit dem Auftrag, alle erforderlichen Schritte für den Schutz der Rohrleitung auf der Baustelle zu ergreifen.

Diese Möglichkeiten und Maßnahmen sind im Bauvertrag eindeutig festzulegen.

### 1.2.1.7 Bodengruppen (ÖN B 5012 – Kapitel 7.2.1)

- Gruppe 1 ( $G_S = 1$ ): grobkörnige Böden, vorwiegend Kies,
- Gruppe 2 ( $G_S = 2$ ): gut abgestufter Kies, Kies-Sand-Mischungen, einkörniger Sand,
- Gruppe 3 ( $G_S = 3$ ): schwach bindige Mischböden mit höherem Feinanteil, wie schluffige und tonige Kies-Sand-Mischungen,
- Gruppe 4 ( $G_S = 4$ ): mäßig bindige Mischböden mit hohem Feinanteil, wie sehr schluffige Kies-Sand-Mischungen,
- Gruppe 5 ( $G_S = 5$ ): feinkörnige, bindige Böden, wie feiner toniger Sand und Ton,
- Gruppe 6 ( $G_S = 6$ ): organische Böden, wie organischer schluffiger Ton,
- Gruppe 7 ( $G_S = 7$ ): organische Böden, wie Torf und organische Schlämme.

### 1.2.1.8 Umlagerungen der Bodenspannungen (ÖN B 5012 - Kapitel 8)

Die Belastung, die aufgrund des Bodeneigengewichtes auf die Rohrleitung wirkt, ist abhängig von den Abmessungen des Rohrgrabens, von der Steifigkeit des Rohres und von den Materialeigenschaften des Bodens. Dabei führt die höhere Steifigkeit, wie in Abbildung 4 dargestellt, des Rohres im Vergleich zum umgebenden Boden zu einer Lastkonzentration mit dem Lastkonzentrationsfaktor über der Rohrleitung. Die mittleren Bodenspannungen können sich durch das unterschiedliche Verformungsverhalten von Rohrleitungen und umgebendem Boden umlagern. In Abbildung 5 ist ersichtlich, dass es bei einem flexiblen Rohr zu einer Spannungserhöhung seitlich des Rohres durch Spannungsumlagerungen kommt.

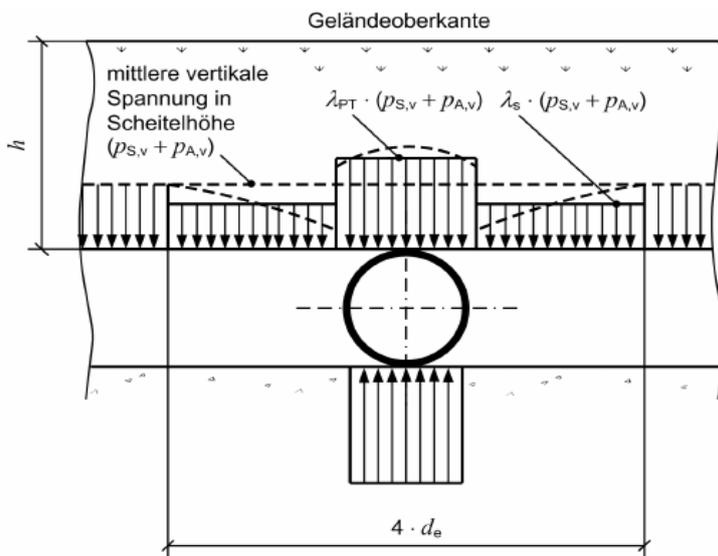


Abbildung 4: Verteilung der vertikalen Bodenspannungen bei starren Rohren (ÖN B 5012 – Bild 13)

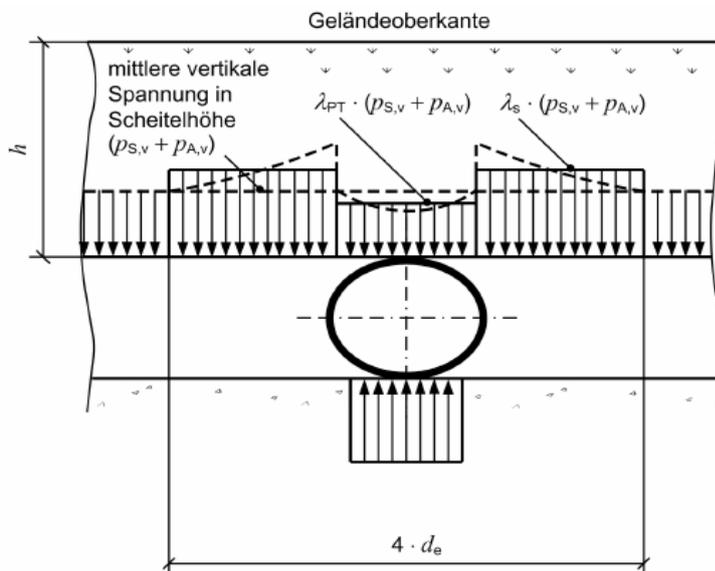
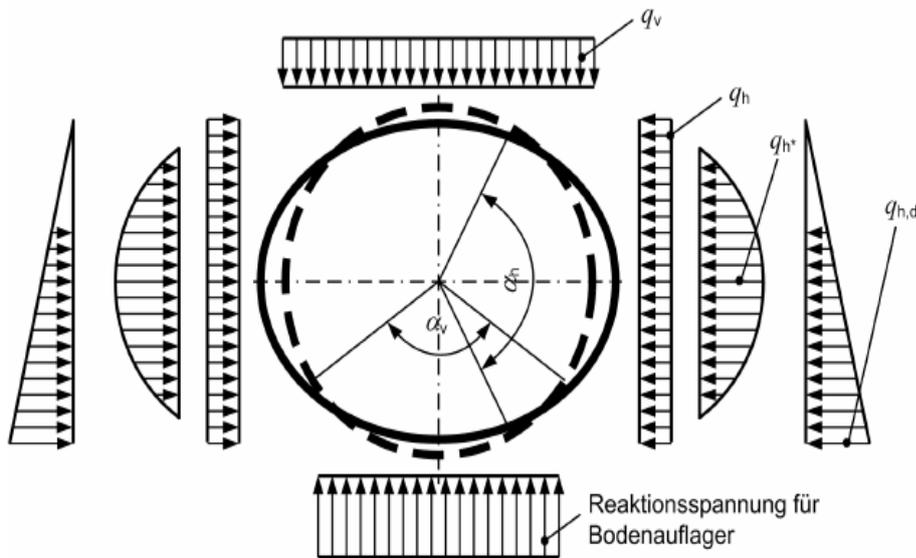


Abbildung 5: Verteilung der vert. Bodenspannungen bei flexiblen Rohren (ÖN B 5012 – Bild 14)

### 1.2.1.9 Druckverteilung am Rohrumfang (ÖN B 5012 – Kapitel 8.2)

Die Druckverteilung am Rohrumfang hängt von der Ausbildung des Auflagers, von der Verfüllung in der Leitungszone und vom Verformungsverhalten der Rohrleitung ab. Die Auflast wird unabhängig von der Art des Einbaus für alle Rohrarten rechteckförmig verteilt und vertikal gerichtet angenommen.



**Abbildung 6: Erddruckverteilung am Rohrumfang für Bodenaufleger (ÖN B 5012 – Bild 15)**

Der auf eine Rohrleitung wirkende Seitendruck setzt sich aus  $q_h$  infolge vertikaler Erdlast und dem Bettungsreaktionsdruck  $q_{h^*}$  infolge Rohrverformung zusammen. Der Seitendruck  $q_h$  ist abhängig vom vertikalen Druck im Boden neben der Rohrleitung. Der Bettungsreaktionsdruck  $q_{h^*}$  ist parabolförmig und hat einen Öffnungswinkel von  $120^\circ$ .

## 1.2.2 ÖNORM B 5016 (1997) - Überprüfung von Erdarbeiten für Rohrleitungen des Siedlungs- und Industrierwasserbaues - Verdichtungsgrade

### 1.2.2.1 Lagerungsdichte bindiger und nichtbindiger Böden (ÖN B 5016 – Kapitel 6.2)

Die relative Dichte (Lagerungsdichte  $D_{Pr}$ ) von Böden wird in Bezug auf die Standard-Proctordichte  $\rho_{Pr}$  bzw. die Rütteldichte  $\rho_R$  definiert.

Die Ermittlung der Lagerungsdichte kann erfolgen über

- eine direkte Dichtebestimmung (Ausstechzylinder),
- eine indirekte Dichtebestimmung (Isotopsonde),
- mittels Rammsondierung oder
- mittels Handpenetrometer.

### 1.2.2.2 Eignungsprüfungen (ÖN B 5016 – Kapitel 9)

Die Eignungsprüfungen beziehen sich auf das Verfüllmaterial; dabei werden folgende Kennwerte festgestellt:

- die Kornverteilung (Bodengruppe, ÖNORM B 4412),
- das Größtkorn in mm,
- die Schüttdichte,
- der Wassergehalt und der Proctorwassergehalt, insbesondere bei bindigen Böden,
- die Verdichtungsfähigkeit.

### 1.2.2.3 Standard-Proctordichte und Rütteldichte (ÖN B 5016 – Kapitel 9.1)

Als Bezugsgröße für die Verdichtung werden die beim Standard-Proctorversuch bzw. beim Rütteltischversuch erreichten maximalen Trockendichten herangezogen. In der Regel wird die Standard-Proctordichte  $\rho_{Pr}$  bestimmt, bei enggestuften grobkörnigen Böden die Rütteldichte  $\rho_R$ .

### 1.2.2.4 Schüttdichte (ÖN B 5016 – Kapitel 9.2)

Die Schüttdichte ist nur bei nichtbindigen Böden zu bestimmen. Die Schüttdichte kann zur Ermittlung der relativen Dichte bei Einbringung des Materials ohne besondere Verdichtungsmaßnahmen herangezogen werden.

### 1.2.2.5 Relative Verdichtungsfähigkeit (ÖN B 5016 – Kapitel 9.3)

Die relative Verdichtungsfähigkeit kann nur bei nichtbindigen Materialien bestimmt werden. Die relative Verdichtungsfähigkeit ist ein Maß für die Differenz zwischen lockerster und dichtester Lagerung.

Relevante Größen für die Verdichtungsfähigkeit von Böden sind

- die Standard-Proctordichte  $\rho_{Pr}$ ,
- die Rütteldichte  $\rho_R$ ,
- die Schüttdichte,
- die lockerste Lagerung.

### 1.2.2.6 Kontrollprüfung mit Handpenetrometer (ÖN B 5016 – Kapitel 10.3)

Diese Methode dient zur groben Feststellung des Verdichtungsgrades. Sie ist für bindige und nichtbindige Böden geeignet.

### 1.2.2.7 Kontrollprüfung mit Rammsondierungen (ÖN B 5016 – Kapitel 10.5)

Die Verdichtung von wiederverfüllten Rohrgräben kann von der Oberfläche aus mittels Rammsondierung gemäß ÖNORM B 4419-1 überprüft werden. Aufgrund der Eindringwiderstände (Schlagzahlen pro 10 cm Eindringtiefe) können bei entsprechender Kalibrierung (mittels Dichtebestimmung) Aussagen über den Verdichtungsgrad gemacht werden.

### 1.2.2.8 Kontrollprüfung mit Lastplattenversuch (ÖN B 5016 – Kapitel 10.6)

Die Oberzone OZ und das Planum der Wiederverfüllungszone WZ wird im Bereich von Verkehrsflächen mittels des Lastplattenversuches (ÖNORM B 4417) geprüft. Daraus kann der Verformungsmodul  $E_{V1}$  abgeleitet werden.

Man unterscheidet zwischen einem statischen und dynamischen Lastplattenversuch und damit zusammenhängend zwischen einem statischen und einem dynamischen Verformungsmodul  $E_V$  bzw.  $E_{VD}$ .

## **1.2.3 ÖNORM B 2538 - Transport-, Versorgungs- und Anschlussleitungen von Wasserversorgungsanlagen - Ergänzende Bestimmungen zu ÖNORM EN 805**

### **1.2.3.1 Allgemeines (ÖN B 2538 – Kapitel 3.1)**

Diese ÖNORM ist für Planung, Bau und Prüfung von Transport-, Versorgungs- und Anschlussleitungen von Wasserversorgungsanlagen ergänzend zu ÖNORM EN 805 anzuwenden. Für Trinkwasser-Versorgungseinrichtungen in Grundstücken ab der Übergabestelle gelten die ÖNORMEN B 2531-1 und -2.

Transportleitungen entsprechen der Hauptleitung und der Zubringerleitung gemäß ÖNORM 805. Versorgungsleitungen dienen dazu, Wasser in ausreichender Menge und ausreichendem Druck zu den Anschlussstellen der Anschlussleitungen zu bringen. Die Planung ist von Fachkundigen auszuführen. Die mit der Ausführung beauftragten Fachfirmen für die Rohrverlegearbeiten müssen die erforderlichen Qualifikationen nachweisen.

Im Versorgungsgebiet sollte die Nennweite DN 100 nicht unterschritten werden. Die Werkstoffe sowie die aufgetragenen Innenanstriche und dgl. dürfen bei Kontakt mit Leitungswasser die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen nicht beeinträchtigen oder gefährden.

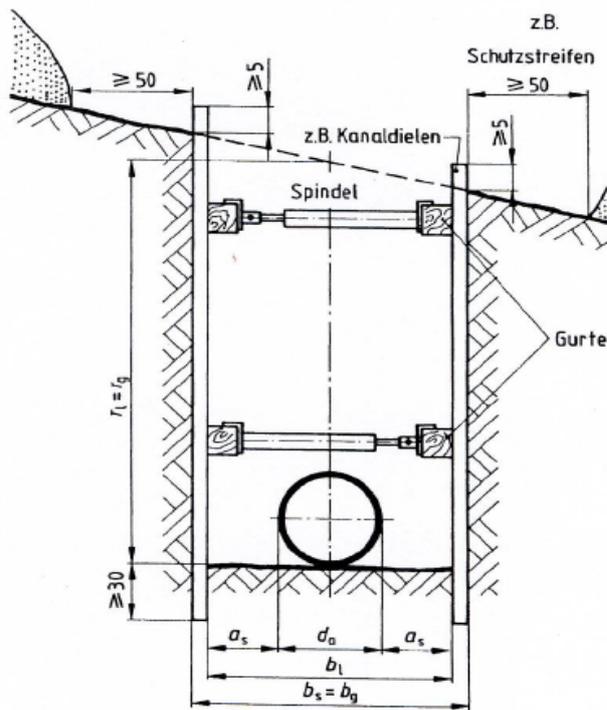
### **1.2.3.2 Herstellen des Rohrgrabens (ÖN B 2538 – Kapitel 3.3.2)**

Der Rohrgraben ist so tief auszuheben, dass die endgültige Scheitelüberdeckung mindestens 1,50 m beträgt (frostfrei). Geringere Überdeckungen sind nur dann zulässig, wenn die Gefahr des Einfrierens, einer qualitätsbeeinträchtigenden Erwärmung oder der mechanischen Beschädigung nicht besteht.

Die Wände von Rohrgräben müssen eine der jeweiligen Standfestigkeit des Bodens entsprechende Abboschung haben oder sachgemäß durch einen Grabenverbau abgestützt (gepölzt) werden.

Rohrgräben mit lotrechten Wänden (Künetten), die nicht in standfestem Fels ausgehoben werden, müssen bei Aushubtiefen über 1,25 m auf jeden Fall gepölzt werden. Bei der Ausführung von geböschten Grabenwänden sind insbesondere die Abschnitte über die Bodenklassen und Erdarbeiten der ÖNORM B 2205 zu beachten. In Rohrgräben, die nicht betreten werden, darf die Pölung entfallen, wenn dadurch keine Gefährdung für benachbarte Objekte, Verkehrsflächen u. dgl. entstehen kann.

In Abbildung 7 sind die Geometrie und die Abmessungen einer lotrechten Pölung mit ihren Mindestabmessungen dargestellt. An beiden Rändern von Künetten und geböschten Rohrgräben muss ein mindestens 50 cm breiter Sicherheitsstreifen vorhanden sein, der vom Aushubmaterial freizuhalten ist. Die Pölung bzw. der Grabenverbau hat mindestens 5 cm über die Geländekante vorzustehen.



**Abbildung 7: Graben- (Künetten-) verbau (Pölzung) (ÖN B 2538 – Bild 5)**

Die erforderliche freie Arbeitsraumbreite in Rohrgräben gemessen an der Rohrleitungsunterkante ist mit folgender Formel zu ermitteln:

$$b = d_a + 2a_{s,\min}$$

Die Mindestbreite nach der Bauarbeiterschutzverordnung ist

- bis zu einer Rohrgrabentiefe von 1,75 m gleich 60 cm,
- zwischen 1,75 m und 4,00 m gleich 70 cm,
- und über 4,00 m gleich 90 cm.

Der Grabenverbau wird üblicherweise durch Verbauplatten, Spundbohlen, Schlitzwände u.ä. hergestellt. Die Sicherheit muss in jedem Bauzustand gewährleistet sein.

Die Grabensohle ist entsprechend dem Längsgefälle profilgerecht herzustellen. Die Auflockerung des Bodens an der Sohle ist zu vermeiden. Kopflöcher (Vertiefung im Bereich der Rohrverbindung) sind so auszuführen, dass Rohrverbindungen hergestellt, Formstücke und Armaturen eingebaut werden können. Wenn im Bereich der Grabensohle für das gewählte Rohrmaterial kein für ein unmittelbares Auflager geeigneter Boden ansteht oder die Sohle zu tief ausgehoben oder aufgelockert ist, ist ein tragfähiges Auflager (Sohlzone  $SZ > 10 \text{ cm} + 0,1 d_a$ ) aus Sand herzustellen.

Oberflächenwässer sind vom Rohrgraben fern zu halten. Eine eventuell erforderliche Dränung des Rohrgrabens darf nur während der Bauzeit wirksam sein, bei der Wiederverfüllung ist die Dränung an mehreren Stellen zu unterbrechen und die Mündung zu verschließen.

Die Rohrleitungen und Leitungsteile sind nach den Bauplänen mit dem vorgeschriebenen Gefälle zu verlegen. Für die Rohre muss eine satte Auflagerung auf der gesamten Rohrlänge gewährleistet sein. Bei der Verlegung der Rohre und der Herstellung der Rohrverbindungen sind auch die Richtlinien der Rohrhersteller zu beachten.

Die Rohre werden bei geringem Gewicht (Rohrmaterial, Nennweite) händisch, im Allgemeinen aber mit Hebwerkzeugen in den Rohrgraben eingehoben, eingerichtet und durch Zusammenschieben druckdicht miteinander verbunden. Bei Rohren größerer Nennweite sind eventuell Hilfseinrichtungen zum zentrischen Aneinanderfügen der Rohre notwendig. Das Zusammenziehen der Rohre erfolgt meist mit den Hebezeugen selbst. Bei Rohren großer Nennweite wird eine Zugeinrichtung verwendet.

Bei der Einbettung und der Wiederverfüllung des Rohrgrabens sind folgende Gegebenheiten weiters zu beachten:

- örtliche Verhältnisse, Bodenbeschaffenheit, Grundwasserverhältnisse, Einbauten im Trassenbereich ( Leitungen, Kanäle, Fundamente u. dgl.),
- Art und Nutzung der wiederherzustellenden Geländeoberfläche,
- Sonstige Gegebenheiten ( Rutschhänge, Bachquerungen),
- Art der Rohrleitung, Werkstoff (Rohrverbindung, Nennweite, Korrosionsschutz),
- Material und Geräteeinsatz, Art und Rückbau des Grabenverbaues bzw. der Pölung, Verfüllmaterial, Geräte zum Verfüllen und Verdichten.

### **1.2.3.3 Leitungszone (ÖN B 2538 – Kapitel 3.3.4.3.2)**

Die Leitungszone besteht aus der:

- unteren Bettungsschicht,
- oberen Bettungsschicht,
- Bereich der Seitenverfüllung,
- Bereich der Abdeckung.

#### **Untere Bettungsschicht**

Die Rohrleitung muss in ihrer gesamten Länge auf der Grabensohle bzw. auf der unteren Bettungsschicht aufliegen. Eine allfällige untere Bettungsschicht sollte eine Höhe von mindestens 10 cm plus ungefähr 1/10 des Rohrdurchmessers aufweisen.

#### **Rohrbereich (obere Bettungsschicht und Bereich der Seitenverfüllung)**

Durch Unterstopfen der Rohrleitung ist sicherzustellen, dass die je nach Rohrwerkstoff, Nennweite und Type im unterschiedlichen Ausmaß erforderliche Auflagerfläche erreicht wird.

Es darf jedoch durch das Einbringen und Verdichten des Verfüllmaterials bzw. durch das allfällige Unterstopfen der Rohrleitungen deren Lage auch auf der Höhe nach nicht nachteilig verändert werden.

#### **Bereich der Abdeckung**

Die Abdeckung muss im verdichteten Zustand eine Höhe von mindestens 30 cm haben. Im Scheitelbereich ist auf einer Breite von 70 % des Rohrdurchmessers und auf einer Höhe bis 30 cm über dem Rohrscheitel, insbesondere im Bereich der Rohrverbindung, eine direkte Verdichtung zu vermeiden, die im Scheitelbereich dennoch erforderliche Verdichtung ist indirekt durch die Verdichtungsvorgänge aus dem Bereich der Hauptverfüllung sicherzustellen.

In der gesamten Leitungszone ist ein gut verdichtbares Verfüllmaterial zu verwenden. Das Verfüllmaterial darf keine Bestandteile enthalten die größer sind als

- 22mm bei DN < 200
- 40 mm bei DN >200

Vorzugsweise ist grobkörniges und/oder gemischtkörniges Bodenmaterial zu verwenden. Für das lagenweise Verdichten in der gesamten Leitungszone sollten vorzugsweise maschinelle Geräte eingesetzt werden. Der Handstampfer sollte nur zur Unterstopfung der Rohrleitung eingesetzt werden.

In Abbildung 8 ist die Abhängigkeit des einzusetzenden Verdichtungsgerätes von der Bodenart, der Schütthöhe und der Anzahl der Übergänge des Verdichtungsgerätes angegeben. Genaue Werte über Schütthöhe und die Anzahl der Übergänge der Verdichtungsgeräte lassen sich nur durch eine Probeverdichtung feststellen. Bei der Wahl der Verdichtungsgeräte ist zu achten, dass die Rohrleitung nicht beschädigt wird. Die Gleichmäßigkeit der Verdichtung kann mit geeigneten Geräten (ÖNORM B 5016) überprüft werden.

Spalte 1		Spalte 2		Spalte 3			
		BODENGRUPPEN gemäß ÖNORM B 4400					
Geräteart und Einsatzbereich	Masse (Dienstgewicht) kg	grobkörnige Böden (GE, GW, GI, SE, SW, SI ) und gemischt-körnige Böden (GU, GT, SU, ST )		gemischt-körnige Böden (GÜ, GÜ, SÜ, SÜ) bindig		feinkörnige Böden (UL, UM, TL, TM ) bindig	
		Schütthöhe cm	Anzahl der Übergänge des Verdichtungsgerätes	Schütthöhe cm	Anzahl der Übergänge des Verdichtungsgerätes	Schütthöhe cm	Anzahl der Übergänge des Verdichtungsgerätes
Für die Leitungszone (LZ) und im Bereich der Abdeckung; <u>leichte Verdichtungsgeräte:</u> Druckluft- und Vibrationsstampfer leicht mittel Explosionsstampfer leicht Rüttelplatten leicht mittel Vibrationswalzen leicht	bis 25	bis 15	2 bis 4	bis 15	2 bis 4	bis 10	2 bis 4
	25 bis 60	20 bis 40	2 bis 4	15 bis 30	3 bis 4	10 bis 30	2 bis 4
	bis 100	20 bis 30	3 bis 4	15 bis 25	3 bis 5	20 bis 30	3 bis 5
	bis 100	bis 20	3 bis 5	bis 15	4 bis 6	-	-
	100 bis 300	20 bis 30	3 bis 5	15 bis 25	4 bis 6	-	-
bis 600	20 bis 30	4 bis 6	15 bis 25	5 bis 6	-	-	
<u>Oberhalb des Bereiches der Abdeckung bzw. im Bereich der Hauptverfüllung; mittlere und schwere Verdichtungs- geräte:</u> Vibrationsstampfer mittel schwer Explosionsstampfer mittel schwer Rüttelplatten mittel Vibrationswalzen mittel	25 bis 60	20 bis 40	2 bis 4	15 bis 30	2 bis 4	10 bis 30	2 bis 4
	60 bis 200	40 bis 50	2 bis 4	20 bis 40	2 bis 4	20 bis 30	2 bis 4
	100 bis 500	20 bis 40	3 bis 4	25 bis 35	3 bis 4	20 bis 30	3 bis 5
	über 500	30 bis 50	3 bis 4	30 bis 50	3 bis 4	30 bis 40	3 bis 5
	300 bis 750	30 bis 50	3 bis 5	20 bis 40	3 bis 5	-	-
	600 bis 8000	20 bis 50	4 bis 6	20 bis 40	5 bis 6	-	-

<sup>1)</sup> in Anlehnung an "Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen" (ZTVA – StB97), herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen, Köln (Ausgabe 1997)

Abbildung 8: Anwendungsbereiche maschineller Verdichtungsgeräte (ÖN B 2538 – Tabelle 8)

Im Bereich der Hauptverfüllung ist unabhängig vom Rohrwerkstoff und der Nennweite Verfüllungsmaterial zu verwenden, welches eine Verdichtung gemäß Abbildung 8 zulässt. Die erforderliche Gesamtdicke der Schicht direkt über dem Rohr, bevor mit der mechanischen Verdichtung begonnen werden darf, hängt von der Art des Verdichtungsgerätes ab.

## **1.2.4 ÖNORM B 2533 - Koordinierung unterirdischer Einbauten – Planungsrichtlinien**

### **1.2.4.1 Anwendungsbereich (ÖN B 2533 – Kapitel 1)**

Diese ÖNORM ist anzuwenden für die räumliche und zeitliche Einordnung von Einbauten, wie Anlagen der Wasser-, Gas-, Strom-, und Fernwärmeversorgung, Abwasserbeseitigung und von allen übrigen Baukörpern (z.B. Fundamenten).

### **1.2.4.2 Begriffe (ÖN B 2533 – Kapitel 3)**

#### **Einbauten**

Gesamtheit aller Leitungen mit den zugehörigen unterirdischen Bauwerken und oberirdischen Einrichtungen.

#### **Leitung**

Rohr- oder Kabelanlage, die zur Bedienung eines flüssigen oder gasförmigen Mediums, bzw. Kabel, das zum Transport von elektrischen Strom zur Informationsübertragung geeignet ist.

#### **Überdeckung**

Senkrechter Abstand zwischen der Geländeoberkante und der Oberkante von Leitungen oder allfälliger Schutzverrohrungen.

#### **Verlegungstiefe**

Senkrechter Abstand zwischen der Geländeoberkante und der Grabensohle bzw. bei mehrlagiger Verlegung der Unterseite des obersten Kabels (bzw. des Kabelschutzrohres).

### **1.2.4.3 Allgemeines (ÖN B 2533 – Kapitel 4.1)**

Einbauten sind hinsichtlich ihrer Lage so zu planen, dass eine wirtschaftlich günstige Verlegung weiterer Einbauten, die an eine bestimmte Lage und Tiefe gebunden sind, nicht verhindert oder erschwert wird.

Einbauten sind im Einvernehmen mit jenen Stellen zu planen und herzustellen, deren bestehende oder geplante Anlagen berührt werden. Die Koordinierung unterirdischer Einbauten sollte zweckmäßigerweise durch gemeinsame Planung der einzelnen Trassenführungen erfolgen, auch dann, wenn eine gleichzeitige bauliche Ausführung der Einbauten nicht gedacht ist.

## 1.2.5 RVS (Ausgabe 2004)

### 1.2.5.1 Bautechnische Details – (RVS 03.08.63)

Diese RVS ist für die Bemessung des Oberbaues von Straßenneubauten ohne Zwischenausbau im Erdbaubereich anzuwenden.

In Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung werden auf Grundlage der vorgesehenen Mindesttragfähigkeit auf dem Unterbauplanum Angaben über die erforderlichen Dicken der einzelnen Schichten des Straßenoberbaues im Erdbaubereich gemacht. In Abbildung 9 ist der prinzipielle Straßenaufbau laut RVS 8.24 für den Damm- und Einschnittbereich dargestellt. Dabei werden bei jeder Lastklasse jeweils tragfähigkeitsäquivalente Oberbautypen aus verschiedenen Oberbaumaterialien angegeben.

Hinsichtlich der Verkehrsbelastung werden sieben Lastklassen (S bis VI) unterschieden. Für die Einordnung in eine bestimmte Lastklasse ist die Verkehrsbelastung auf dem höchstbelasteten Fahrstreifen maßgebend. Diese Verkehrsbelastung wird ausgedrückt durch die äquivalente Anzahl von Übergängen der Normachslast von 100 kN und als Bemessungsnormlastwechsel (BNLW) bezeichnet.

Die maßgebende Verkehrsbelastung lässt sich genähert aus nachfolgender Beziehung ermitteln:

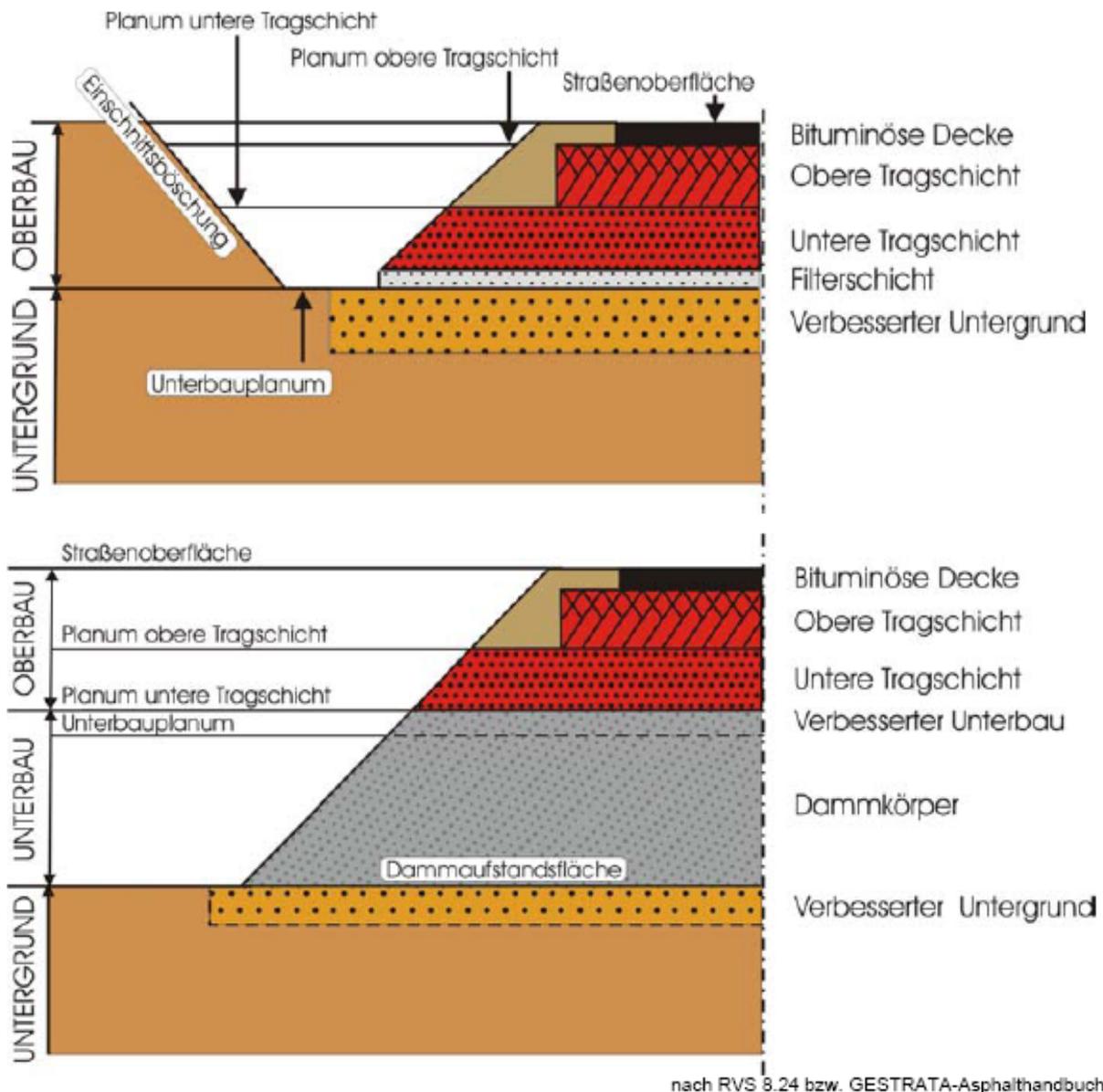
$$\text{BNLW} = \text{NLW}_{\text{tägl}} * R * V * S * 365 * n * z$$

$\text{NLW}_{\text{tägl}}$  = durchschnittlich tägliche Normlastwechsel für den gesamten Querschnitt zum Zeitpunkt der Verkehrsübergabe,

- R     Richtungsfaktor für die Aufteilung des Lastverkehrs auf die Fahrtrichtungen,
- V     Faktor zur Berücksichtigung der Verteilung des Lastverkehrs auf mehrere Richtungsfahrstreifen,
- S     Faktor zur Berücksichtigung der Fahrspurverteilung innerhalb des Fahrstreifens,
- N     Bemessungsperiode in Jahren,
- Z     Zuwachsfaktor.

Entsprechend dem ermittelten Wert für die Bemessungsnormlastwechsel BNLW erfolgt die Zuordnung zu einer Lastklasse der Bemessungstabellen.

In den Bemessungstabellen sind für die einzelnen Lastklassen standardisierte Oberbauausführungen für verschiedene Bauweisen im Erdbaubereich dargestellt. Den Dickenfestlegungen der Bemessungstabellen liegt ein Verformungsmodul auf dem Unterbauplanum von  $E_{V1} = 35 \text{ MN/m}^2$  zugrunde.



**Abbildung 9: Straßenaufbau laut RVS 8.24 bzw. Gestrata-Asphalthandbuch**

Beispiel Straßenoberbau Kärntner Straße - Straße mit höchster Priorität in Graz (Kategorie 1):

- Vorgesehene Bemessungsperiode = 20 Jahre,
- Bituminöser Aufbau,
- Aufteilung des Schwerverkehrs auf die einzelnen Fahrzeugkategorien laut Datenbank des Umweltamtes Graz.

KFZ/24 h = 34.300

LKW Tag = 7,21%

LKW Nacht = 3,6%

Busse Tag = 47

Busse Nacht = 21

Gleichmäßige Aufteilung des Lastverkehrs auf beide Fahrtrichtungen

2 Richtungsfahrstreifen

Fahrstreifenbreite 3,50m

Mittlere Zuwachsrate 2 %

$$\text{BNLW} = \text{NLW}_{\text{tägl}} * R * V * S * 365 * n * z$$

$$\text{BNLW} = (2473 * 1,2 + 1234 * 1,2 + 68 * 0,6) * 0,5 * 1 * 0,9 * 365 * 20 * 1,22 = \mathbf{17,6 * 10^6}$$

Damit ist ein der **Lastklasse S** entsprechender Aufbau aus der RVS 03.08.63 zu wählen.

**Tabelle 1: Straßenoberbauberechnung lt. RVS 03.08.63**

### **1.2.5.3 Entwässerungsarbeiten – (RVS 08.04.01)**

Beim Einbau und Einbetten der Rohre ist darauf zu achten, dass die einer statischen Berechnung zugrunde gelegten Annahmen auch tatsächlich vorhanden sind bzw. eingehalten werden.

Die Grabensohle bzw. das Auflager der Rohre ist so auszubilden, dass unzulässige Längsspannungen sowie unzulässige punktförmige Auflagerungen vermieden werden.

Aufgelockerter oder aufgeweichter Boden muss abgetragen und durch nicht bindiges Material ersetzt werden. Auf Böden mit einem Größtkorn bis 20 mm können Rohre direkt verlegt werden.

In der Leitungszone sind als Füllmaterial nicht bindige bis schwach bindige Böden mit einem Größtkorn von 25 mm zu verwenden.

### **1.2.5.5 Ungebundene Tragschichten – (RVS 08.15.01)**

Die ungebundenen Tragschichten sind wie in Abbildung 10 so zu verdichten, dass der Verformungsmodul  $E_{V1}$  und das Verdichtungsverhältnis  $E_{V2} / E_{V1}$  erreicht werden.

$E_{V1}$  Verformungsmodul aus der Erstbelastungskurve des Lastplattenversuches zwischen den Laststufen:

- $p_1 = 0,2 \text{ MN/m}^2$  und  $p_2 = 0,4 \text{ MN/m}^2$  (oberhalb des Unterbauplanums),
- $p_1 = 0,1 \text{ MN/m}^2$  und  $p_2 = 0,2 \text{ MN/m}^2$  (unter dem Unterbauplanum).

$E_{V2}$  Verformungsmodul aus der Zweitbelastungskurve

$D_{Pr}$  erzielter Verdichtungsgrad in Prozenten der einfachen Proctordichte

Schichtbezeichnung	$E_{V1}$ MN/m <sup>2</sup>	$E_{V2}/E_{V1}^{2)}$	$D_{Pr}$ %
Untere Tragschicht <sup>1)</sup>	60	≤ 2,2	101
Obere Tragschicht <sup>1)</sup>	75	≤ 2,2	103
Obere Tragschicht aus zentralgemischten Kantkörnungen	120	≤ 2,2	103

<sup>1)</sup> Bei Kantkornanteilen über 50 M-% sind die Verformungsmoduln um 20 % zu erhöhen.

**Abbildung 10: Mindestanforderung an ungebundene Tragschichten (RVS 08.15.01)**

## 2 Allgemeine Begriffsbestimmungen

### 2.1 Historische Entwicklung

#### 2.1.1 Entwicklung des Straßenaufbaues

In der Zeit vor dem 18. Jh. war die Eisenbahn das einzige Mittel der überregionalen Verkehrsverbindung. Das Straßennetz bestand nur aus Schotterwegen auf denen die Pferdekutschen sich bewegten. Ab dem Jahr 1930 bildeten sich je nach Beanspruchung der Fahrbahn drei Gruppen von Fahrbahnbefestigungen.

- Zu den „leichten“ Decken gehörten alte Schotterstraßen, die für leichten Kraftwagenverkehr einen Oberflächenschutz durch Teer oder Asphalt gegen Staubentwicklung hatten.
- Zu den „mittelschweren“ Decken zählten mit Teer, Asphalt oder Portlandzement gebundene Schotterstraßen, die auch bei stärkerem Verkehr als dauernde Befestigung dienten.
- Zu den „schweren“ Decken zählten Pflasterungen aus Naturstein und Walzaspahl in Stärken von mehr als 4 cm und Beton mit und ohne Bewehrung.

In Österreich gab es vor 1938 keine Autobahnen und die ersten größeren Autobahnabschnitte wurden erst in den 1950er Jahren fertig gestellt. Danach wurde die Entwicklung des Straßenaufbaues rasant vorangetrieben und diese Entwicklung ist in Abbildung 11 ersichtlich (Stickler, 2001).

#### Entwicklung des Straßenaufbaues

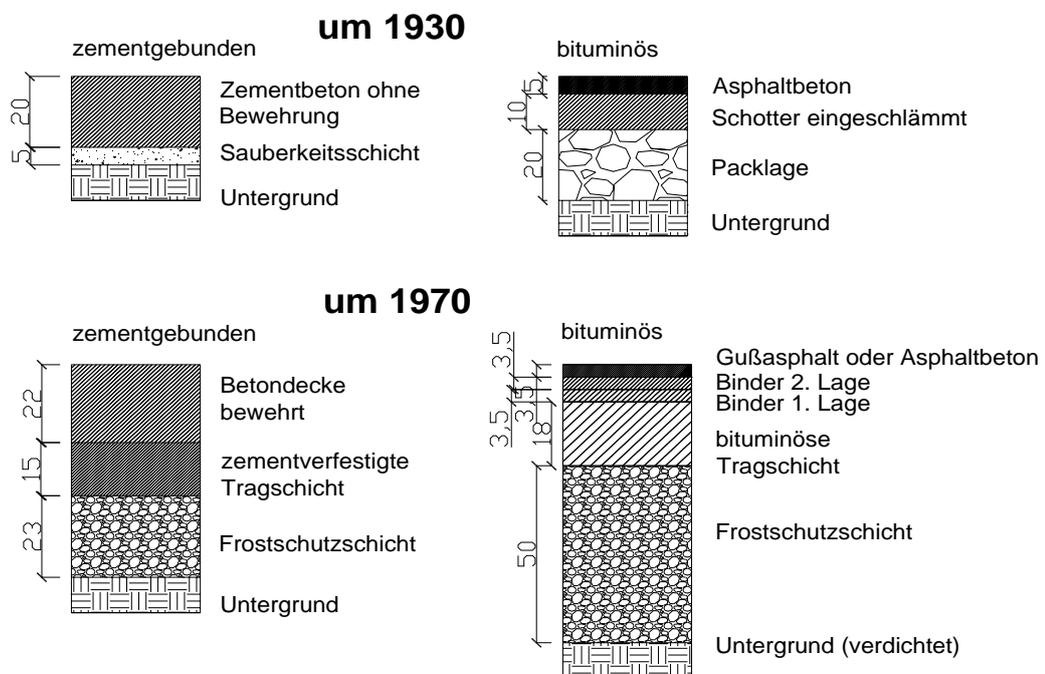


Abbildung 11: Entwicklung des Straßenaufbaues (Stickler, 2001)

Als aktuelles Beispiel und Vergleich zur historischen Entwicklung des Straßenaufbaus ist in Abbildung 12 die Normkүнette und der Straßenaufbau nach der Grazer Aufgrabungsrichtlinie (Entwurf 2007) dargestellt.

Normkүнette nach Aufgrabungsrichtlinien der Stadt Graz (Entwurf 2007)

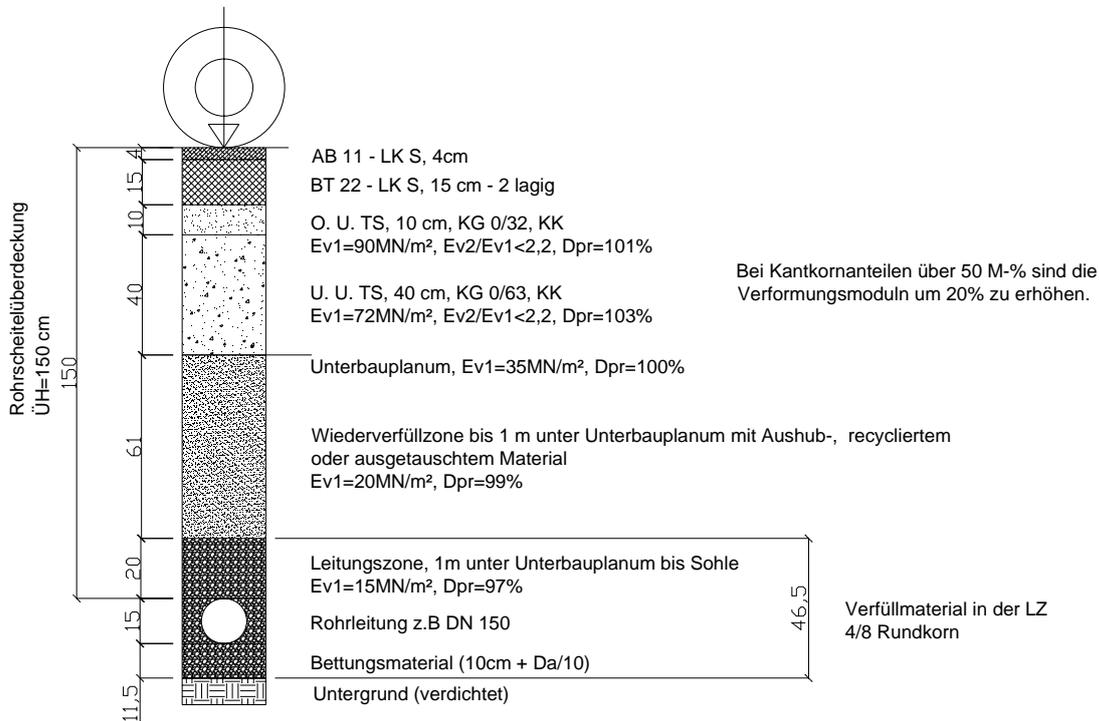


Abbildung 12: Normkүнette nach Aufgrabungsrichtlinie der Stadt Graz (Entwurf 2007)

## 2.1.2 Veränderung der Verkehrsbelastung

Die Landeshauptstadt Graz hat eine Fläche von 127 km<sup>2</sup>, eine Einwohnerzahl von 226.000 und ein Arbeitsplatzangebot von 121.000. Das Gebiet von Graz-Umgebung hat 131.000 Einwohner und 36.000 Arbeitsplätze. Aus diesem Grund ist wie in Abbildung 13 ersichtlich, naheliegend, dass ein Großteil des Verkehrsaufkommens aus dem täglichen Arbeiter-Pendlerverkehr entsteht. (Stichtag 01.01.2004, Stadtbaudirektion Graz)

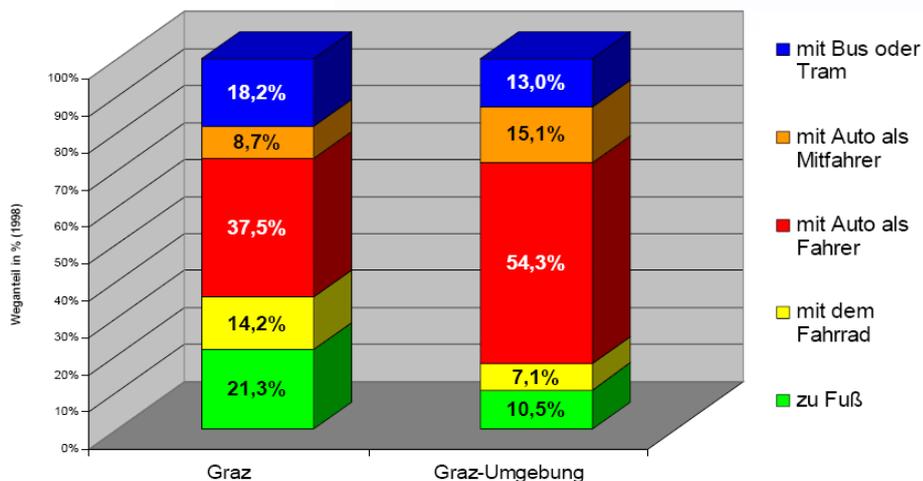


Abbildung 13: Mobilität der Grazer im Vergleich zum Umland (Stadt Graz Baudirektion)

Das Grazer Straßennetz hat eine Länge von ca. 1051 km, wobei

auf Autobahnen 55 km,

auf Vorrangstraßen 194 km,

auf Straßen ohne Vorrang 802 km entfallen.

Das öffentliche Verkehrsnetz umfasst ca. 294 km, wobei hier

auf 6 Straßenbahnlinien 44 km

auf 37 Buslinien 250 km entfallen.

Ein mobiler Grazer erledigt pro Werktag im Schnitt 3,8 Wege, legt dabei pro Tag ca. 22 km zurück und verbringt dabei ca. 75 min im Verkehr.

## **2.2 Rohrleitungen**

### **2.2.1 Arten von Rohrleitungen**

#### **2.2.1.1 Transportleitungen**

Durch Transportleitungen wird das Wasser von Quellen oder Pumpwerken (Brunnen) in Hochbehälter, oder auch von Hochbehältern zum Versorgungsnetz geleitet.

Es wird unterschieden in

- Quellzuleitungen
- Pumpleitungen
- Zubringerleitung zum Versorgungsnetz.

(Kainz et al, 2002)

#### **2.2.1.2 Versorgungsleitungen**

##### *Verästelungsnetz*

In einem solchen Verästelungsnetz kann das Wasser stets nur in einer Richtung zu den Verbrauchern fließen. Bei Reparaturen oder Rohrbrüchen sind große Teile des Versorgungsgebietes ohne Wasser, der Betrieb ist daher unsicher.

##### *Ringnetz*

Durch die Verbindung von Leitungsenden entsteht ein Ringnetz. In einem Ringnetz kann das Wasser von zwei Seiten zu den Verbrauchern zufließen und bei Reparaturarbeiten fällt die Wasserversorgung nur in einem kurzen Leitungsteil zwischen zwei Schiebern aus.

##### *Anschlussleitung*

Die Anschlussleitung ist die Rohrleitung zwischen der Versorgungsleitung und der Übergabestelle beim Verbraucher (Wasserzähler).

Für Planung, Bau, Betrieb und Bemessung ist die ÖNORM B 2531 anzuwenden.

(Kainz et al, 2002)

## 2.2.2 Rohrwerkstoffe

### 2.2.2.1 Stahlrohre

Für Transport- und Versorgungsleitungen werden Stahlrohre verwendet (DIN 2460, DIN 1626, DIN 1628). Aufgrund ihrer Korrosionsempfindlichkeit müssen Stahlrohre innen durch eine Zementmörtelauskleidung mit Portlandzement für Trinkwasserleitungen, und außen durch eine Polyethylenumhüllung geschützt werden. Nach der PE-Umhüllung erfolgt die Rohrendenbeschichtung der Steckmuffenrohre mit einem für Trinkwasser geeigneten, lösungsmittelfreien 2-Komponenten Epoxidharz. Diese Beschichtung wird im Bereich des Muffeninnenraumes und des Einsteckendes als innerer Korrosionsschutz aufgebracht. Bei Gefahr von Beschädigungen der PE-Umhüllung durch mechanische Einwirkungen (Fels, Geröll) im Boden werden sie mit einer Faserzementmörtel-Ummantelung versehen.

Für die Nachumhüllung der PE-Umhüllung im Rohrverbindungsbereich werden sogenannte Schrumpfschläuche, Strumpfmanschetten, Zementbinden oder Bitumenbinden verwendet.

Als Rohrverbindungen werden Schweißverbindungen verwendet. Auch Steckmuffenrohre mit längskraftschlüssiger Verbindung durch spezielle Klemmringe werden verwendet, die auch eine direkte Verbindung mit Gussrohren ermöglichen (Röhrenwerk Gebr. Fuchs GmbH, 2003).

### 2.2.2.2 Kunststoffrohre

Folgende Kunststoffrohre werden als Wasserleitungsrohre verwendet:

- Rohre aus Polyethylen mit hoher Dichte (PE-80 und PE-100, ÖNORM B 5172),
- Rohre aus Polyvinylchlorid, PVC-U (ÖNORM EN 1452, Teil 1 bis 4).

Kunststoffrohre zeichnen sich aus durch:

- Korrosionsbeständigkeit,
- Chemische Widerstandsfestigkeit,
- Abriebfestigkeit,
- Zeitstandfestigkeit,
- Alterungsbeständigkeit,
- Geringes Gewicht (PE-80 bzw. PE-100: Dichte = 0,95 g/cm<sup>3</sup>, PVC-U: Dichte = 1,4 g/cm<sup>3</sup>).

Eine besondere Sorgfalt ist bei Transport, Lagerung und Rohrbettung erforderlich, um die Ovalität zu begrenzen. Für erdverlegte Leitungen werden Steckmuffen mit Gummidichtringen oder ISO-Rohrfittings als längskraftschlüssige Verbindung verwendet. Geklebte, geschweißte oder durch Spezialklammern verbundene Rohrverbindungen werden hauptsächlich bei frei liegenden Leitungen verwendet.

Bei den Kunststoffrohren sind die mechanischen Eigenschaften von der Belastungsdauer und der Temperatur abhängig. Kunststoffe fallen unter die Gruppe der viskoelastischen Werkstoffe, wobei zwischen den Begriffen „Kriechen“ und „Relaxieren“ unterschieden wird.

Kriechen bedeutet eine Zunahme der Dehnungen mit der Belastungsdauer bei konstanter Spannung. Relaxieren bedeutet eine Abnahme der Spannungen mit der Belastungsdauer bei konstanter Dehnung (Kainz et al, 2002).

### **2.2.2.3 Asbestzementrohre**

Der Werkstoff Faserzement besteht aus Zement als Bindemittel, Anmachwasser für die hydraulische Erhärtung und aus Asbestfasern als Bewehrung.

Die Einlagerungen der Asbestfasern über den ganzen Querschnitt wirken als Bewehrung und verleihen dem Werkstoff die Eigenschaft Zugkräfte aufzunehmen.

Der Asbest wird in Gesteinsnestern gefunden und man unterscheidet je nach Muttergestein zwischen Serpentin- und Amphibol-Asbest.

Asbest wurde in der Vergangenheit universell eingesetzt. Da das Mineral nicht brennt, erst bei über 1000°C schmilzt, unempfindlich gegen viele Laugen und Säuren ist und Wärme und Schall schlecht leitet, wurde es vielfach als Brandschutz in öffentlichen Gebäuden und Hochhäusern, an Heizungsanlagen, für Fassaden- und Dachverkleidungen, und in Wasserrohrleitungen verwendet. (Hünerberg, 1977).

Die feinen Asbestfasern können bei mechanischer Einwirkung leicht freigesetzt und dann eingeatmet werden. Personen, die mit Asbest in Kontakt kommen, haben ein erhöhtes Risiko an einer chronischen Lungenkrankheit (Asbestose), Lungenkrebs und an Krebs des Rippen- und Bauchfells zu erkranken

Eine erste Asbest-Verordnung stammt aus dem Jahr 1990, ein generelles Verbot hinsichtlich Produktion und Verarbeitung von Asbest gibt es seit 1994. Faser- und Asbestzementrohre sind im Siedlungswasserbau nach wie vor zulässig. Bei Reparaturen oder Erneuerungen bestehender Anlagen werden sie jedoch ersetzt. Trotz des medizinisch bewiesenen Gefahrenpotentials besteht keine Verpflichtung, Altlasten sanieren zu müssen (<http://science.orf.at/science/news/25042>).

### **2.2.2.4 Gussrohre (GG) und Rohre aus duktilem Gusseisen (GGG)**

Gussrohre werden vorwiegend nach dem Schleudergussverfahren hergestellt, wobei durch die Verteilung und die Form der Graphiteinschlüsse die Eigenschaften bestimmt werden. Erreichen die normal lamellenförmigen Graphiteinschlüsse (Grauguss, GG) durch besondere Beigaben in der Schmelze eine kugelige Form (Sphäroguss, duktiles Gusseisen, GGG), so besitzt der Werkstoff ein großes Formänderungsvermögen (Duktilität) und eine hohe Zugfestigkeit. Für Wasserleitungen werden fast ausschließlich GGG-Rohre verwendet.

Zum Schutz der Rohre vor chemischen und elektrolytischen Einflüssen von Wasser und Boden erhalten sie innen eine Zementmörtelauskleidung und außen eine Spritzverzinkung und einen Deckanstrich aus Bitumen oder eine Polyurethanbeschichtung. Die Außenbeschichtung ist gegen Verletzungen zu schützen. Die Rohre sind dadurch auch in aggressiven Böden und Wässern geschützt. Trotzdem sind Boden- und Wasseruntersuchungen vorzunehmen, da zusätzliche Schutzüberzüge (Zement, Kunststoff) oder Wasseraufbereitungsmaßnahmen (z.B. Herstellen des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes) notwendig werden können. Bei zusätzlicher äußerer Zementmörtelumhüllung gilt folgender Schichtaufbau: Zementmörtelauskleidung, GGG-Wand, Zink-Überzug, Zwischenschicht Zweikomponenten-Kunstharzbeschichtung, Zementmörtelschicht. Die Rohrkennzeichnung beinhaltet Werkstoff, das Herstellungsdatum und die Nennweite (Gussrohr-Technik, 1996).

## **2.3 Begriffsbestimmungen Grundbau**

### **2.3.1 Verdichtungsvorgang**

Mit dem Verdichtungsvorgang erreicht man eine Veränderung des eingebrachten oder aufgelockerten Materials in eine gleichmäßige, standfeste und hohlraumarme Form, mit der entsprechenden Verbesserung der Eigenschaften dieses Bodens. Es soll ein möglichst großer Anteil der Luft und/oder des Wassers aus den vorhandenen Poren herausgedrückt und der Porenraum minimiert werden. Durch die engere Lagerung der Bodenpartikel zueinander wird eine spätere Nachverdichtung unter Einfluss des Verkehrs vermindert. Es wird eine größere Standsicherheit erreicht und dadurch werden unerwünschte oder ungleichmäßige Setzungen minimiert.

Die Verdichtung verringert die Neigung zur Wasseraufnahme und die Wasserdurchlässigkeit, das zur Folge ein geringeres Bodenschwindmaß ergibt und dadurch der Boden weniger aufquillt und sich zusammenzieht.

Der Verdichtungserfolg hängt vom zu verdichtenden Boden und vom eingesetzten Verdichtungsgerät ab. Die Verdichtungseigenschaften werden von folgenden Faktoren maßgeblich beeinflusst:

- der Bodenart / der Bodengruppe,
- der Kornform und Kornrauigkeit,
- der Korngrößenverteilung,
- dem Wassergehalt,
- den Konsistenzgrenzen.

(Grundbau 1, 1994)

### **2.3.2 Bodenart**

#### **Bindige Böden**

Darunter versteht man Tone und Schluffe. Die feinen, meist plättchenförmigen Einzelkörner haften aneinander. Die dazwischen liegenden Hohlräume sind sehr klein und zum Teil voneinander abgeschlossen.

Bindige Böden haben geringe Wasserdurchlässigkeit, nehmen Wasser langsam auf und geben es nur langsam wieder ab und sind daher frostempfindlich. Unter Wasserzugabe quellen bindige Böden auf und werden plastisch, dagegen ist im trockenen Zustand die Standfestigkeit sehr groß (Grundbau 1, 1994).

#### **Nichtbindige Böden**

Darunter versteht man Steine, Kiese und Sande. Diese Mischung aus Einzelkörnern haftet im trockenen Zustand nicht aneinander, sondern stützt sich gegenseitig nur ab. Sie sind wasserdurchlässig, da große Hohlräume vorhanden sind die miteinander in Verbindung stehen. Nichtbindige Böden weichen in Wasser nicht auf und sind dadurch auch frostsicher (Grundbau 1, 1994).

## **Gemischtkörnige Böden**

Darunter versteht man eine Zusammensetzung aus mehreren Korngrößen, also Mischungen aus feinkörnigem, bindigem sowie grob- oder mittelkörnigem Material (Grundbau 1, 1994).

### **2.3.3 Korngrößenverteilung**

Darunter versteht man den Durchmesser und den Gewichtsanteil der Kornzusammensetzung des Bodens, z.B. enggestufte (schwer verdichtbar) und weitgestufte (gut verdichtbar) Körnungslinien (Grundbau 1, 1994).

### **Verdichtungswilligkeit**

Darunter versteht man den Widerstand eines zu verdichtenden Bodens bei der Verlagerung der einzelnen Körner in ein dichteres Korngerüst. Mit dem Wassergehalt steigt die Verdichtungswilligkeit bis zu einem optimalen Wert infolge einer Verringerung der inneren Reibung. Die Verdichtungswilligkeit des Bodens ist auch abhängig von der Kornabstufung (Grundbau 1, 1994).

### **Verdichtungsfähigkeit**

Darunter versteht man die Voraussetzung zur Erreichung eines hohlraumarmen Korngemisches. Sie ist besonders groß, wenn die Kornabstufung des Bodengemisches so günstig ist, dass Hohlräume grober Fraktionen durch Körner der jeweils kleineren Fraktion ausgefüllt werden. Die Verdichtungsfähigkeit ist auch von der Scherfestigkeit des Bodens abhängig. Die Scherfestigkeit eines nichtbindigen Bodens beruht auf dem Reibungswiderstand der einzelnen sich berührenden Körner und dem Gefügewiderstand infolge von Verschachtelung und Verkeilung der einzelnen Körner. Bei den bindigen und feinkörnigen Böden ist die Scherfestigkeit auch von der Kohäsion (Haffestigkeit) des Bodens abhängig (Grundbau 1, 1994).

### **2.3.4 Konsistenzgrenzen**

Die Übergänge von einer Zustandsform in die andere werden als Atterberg'sche Grenzen bezeichnet. Der Übergang von der flüssigen zur plastischen Zustandsform ist die Fließgrenze mit dem Wassergehalt  $w_L$ , der Übergang von der plastischen zur halbfesten Zustandsform ist die Ausrollgrenze mit dem Wassergehalt  $w_P$  und der Übergang von der halbfesten zur festen Zustandsform ist die Schrumpfgrenze mit dem Wassergehalt  $w_S$  (Grundbau 1, 1994).

### **2.3.5 Prüfung der Bodenverdichtung**

#### **2.3.5.1 Proctordichte**

Die Proctordichte ist die größte Trockendichte der, mit einer bestimmten Verdichtungsarbeit [ $\text{MN}/\text{m}^3$ ] in ein Gefäß von festgelegter Größe, eingestampften Menge an Bodenmaterial. Bei konstanter Verdichtungsarbeit ist ein Zusammenhang zwischen Bodendichte und der Proctordichte feststellbar. Die höchste erreichbare Trockendichte und somit auch Verdichtung wird als Proctordichte – der entsprechende Wassergehalt als optimaler Wassergehalt bezeichnet.

Verdichtungsgrad  $D$  in % =  $D_d / D_{Pr} * 100$ ,

$D_d$  = Trockendichte  $D_{Pr}$  (durch Verdichtungsgerät erreichte Trockendichte auf der Baustelle),

$D_{Pr}$  = Proctordichte (max. Trockendichte im Labor).

(Grundbau 1, 1994)

Aus Abbildung 14 ist ersichtlich, dass zu jeder Bodenart in Abhängigkeit des Wassergehaltes die maximale Trockendichte oder Proctordichte ermittelbar ist.

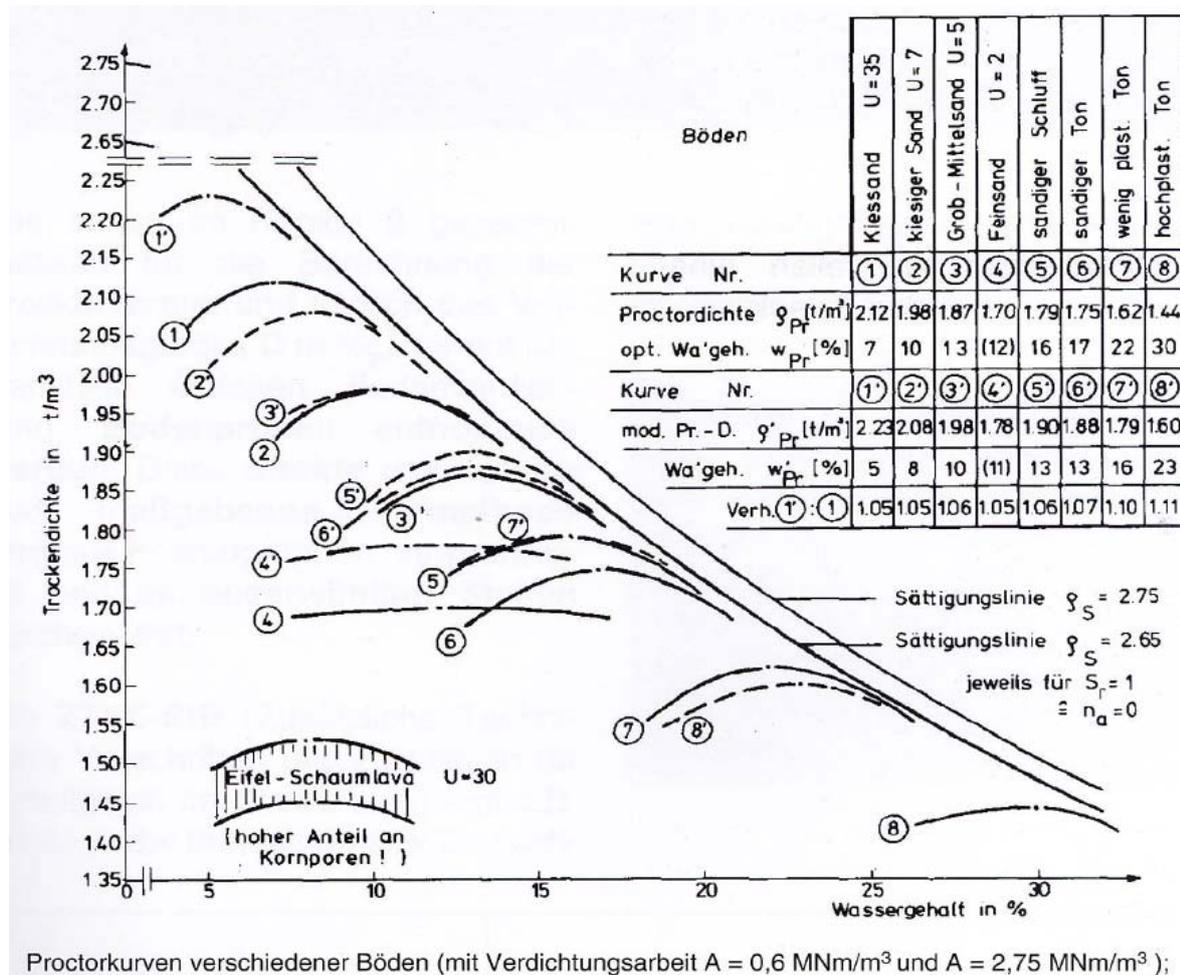


Abbildung 14: Proctorkurven verschiedener Böden (Grundlagen der Bodenverdichtung, Wacker)

### 2.3.5.2 Lagerungsdichte

Die Lagerungsdichte bindiger und nicht bindiger Böden gibt an, wie stark verdichtet ein Boden ist und wie groß sein Porengehalt ist. Die Wichte (feucht oder trocken) hängt von der Lagerungsdichte ab. Die Lagerungsdichte  $D$  wird in genormten Versuchen ermittelt.

Sie ist definiert als:

$$D = (n_{\max} - n) / (n_{\max} - n_{\min})$$

Wobei:

- $n$  = Porenanteil der Bodenprobe,
- $n_{\max}$  = Porenanteil bei lockerster Lagerung,
- $n_{\min}$  = Porenanteil bei dichtester Lagerung.

(Grundbau 1, 1994)

## 2.4 Grundlagen der Bodenverdichtung

### 2.4.1 Verdichtungswirkung und Maschinen-Kenndaten

Der Grad der Verdichtung ist abhängig von:

- der Verdichtungsfähigkeit des Bodens,
- der Verdichtungswilligkeit des Bodens,
- den maschinentechnischen Kenndaten des Verdichtungsgerätes.

Zu den maschinentechnischen Kenndaten zählen:

- das Betriebsgewicht des Geräts,
- die Zentrifugalkraft, die pro Bandage in den Boden eingeleitet wird,
- die Erregerfrequenz (Drehzahl der Erregerwelle pro Sekunde),
- die Nennamplitude (halbe Schwingungsweite der Bandage),
- die statische Linienlast der einzelnen Bandagen,
- die dynamische Linienlast der vibrierenden Bandagen,
- die Arbeitsgeschwindigkeit des Gerätes,

(Grundlagen der Bodenverdichtung, Wacker 1992).

#### 2.4.1.1 Zentrifugalkraft

Durch das Einleiten von schnell aufeinander folgenden Kräften wird das zu verdichtende Material in Schwingung versetzt. Die Vibration und die Zentrifugalkraft werden mit einer rotierenden Unwuchtmasse (Excenter) erzeugt.

Die Unwuchtmasse kann als Zentralerreger außerhalb der Bandagen auf dem unteren Rahmen montiert sein oder innerhalb der vibrierenden Bandage, mit direkter Einwirkung der Zentrifugalkraft in das zu verdichtende Material, angebracht sein. Die Zentrifugalkraft wird durch Geometrie, Gewicht und Winkelgeschwindigkeit der Unwucht bestimmt.

Es ist auch auf die Abstimmung zwischen Vorlaufkraft und Verdichtungskraft zu achten, da sich mit erhöhter Vorlaufgeschwindigkeit die Verdichtungskraft verkleinert. Die Folge ist eine schnellere Übergangsgeschwindigkeit des Gerätes, aber auch eine verringerte Verdichtungs- und Tiefenwirkung (Grundlagen der Bodenverdichtung, Wacker 1992).

#### 2.4.1.2 Erregerfrequenz

Die Frequenz (in Hz) – die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde der im Erreger rotierenden Unwuchtmasse – wird durch die Drehzahl der Unwuchtmasse bestimmt.

Hier gilt für Verdichtungsgeräte, dass bei Schüttmaterialien mit hauptsächlich kleiner Körnung höhere Frequenzen, bei höherem Grobkornanteil niedrigere Frequenzen die bessere Verdichtungswirkung erzielen.

Zwischen der Korngröße und der Schwingungszahl besteht eine mathematische Beziehung (reduzierte Schwingungsgleichung).

$$d = k / n^2$$

d = Durchmesser des Einzelkornes in mm

k = zusammenfassende Konstante

n = Eigenschwingungszahl des Einzelkornes in  $\text{min}^{-1}$

Daraus ist ersichtlich: Je höher die in den Boden eingeleitete Schwingungszahl (pro Minute) oder Frequenz (Hz), umso kleiner ist das darauf reagierende und in Schwingung gesetzte Einzelkorn.

Bei der dynamischen Verdichtung werden feine Kornanteile durch hohe Schwingungszahlen und grobe Kornanteile durch geringere Schwingungszahlen in Schwingungen versetzt.

Daraus ist abzuleiten, dass mit höherer Erregerfrequenz eine größere Tiefenwirkung erreichbar ist (Grundlagen der Bodenverdichtung, Wacker 1992).

### **2.4.1.3 Nennamplitude**

Die schwingende Maschinenmasse ist von der restlichen Walze durch Gummipuffer getrennt. Die Nennamplitude wird durch Geometrie und Gewicht der Unwucht sowie durch das Gewicht der vibrierenden Maschinenmasse bestimmt (Grundlagen der Bodenverdichtung, Wacker 1992).

### **2.4.1.4 Statische Linienlast**

Die Verdichtungswirkung bei statischen Walzen ist zum Großteil vom Gewicht abhängig, hingegen bei dynamischen Walzen ist die Verdichtungswirkung nur teilweise von ihrem Gewicht abhängig. Bei Beginn der Verdichtung sinkt die Bandage tief in das Material ein und daher ist ein breiter Kegel der rollenden Walze in Kontakt mit dem Boden. Mit zunehmender Verdichtung wird die Berührungsfläche kleiner und der spezifische Flächendruck größer.

Die statische Linienlast ist in kg/cm angegeben.

Statische Linienlast = Achslast (kg) / Bandagenbreite (cm)

Eine höhere statische Linienlast führt zu einer größeren Tiefenwirkung des Verdichtungsgerätes (Grundlagen der Bodenverdichtung, Wacker 1992).

### **2.4.1.5 Dynamische Linienlast**

Dynamische Linienlast = Zentrifugalkraft (kN) / Bandagenbreite (cm)

Dieser Kennwert ist in kN/cm angegeben (Grundlagen der Bodenverdichtung, Wacker 1992).

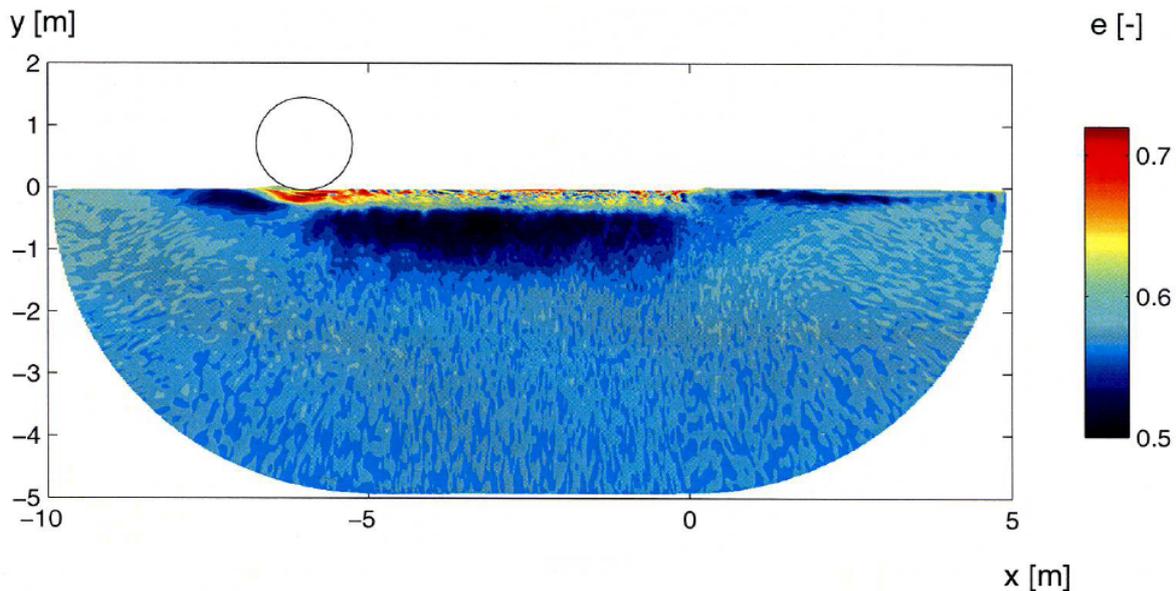
### **2.4.1.6 Arbeitsgeschwindigkeit**

Mit steigender Geschwindigkeit vergrößert sich der Vibrationsabstand (Schlagabstand) zwischen zwei senkrechten Bewegungen der Bandagen, d.h. mit steigender Arbeitsgeschwindigkeit und gleich bleibender Erregerfrequenz nimmt die Verdichtungsleistung ab, da sich der Vibrationsabstand vergrößert (Grundlagen der Bodenverdichtung, Wacker 1992).

### **2.4.1.7 Wirtiefe bei Walzen**

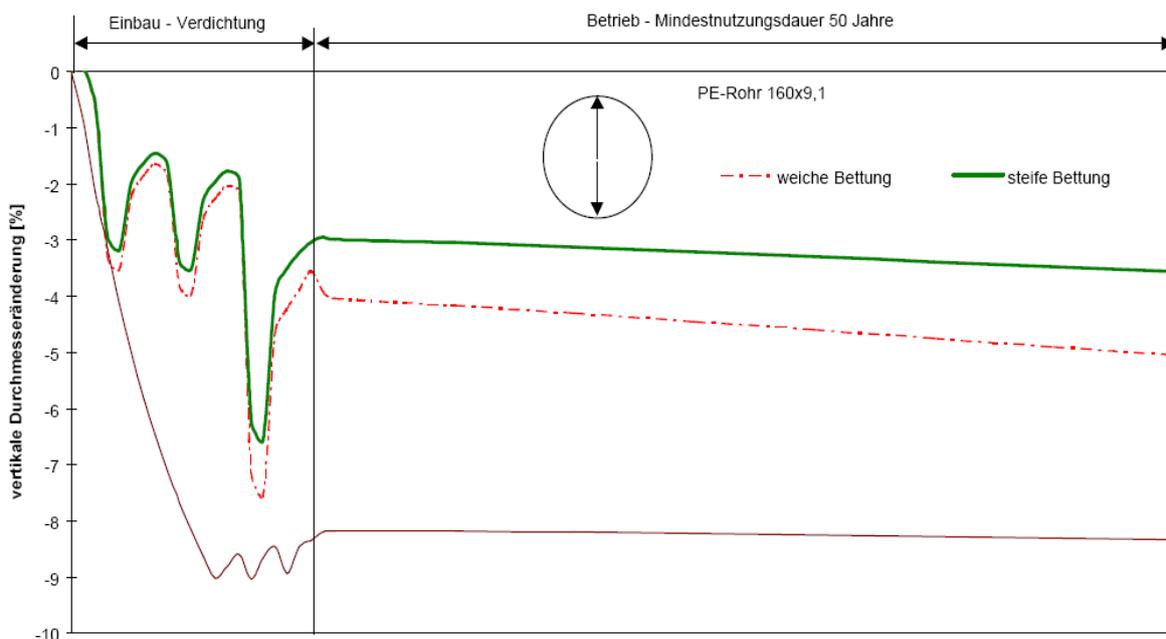
Das von der Bandage beeinflusste Gebiet kann in drei Teile gegliedert werden. Direkt an der Oberfläche wird eine dünne Schicht von etwa 30 cm aufgelockert. Darunter bis in eine Tiefe von etwa einem Meter findet eine Verdichtung statt. Links und rechts von der Bandage findet auch oberflächennah eine Verdichtung statt, verursacht durch Oberflächenwellen. In

Abbildung 15 ist ersichtlich, dass die oberflächennahe Schicht bei direkter Überfahrt der Bandage wieder aufgelockert wird. Diese Auflockerung lässt sich durch die beim Verdichtungsvorgang auftretenden großen Beschleunigungen und Verformungen der Bodenteilchen erklären (Grundlagen der Bodenverdichtung, Wacker 1992).



**Abbildung 15: Verteilung der Porenzahl nach Verdichtung mit Vibrationswalze (Grabe, Bodenverdichtung 2003)**

Nach dem Einbringen der Verfüllung in Schichten zu je 30 cm in die Leitungszone werden diese Schichten am Planum verdichtet. Die Verdichtung der Rohrgrabenverfüllung führt zu einer Verspannung der Verfüllung in der Leitungszone und damit zu einer Verformung der Rohre. Bei biegeweichen oder flexiblen Rohren tritt eine Verformung des Rohres durch diese Verdichtungsverspannung auf (Kiesselbach, 1999).

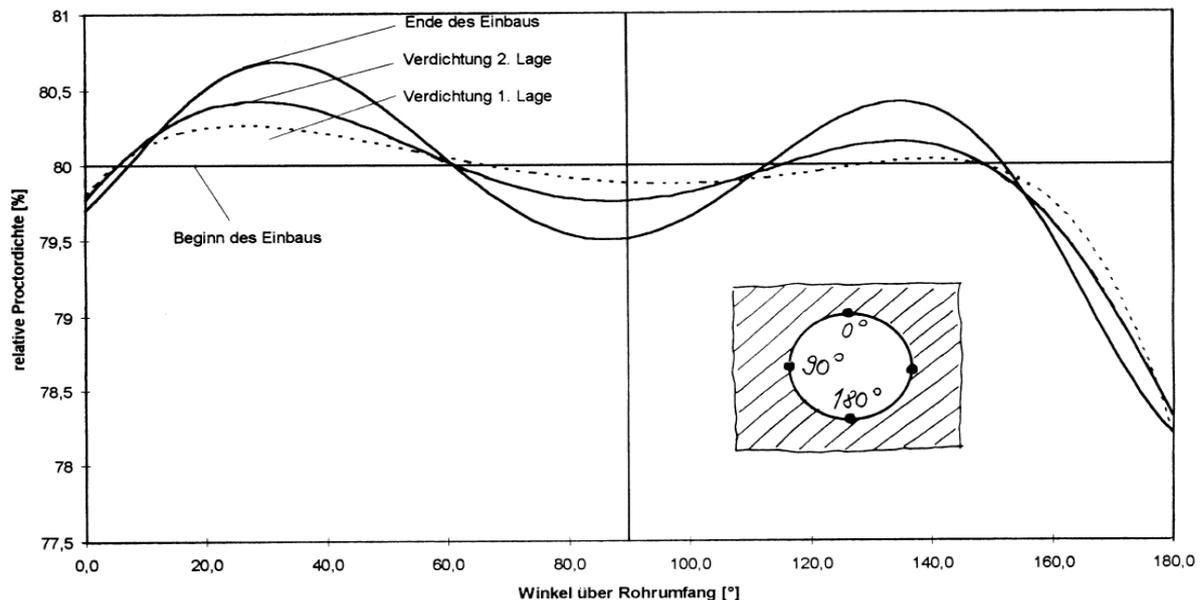


**Abbildung 16 Verformung eines PE-Rohres beim Einbau und im Betrieb (Kiesselbach, 1999)**

Die Abbildung 16 zeigt den Unterschied einer moderaten richtigen lagenweisen Verdichtung der Wiederverfüllzone im Vergleich zu einer extremen Verdichtung der ersten Lage der Wiederverfüllzone. Bei der extremen Verdichtung treten größere Verspannungen der

Verfüllung und damit auch größere bleibende Durchmesseränderungen im Rohr auf. Analog zur größeren Durchmesseränderung treten Spannungsspitzen in der Rohrwand bei extremer Verdichtung auf.

Die Beanspruchungen in der Rohrwand durch den Einbau und die Verdichtung können wesentlich höher sein als die Beanspruchungen durch eine maximale Verkehrsbelastung. Ein Abbau der Spannungen erfolgt mit der Belastungsdauer durch Relaxieren (Kiesselbach, 1999).



**Abbildung 17 Relative Dichte der Verfüllung in der Leitungszone über den Rohrumfang (Kiesselbach, 1999)**

In Abbildung 17 ist die Verteilung der relativen Dichte der Verfüllung in der Leitungszone über den Rohrumfang für die lagenweise Verdichtung der einzelnen Schichten der Wiederverfüllzone dargestellt. Die Verdichtung bewirkt vor allem im Zwickelbereich eine Verringerung der relativen Dichte, die auf den reversiblen Anteil der Rohrverformung zufolge der Verdichtung zurückzuführen ist. Dieser reversible Anteil führt zu einer Entlastung des Kontaktes zwischen Rohr und Verfüllung im Zwickelbereich. In den Regelwerken und Richtlinien sind die Einwirkungen auf das Rohr durch den Einbau nicht berücksichtigt. Die Berechnungen der Regelwerke beginnen erst an der Übergangsstelle zwischen Einbau und Betrieb (Kiesselbach, 1999).

Die Auswirkungen durch Verkehrsbelastung auf das System Fahrbahn-Boden-Leitung sind im Allgemeinen wesentlich geringer als üblicherweise angenommen wird. Das lässt sich unter anderem dadurch erklären, dass

- die Einbaulasten im Zuge der Verdichtung der Grabenverfüllung höher sind als die Verkehrslasten,
- die Verkehrslasten auf der Fahrbahn angreifen, während die Verdichtung der Grabenverfüllung lagenweise im Leitungsgraben erfolgt,
- befestigte Fahrbahnen aufgrund der Steifigkeit der Fahrbahn eine lastverteilende Wirkung auf die Wiederverfüllzone besitzen,

- im Zuge der Verdichtung der Grabenverfüllung das Verfüllmaterial in der Leitungszone verspannt wird, so dass eine nachfolgende Last geringerer Größe keine zusätzliche Verdichtung bewirken kann.

Die Beanspruchungen und Verformungen erdverlegter Rohre sind nicht nur auf Rohreigenschaften oder Belastungen zurückzuführen, sondern werden auch durch die Qualität der Verlegung beeinflusst (Kiesselbach, 1999).

#### **2.4.2 Verwendete Verdichtungsgeräte im Grazer Stadtgebiet**

Folgende Verdichtungsgeräte werden im Grazer Stadtgebiet verwendet.

Leichte Verdichtungsgeräte für die Leitungszone:

- Rüttelplatten,
- Vakuumstampfer.

Mittelschwere Verdichtungsgeräte oberhalb der Leitungszone:

- Doppelstahlläufer (BW 120 AD-3),
- Doppelstahlläufer (BW 100 AD-3),
- Grabenwalze (Ramax-Walze).

Asphaltverdichtung:

- Vibrationswalzen (CC 225).

### 3 Derzeitiger Stand

#### 3.1 Dimensionierung des Oberbaus

Der Straßenoberbau wird beansprucht durch Verkehrslast und Witterung (Frost, Tau, Hitze, Kälte, Nässe) und hat folgenden Anforderungen zu genügen:

- ausreichende Lastverteilungswirkung des gesamten Oberbaus, um zu verhindern, dass die zulässige Bodenpressung überschritten und der Unterbau verformt wird,
- genügend Stabilität der einzelnen Schichten, um Rissbildungen und plastische Verformungen zu verhindern.

Der Oberbau muss die Kräfte der Verkehrslasten aufnehmen, und wie in Abbildung 18 in den Untergrund ableiten und verteilen. Im Gegensatz zu unbefestigten Straßen verteilen die durch Asphalt oder Beton befestigten Tragschichten die einwirkenden Lasten besser und vermindern die Bodenpressung. Die durch die Verkehrsbelastung auftretenden senkrechten Druckspannungen nehmen von oben nach unten ab. Eine auffallende Spannungsabnahme ist bei 10 – 12 cm unter der Fahrbahn zu beobachten (Stickler, 2001).

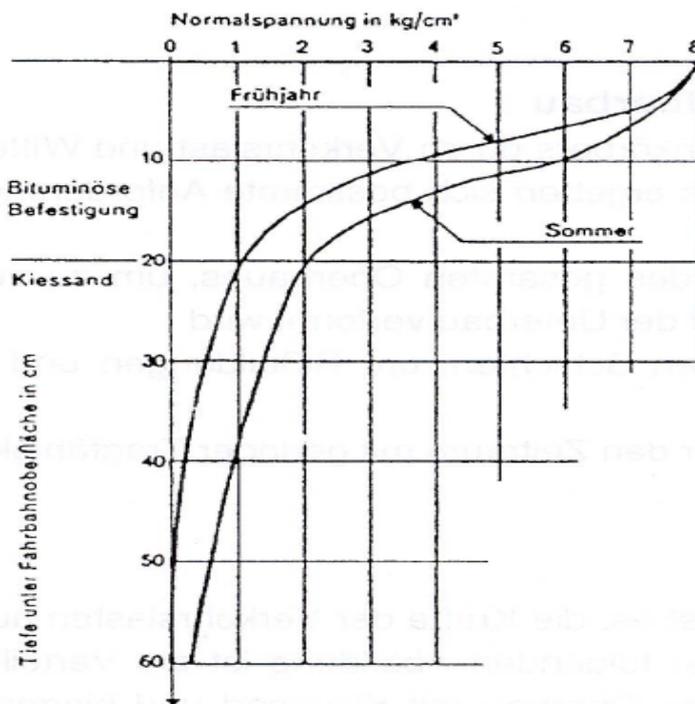
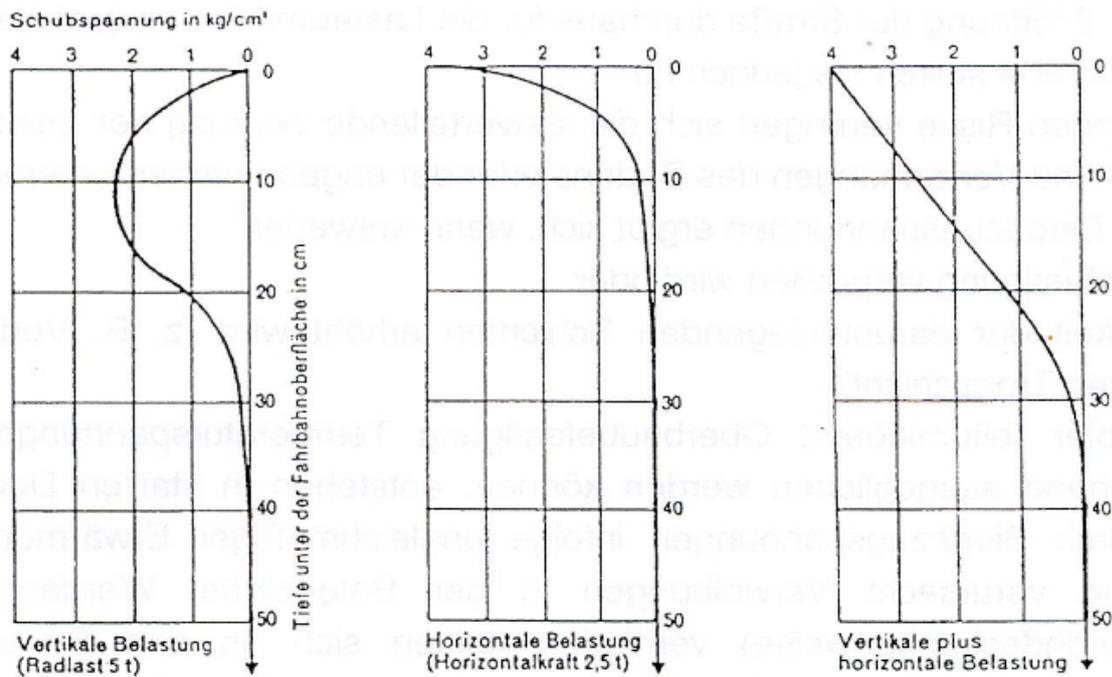


Abbildung 18: Normalspannungen in einer Straße mit bituminöser Befestigung (Stickler, 2001)

Bei starker Verkehrsbelastung und hohen Temperaturen ergeben sich plastische Verformungen wie Verdrückungen, Wellen und Spurrinnen. Eine Erhöhung der Schubfestigkeit ist durch Verwendung gebrochener, mineralischer Zuschläge und durch härteres Bindemittel erreichbar. In Abbildung 19 ist der Verlauf der Schubspannungen bei vertikaler, horizontaler und bei Superposition der Belastungen aufgezeigt.



**Abbildung 19: Schubspannungsverlauf bei verschiedenen Belastungsfällen (Stickler, 2001)**

In die Bemessung des Straßenoberbaues sind eine Vielzahl schwer erfassbarer Einflüsse einzubeziehen. Daher gibt es auch kein einheitliches Bemessungsverfahren. Die verschiedenen Bemessungsverfahren lassen sich in drei Gruppen zusammenfassen:

### 3.1.1 Empirische Bemessungsverfahren

Es wird mit Hilfe von Vergleichswerten bzw. Kennziffern von bereits bestehenden Straßen aufgrund von Erfahrungen die Oberbaudicke bestimmt. Als Parameter verwendet man dabei:

- Tragfähigkeit (z.B. Lastplattenversuch),
- Verkehrslast (DTV, Summe der Verkehrslasten während der Gebrauchsdauer).

(Stickler, 2001)

### 3.1.2 Halbtheoretische Bemessungsverfahren

Diese sind zum Teil auch empirisch, beruhen aber auch auf theoretischen Erkenntnissen. Festigkeits- und Spannungsformänderungseigenschaften werden durch Versuche ermittelt und zur Dimensionierung verwendet (Stickler, 2001).

### 3.1.3 Theoretische Bemessungsverfahren

Diese beruhen auf der mathematischen Erfassung der Spannungen und Formänderungen in der Fahrbahn und im Untergrund. Elastizitätstheoretische Bemessungsverfahren nach Westergaard sind für starre Decken (Betondecken), wie in Abbildung 20 dargestellt, anwendbar. Für die Bemessung flexibler Fahrbahnbefestigungen sind Mehrschichttheorien, wie z.B. nach Burmister, anzuwenden (Stickler, 2001).

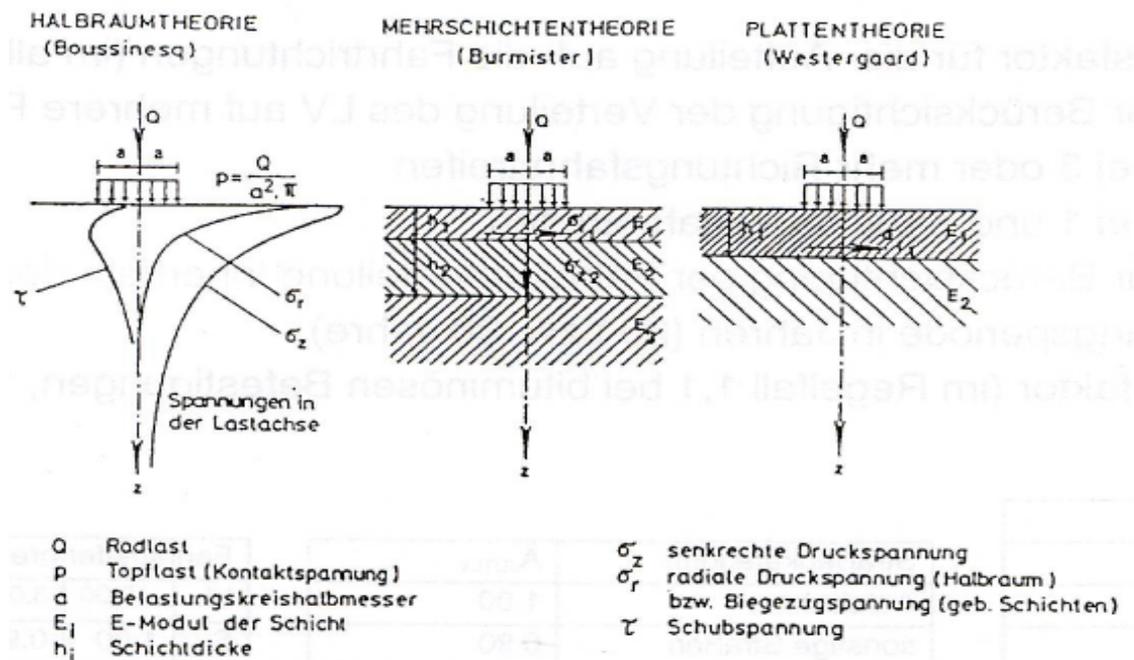


Abbildung 20: Methoden der Spannungsermittlung im Oberbau (Eisenmann et al, 1968)

## 3.2 Lasten auf das System Fahrbahn-Boden-Leitung

### 3.2.1 Erdlast - Einbaulast

Die Erdlast entspricht der Volumenlast durch das Bodengewicht über dem Rohr. Die Überdeckungshöhen zur Ermittlung der Erdlast ergeben sich aus den Einbaubedingungen der Rohre. Der in den Regelwerken und Richtlinien enthaltene Begriff „Erdlast“ ist im Allgemeinen nur für eine Schüttung der Grabenverfüllung gültig. Für eine ordnungsgemäße Verdichtung entsprechend den Anforderungen der Straßenerhalter ist eine Verdichtungslast zu berücksichtigen. Abminderungen für die Erdlast nach der Silotheorie scheinen daher als nicht sinnvoll. Es scheint vielmehr notwendig, statt der Erdlast eine entsprechende Einbaulast anzusetzen, die wesentlich größer als die Erdlast sein kann (Kiesselbach, 1999).

### 3.2.2 Innendruck

Es kann in Abhängigkeit von den Betriebsverhältnissen in der Leitung sowohl der maximal mögliche Unterdruck als auch der maximal mögliche Überdruck maßgebend sein. Druckstöße sind zu beachten und zu berücksichtigen (Kiesselbach, 1999).

Gemäß GSTW AG-Wasser liegt der Prüfdruck 5 bar über dem max. Betriebsdruck. Der Prüfdruck muss jedoch mindestens 10 bar betragen und 60 Minuten lang beaufschlagt werden. Es gibt Druckzonen bis max. 15 bis 16 bar. Materialspezifisch werden keine Unterschiede gemacht. Derzeit (2007) werden GGG-zzm - Rohre und PE - Rohre (PN 10 oder PN 16), abhängig von Druckzonen, eingebaut.

### 3.2.3 Auflasten – ruhende Lasten auf der Fahrbahn

In den Regelwerken sind keine allgemein gültigen Hinweise auf die Größe ruhender Lasten auf der Fahrbahn zu finden. Die Lastannahmen sind für die jeweiligen Gegebenheiten zu treffen. Als ruhende Lasten auf der Fahrbahn gelten:

- Abgestellte Fahrzeuge,

- Abgestellte Container,
- Abgestellte Baugeräte und Baumaterialien.

(Kiesselbach, 1999)

### 3.2.4 Verkehrslasten – bewegte Lasten auf der Fahrbahn

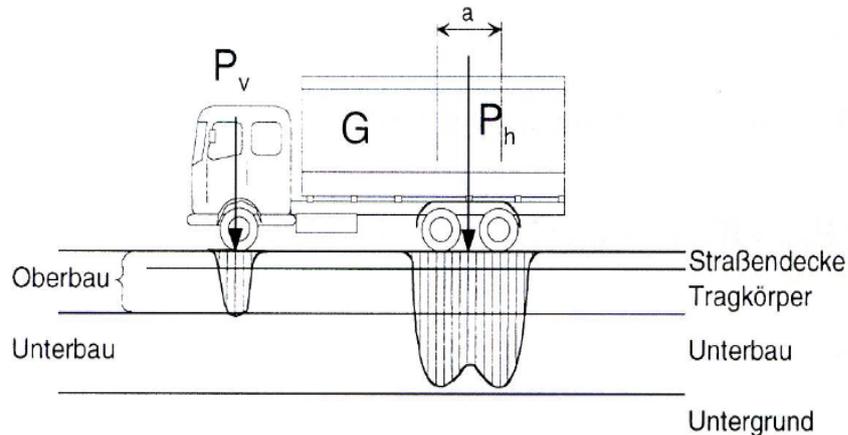


Abbildung 21: statische und dynamische Radlasten (Stickler, 2001)

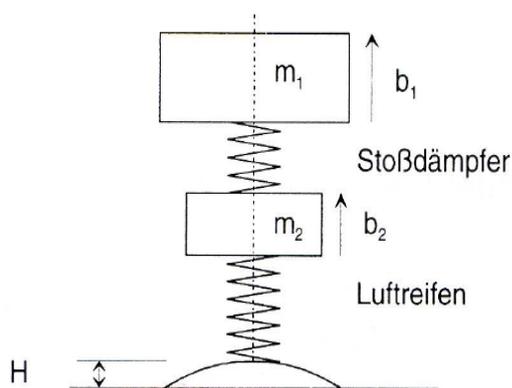


Abbildung 22: dynamische Fahrt eines Fahrzeuges auf unebener Fahrbahn (Stickler, 2001)

$B_1, B_2 \dots$  Beschleunigungen,

$M_1 \dots$  Masse des Aufbaues,

$M_2 \dots$  Masse der abgedeferten Achse,

$H \dots$  Hindernishöhe.

Die Radlast setzt sich, wie in Abbildung 21 dargestellt, aus der statischen Radlast und der dynamischen Radlast zusammen. Die statische Radlast wirkt im ruhenden Zustand vom Fahrzeug über das Rad auf die Straße. Im Fahrzustand, wie in Abbildung 22 dargestellt, sind der statischen Radlast, bedingt durch dynamische Einwirkungen, Radlastschwankungen überlagert (Stickler, 2001).

Dynamische Radlasten entstehen

- beim Anfahren und Bremsen eines Fahrzeuges,
- bei der Kurvenfahrt,

- bei Fahrbahnunebenheiten.

Dynamische Kraft :  $P_{\text{dyn}} = M_1 * B_1 + M_2 * B_2$

Auf die Straße wirkende Gesamtkraft:  $P_{\text{ges}} = P_{\text{dyn}} + P_{\text{stat}}$

Antriebskraft:  $A = \mu_1 * P$

Bremskraft:  $B = \mu_1 * P$

Seitenführungskräfte:  $S = \mu_2 * P$

$\mu_1$  = Längsreibungsbeiwert

$\mu_2$  = Seitenreibungsbeiwert

Die Unebenheiten der Fahrbahnoberfläche, die sich langfristig bei biegeweichen Fahrbahndecken als Folge von lokalen Setzungen des Untergrundes ergeben, führen aber auch zu einer erhöhten Verkehrsbelastung der erdverlegten Leitungen, da die Unebenheiten der Fahrbahnoberfläche erhöhte Radlasten bewirken. Abhängig von der Hindernishöhe und dem Fahrbahnzustand ergibt sich eine Stoßziffer für die Berechnung (Stickler, 2001).

Stoßziffer:  $K = P_{\text{ges}} / P_{\text{stat}}$

Einflussfaktoren:

- Geschwindigkeit,
- Reifen,
- Straßenzustand.

Maximale Achslast:  $P_{\text{max}} = K * P_{\text{stat}}$

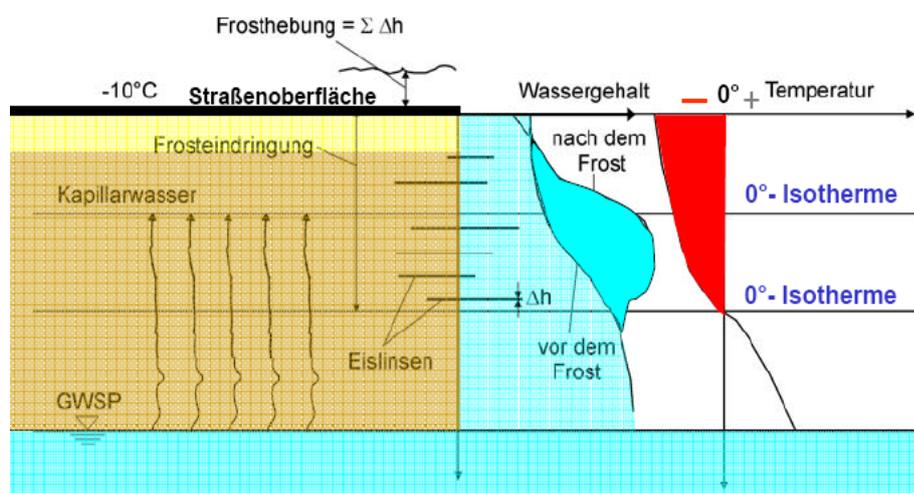
<p><b>Beispiel: Dynamischer Reifenflächendruck LKW</b>          Grazer Straßenaufbau – LKW Vorderachse 6 to, Hinterachse 10 to, Stoßziffer <math>K = 2,7</math>          (Hindernishöhe = 1,5 cm auf schlechter Stadtstraße)</p>
<p><math>P_v = 6.000</math>, <math>P_H = 10.000</math> (max. Achslast)  <math>P_{\text{stat}} = 10.000\text{kg} = 5.000</math> kg Radlast  <math>P_{\text{max}} = K * P_{\text{stat}} = 2,7 * 5.000 = 13.500</math> kg</p>
<p>Reifenaufstandsfläche <math>F = 500</math> cm<sup>2</sup>  <b>Spezifischer Flächendruck:</b> <math>\sigma = P_{\text{max}} / F = 13.500 / 500 = 27</math> kg/cm<sup>2</sup> = 270 N/cm<sup>2</sup></p>
<p>Bei maximalen Abbremsen des Wagens:          Bremskraft <math>B = \mu_1 * G = 0,7 * 13.500 = 9.500</math> kg = 95 kN</p>

**Tabelle 2: Dynamischer Reifenflächendruck eines LKWs**

### 3.2.5 Belastung Frost

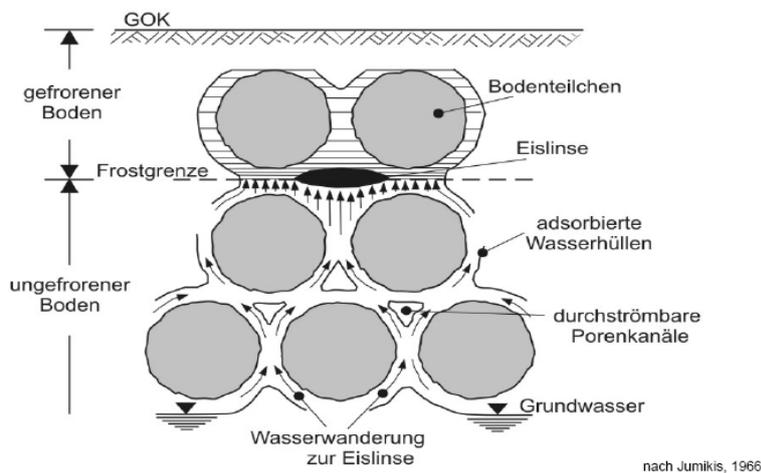
Nach Henögl haben frostsichere Tragschichtmaterialien eine hohe Wärmeleitfähigkeit, bindige Materialien im Gegensatz dazu eine niedrige Wärmeleitfähigkeit. Das bedeutet, dass Frostschuttschichten die Frostgrenze in die Tiefe verschleppen. Wenn der Frost dort auf den frostempfindlichen bindigen Untergrund trifft, entstehen unterhalb der Tragschicht Eislinsen.

Die Temperaturgleichgewichtszone bei der 0°C-Isotherme, wie in Abbildung 23 dargestellt, bezeichnet man als Frosteindringtiefe. Die Anomalie des Wassers bedeutet eine ca. 9 %-ige Volumenvergrößerung beim Gefrieren und die größte Dichte bei + 4°C. Das spezifische Volumen erreicht bei + 4°C ein Minimum (Maximum der Dichte) und nimmt beim Gefrieren bei 0 °C schlagartig zu. Diese Volumenvergrößerung führt in der Praxis des Straßenbaus zu einem Hebungsdruck, der die Struktur der Tragschicht aufbricht. Dabei heben die Gesteinskörner voneinander ab und es entstehen Sogkräfte die dann wieder Wassernachschub bewirken.



**Abbildung 23: Eislinnenbildung (Jumikis, 1966)**

Kapillarkräfte wirken stets dort, wo Feststoffe, Wasser und Luft zusammenwirken. Im Gegensatz dazu wirkt in einem gesättigten Boden keine Kapillarspannung, da die Phase Luft fehlt. Daher wird zwischen aktivem und passivem Kapillaritätsverhalten unterschieden, bei denen die Kornverteilung und die Mineralzusammensetzung eine wichtige Rolle spielen (Henögl, 2005).



**Abbildung 24: Adsorptionswasserhüllen und Frostverhalten (Jumikis, 1966)**

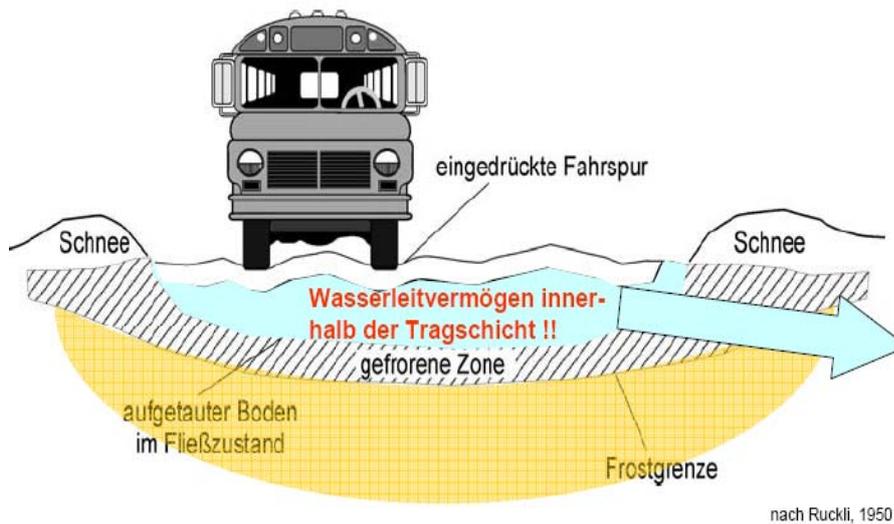
In Abbildung 24 ist zu erkennen, dass aufgrund der Frosthebung beim Gefrieren eine Saugspannung entsteht, die Wasser von unten nachsaugt. Auch wenn dieses Wasser gefroren ist, werden weiterhin Wassermoleküle über die inneren Wasserhüllen in die Frostzone nachgefördert, was ein Weiterwachsen der Eislinse ermöglicht.

Erhöhter Wasserzutritt in den Straßenoberbau kann erfolgen durch Risse in der Asphaltoberfläche, durch die Asphaltalterung und den daraus resultierenden höheren Hohlraumgehalt und durch Wassereinsickerung von der Seite. Eine weitere Beanspruchung erfolgt durch die Schneeräumung und die daraus folgende tiefere Frosteindringung und das Wasserdargebot durch die salznanne Fahrbahn und der Dämmwirkung durch den am Straßenrand aufgehäuften Schnee.

Aus wirtschaftlichen Gründen ist es kaum möglich, die Frostschutzschicht so dick zu machen, dass die 0 °C-Isotherme innerhalb dieser zu liegen kommt.

Daher sollen ungebundene Tragschichten so dimensioniert werden, dass der Hebungsdruck durch Auflast und Verbundwirkung kompensiert wird. Dieser Frostschaden tritt im Herbst auf und führt zu Längsrissen in der bituminösen Fahrbahn.

In der gefrorenen Zone unter der freien Straßenoberfläche taut wegen der verstärkten Sonneneinstrahlung im Frühjahr das Wasser vorzeitig auf und die verbleibende gefrorene Zone darunter hat eine geringe Durchlässigkeit, wie in Abbildung 25 ersichtlich ist. Das Wasser kann nicht abfließen und es kommt zu großen Porenwasserdrücken und die Tragfähigkeit wird vermindert. Die Folge sind Netzrisse im Frühjahr in der Asphaltoberfläche (Henögl, 2005).



**Abbildung 25: Tauschäden aufgrund mangelnder Drainagefähigkeit (Ruckli, 1950)**

Vermieden können solche Schäden nur durch entsprechende Längs- und Querdrainagen über die gefrorene Zone hinaus werden.

Längsdrainage bedeutet aber auch, dass innerhalb der Tragschicht ein entsprechendes Wasserleitvermögen notwendig ist (Henögl, 2005).

### 3.2.6 Verschleiß der Rohrwand durch fließendes Medium

Die Einwirkung fließender Medien und der mitgeführten Stoffe auf die umgebende Rohrwand kann in Extremfällen zu einer Abnutzung jedes Rohrmaterials führen. Die Widerstandsfähigkeit der Rohrmaterialien gegen Verschleiß wird mit Hilfe der Zähigkeit der Werkstoffe beurteilt. In Trinkwasserleitungen und speziell AZ-Leitungen ist der Abrieb der Rohrwand von untergeordneter Bedeutung (Hünerberg et al, 1977).

### 3.2.7 Innenkorrosion

Darunter versteht man Schäden oder Veränderungen an der inneren Rohroberfläche, die auf den chemischen Angriff durch die geförderte Flüssigkeit zurückzuführen sind. Trinkwasser als Lebensmittel schließt außer der Kohlensäure die Anwesenheit der meisten korrosiv wirkenden Stoffe aus (Hünerberg et al, 1977).

### 3.2.8 Außenkorrosion

Darunter versteht man die Wirkung eines chemischen Angriffs auf die äußere Rohroberfläche. Bei erdverlegten Rohrleitungen spricht man von Bodenkorrosion und bei oberirdisch verlegten Leitungen von atmosphärischer Korrosion (Hünerberg et al, 1977).

### 3.2.9 Erdstrom- und Streustromkorrosion

Elektrische Ströme können elektrolytische Korrosion der Rohrleitung verursachen. Diese Ströme können von Erdungen oder Gleichstrombahnen verursacht sein. Wenn die Rohrleitung aus elektrisch gut leitendem Material besteht, Oberflächenbeschaffenheit, Sauerstoffgehalt und Salzgehalt des umgebenden Bodens unterschiedliche elektrische Potentiale bilden, kann es zur elektrolytischen Korrosion kommen (Hünerberg et al, 1977).

### **3.2.10 Benachbarte Grabungen**

Durch Grabungstätigkeiten anderer Leitungsträger im angrenzenden Leitungsbereich kann es zu einer Veränderung der Steifigkeit des anstehenden Bodens und dadurch zu einer zusätzlichen Belastung auf das Rohr kommen. Überlagert mit weiteren zufällig auftretenden Belastungen kann es zu einer erhöhten Beanspruchung des Rohres nach einer bereits langen Verlegezeit im Boden kommen. Als Folgeerscheinung kann es dadurch zu einem beschleunigten Alterungsprozess des Rohrmaterials führen (Kiesselbach, 1995).



$\tau$  Scherspannung in der Bruchfläche [kN/m<sup>2</sup>]

$$\tau = \sigma_N \cdot \tan \varphi + c$$

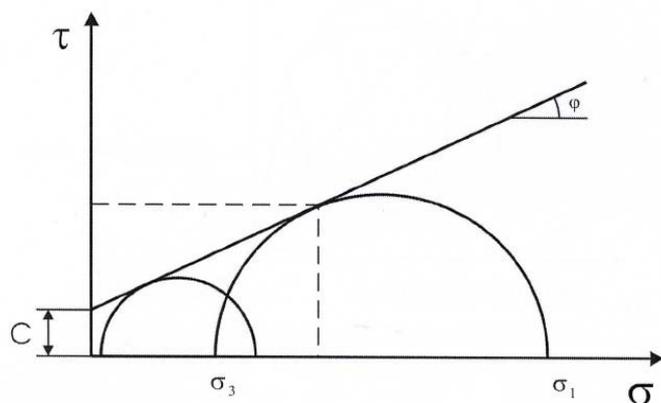


Abbildung 27: Mohr-Coulomb'sches Bruchkriterium

#### 4.1.1.2 Hardening–Soil Modell

Das Hardening–Soil Modell ist eine verbesserte Beschreibung des mechanischen Verhaltens von Böden unterhalb des Grenzzustandes.

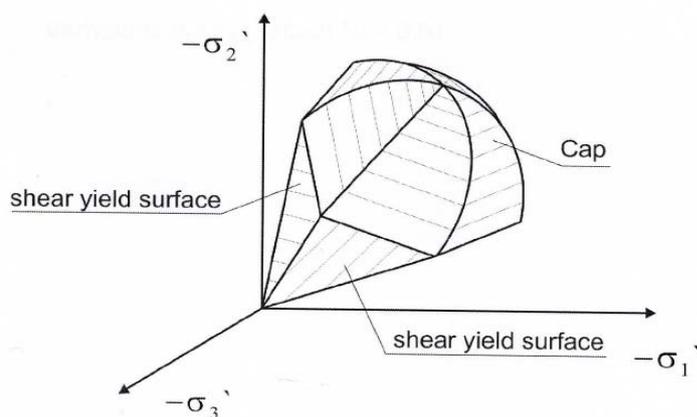


Abbildung 28: Fließflächen des Hardening-Soil Modells im Hauptspannungsraum

Die erforderlichen Eingabeparameter für das in Abbildung 28 dargestellte Hardening–Soil Modell mit den „shear yield surfaces“ sind:

$E_{50}^{ref}$  Sekantenmodul aus triaxialem Kompressionsversuch [kN/m<sup>2</sup>]

$E_{oed}^{ref}$  Tangentensteifigkeit aus Ödometerversuch [kN/m<sup>2</sup>]

$m$  Hochzahl für Spannungsabhängigkeit

$E_{ur}^{ref}$  Entlastungs-/ Wiederbelastungsmodul [kN/m<sup>2</sup>]

$\nu_{ur}$  Poissonzahl für Entlastung / Wiederbelastung

$p^{ref}$  Referenzspannung [kN/m<sup>2</sup>]

$K_0^{nc}$   $K_0$  für normale Konsolidierung

$R_f$  Verhältnis  $q_f / q_a$

(Schweiger et al, 2006)

Die Unterschiede zwischen Mohr-Coulomb Modell und Hardening-Soil Modell sind in Abbildung 29 dargestellt.

	<b>Mohr – Coulomb Modell</b>	<b>Hardening – Soil Modell</b>
spannungsabhängige Steifigkeit	nein	ja
Unterschiedliche Steifigkeit für Erstbelastung und Ent-/Wiederbelastung	nein	ja
Plastische Verzerrungen für Spannungszustände innerhalb MC – Bruchfläche	nein	ja deviatorisch und volumetrisch
Bruchkriterium nach Mohr Coulomb	ja	ja

**Abbildung 29: Unterschiede zwischen MC-Modell und HS-Modell (Schweiger et al, 2006)**

#### **4.1.2 Beziehung zwischen Proctordichte und Steifigkeitsmodul**

Böden mit einer hohen Proctordichte haben auch eine hohe Steifigkeit (Verformungsmodul). In Abhängigkeit von der Bodengruppe mit einer gegebenen Proctordichte kann man einen bestimmten Größenbereich des Verformungsmoduls in Beziehung stellen (Schweiger et al, 2006).

#### **4.2 Berechnung nach Boussinesq, Jones und Burmister**

Mit den Berechnungsverfahren nach Boussinesq, Jones und Burmister ist es möglich Spannungen und Verformungen von Straßenkörpern infolge vertikaler und horizontaler Verkehrsbelastung zu berechnen. Der Straßenkörper, wird wie in Abbildung 30 ersichtlich, als ein System betrachtet, das aus mehreren Schichten besteht. Die einzelnen Schichten können unterschiedliche Stärken und verschiedene Materialeigenschaften besitzen

Die Verkehrslast wird durch die Radaufstandsfläche  $F$  auf den Straßenkörper übertragen. Die vertikale Last  $Q$  ruft eine Kontaktdruckspannung hervor. Vereinfacht wird  $F$  als eine Kreisfläche, mit dem Durchmesser  $a$ , angenommen. Man spricht von einer Toplast  $Q = p \cdot a^2 \cdot \pi$ . Zur senkrechten Last  $Q$  kommt noch die horizontale Last  $H$  hinzu, als Antriebs-, Brems- oder Seitenkraft. Die Berechnungsverfahren setzen eine statisch wirkende Verkehrslast und einen Straßenkörper mit elastischem Verhalten voraus. Bei kurzzeitigen Belastungen, wie sie bei hohen Fahrgeschwindigkeiten auftreten, ist eine rein statische Berechnung gerechtfertigt, da sich die Einsenkungsmulde bei großer und kleiner Geschwindigkeit nur leicht ändert. Der dynamische Lastanteil, dessen Größe von der Erregerfrequenz und der lastverteilenden Wirkung der Straßendecke abhängt, wird durch die Stoßziffer berücksichtigt.

Das viscoelastische Verhalten von Bitumen und bituminös gebundenen Gesteinsmischungen wird durch die dynamische Steifigkeit bzw. dem dynamischen Steifigkeitsmodul beschrieben. Nicht gebundene Gesteinsmischungen sowie der anstehende Boden können hinsichtlich ihres Verhaltens unter Kurzzeitbelastung ebenfalls durch den dynamischen Elastizitätsmodul beschrieben werden (Eisenmann et al, 1968).

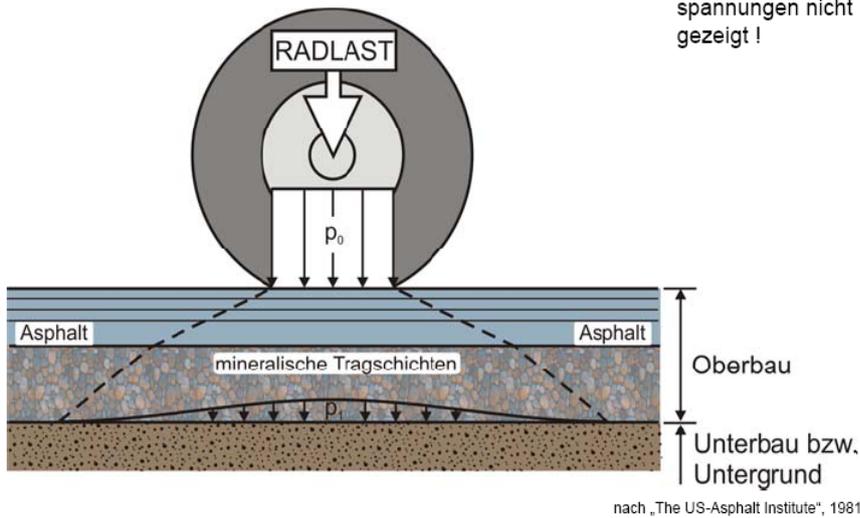


Abbildung 30 Einwirkung der Verkehrsbelastung (The US-Asphalt Institute, 1981)

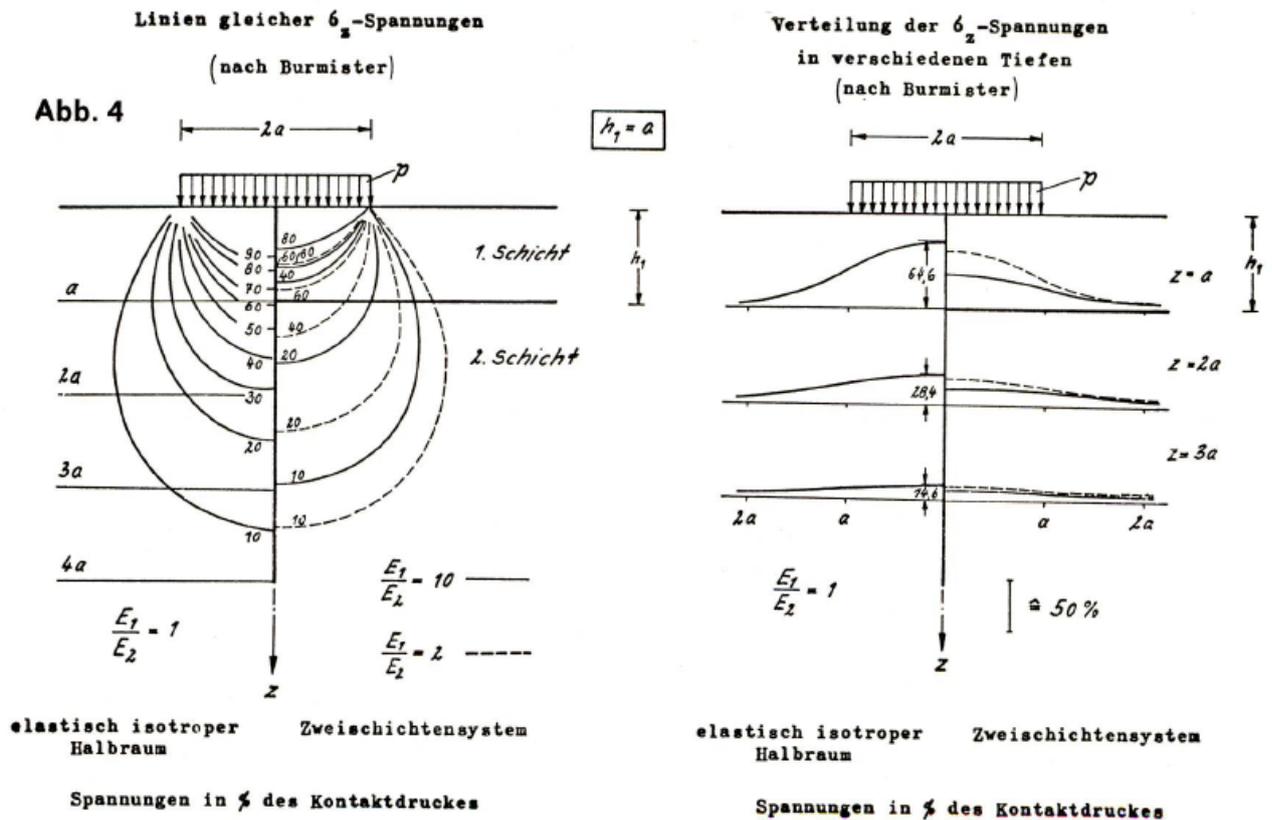


Abbildung 31 Spannungen im elastisch – isotropen Halbraum und im Zweischichtensystem (Eisenmann et al, 1968)

In Abbildung 31 ist die Verteilung der Vertikalspannungen im elastisch–isotropen Halbraum sowie in einem Zweischichtensystem unter kreisförmiger, gleichmäßig verteilter, vertikaler Belastung dargestellt. Für das Zweischichtensystem ist die Spannungsverteilung für die E-Modulverhältnisse  $E_1/E_2 = 2$  und  $E_1/E_2 = 10$  dargestellt. Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass mit zunehmendem E-Modul der ersten Schicht in einem Zweischichtensystem die tiefer liegenden Zonen eine geringere Beanspruchung erfahren als im elastisch-isotropen Halbraum (Eisenmann et al, 1968).

**Fall 1: Bauzustand: Ramax-Walze (statische Linienlast 11,4 kg/cm, statische Achslast 0,77 to) auf Unterbauplanum UP (Überdeckung 0,80 m)**

2-Schichtensystem nach Odemark:  
Darunter Wiederverfüllzone mit 60 cm  
Darunter Leitungszone mit 20 cm  
 $E_1 = 20 \text{ MN/m}^2$   
 $E_2 = 15 \text{ MN/m}^2$

$\sigma_{z1}$  nach Boussinesq  
 $\sigma_{z1} = 0,10 * (-11,4) = -1,14 \text{ kg/cm}^2$

Berechnung von  $\sigma_{z1}$  nach Jones  
 $\sigma_{z1} = 0,09 * (-11,4) = -1,03 \text{ kg/cm}^2$

**Tabelle 3: Bauzustand mit Ramax-Walze am UP**

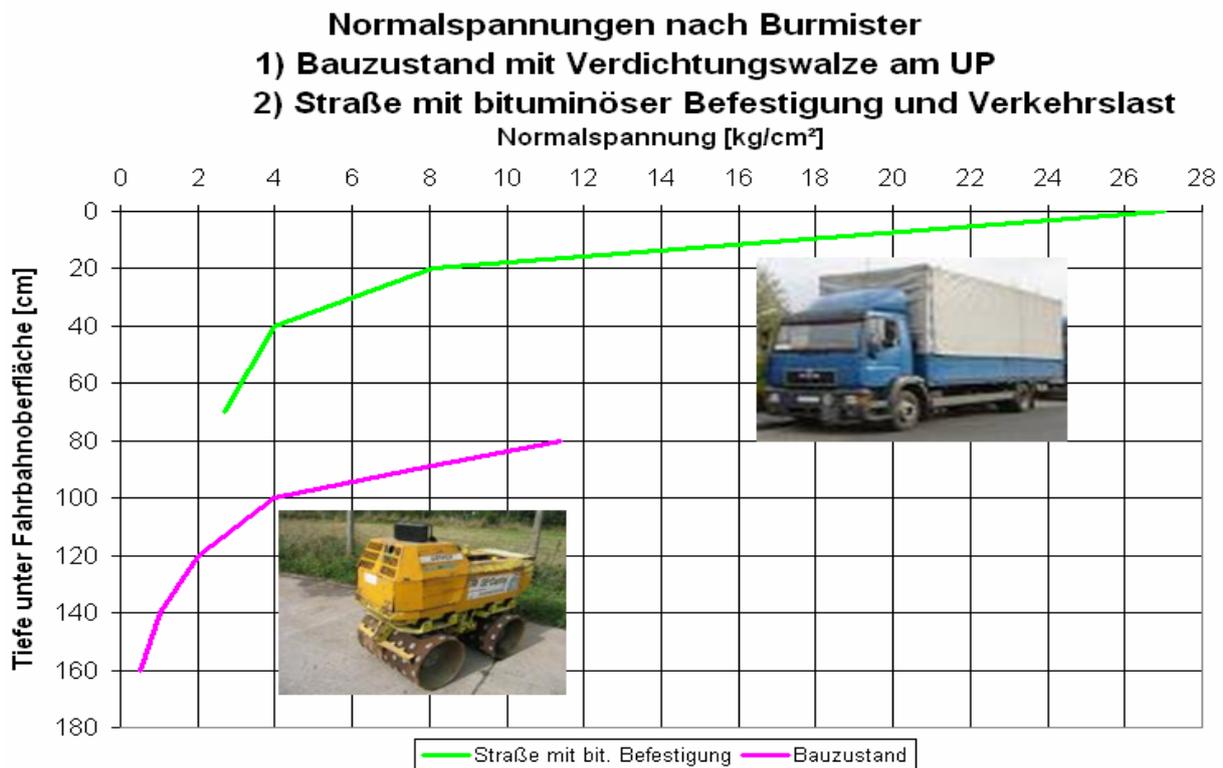
**Fall 2: Verkehrslast: LKW mit 27,0 kg/cm<sup>2</sup> (dynamische Last) auf fertiger Straßenoberfläche (Überdeckung 1.5 m)**

3-Schichtensystem nach Odemark  
 $E_1 = 120 \text{ MN/m}^2$   
 $E_2 = 72 \text{ MN/m}^2$   
 $E_3 = 20 \text{ MN/m}^2$   
 $h_1 = 19 \text{ cm}$   
 $h_2 = 50 \text{ cm}$   
 $h_3 = 60 \text{ cm}$

Berechnung von  $\sigma_{z1}$  nach Boussinesq  
 $\sigma_{z1} = 0,3 * (-27,0) = -8,1 \text{ kg/cm}^2$   
Berechnung von  $\sigma_{z1}$  nach Jones  
 $\sigma_{z1} = 0,4 * (-27,0) = -10,8 \text{ kg/cm}^2$

Berechnung von  $\sigma_{z2}$  nach Boussinesq  
 $\sigma_{z2} = 0,10 * (-27,0) = -2,7 \text{ kg/cm}^2$   
Berechnung von  $\sigma_{z2}$  nach Jones  
 $\sigma_{z2} = 0,15 * (-27,0) = -4,05 \text{ kg/cm}^2$

**Tabelle 4: Verkehrslast (LKW)**



**Abbildung 32: Normalspannungen nach Burmister (eigene Berechnung)**

In Abbildung 32 ist der Verlauf der Normalspannungen nach Berechnung mit der Mehrschichtentheorie nach Burmister dargestellt. Für den 1. Fall durch Belastung einer Ramax-Walze mit einer statischen Last von  $11,4 \text{ kg}/\text{cm}^2$  und für den 2. Fall durch Belastung eines LKWs mit einer dynamischen Reifenlast von  $27 \text{ kg}/\text{cm}^2$  ergeben sich die in Abbildung 32 dargestellten Kurven.

### 4.3 Tragfähigkeitsnachweis des Rohres mit Einbauziffer

Die statische Berechnung von erdverlegten Rohrleitungen (ÖNORM B 5012, ATV-Arbeitsblatt A 127) wird für Lasteinwirkungen, wie Erddruck, Verkehrslast und Wasserdruck innen und außen durchgeführt. Die unterschiedlichen Rohrmaterialien, Bodenkennwerte, Einbau- und Bettungsbedingungen werden berücksichtigt (biegesteife und biegeweiche Rohre je nach Rohrverformung im Boden unter Belastung). Die statische Bemessung wird auf Grundlage folgender Nachweise durchgeführt:

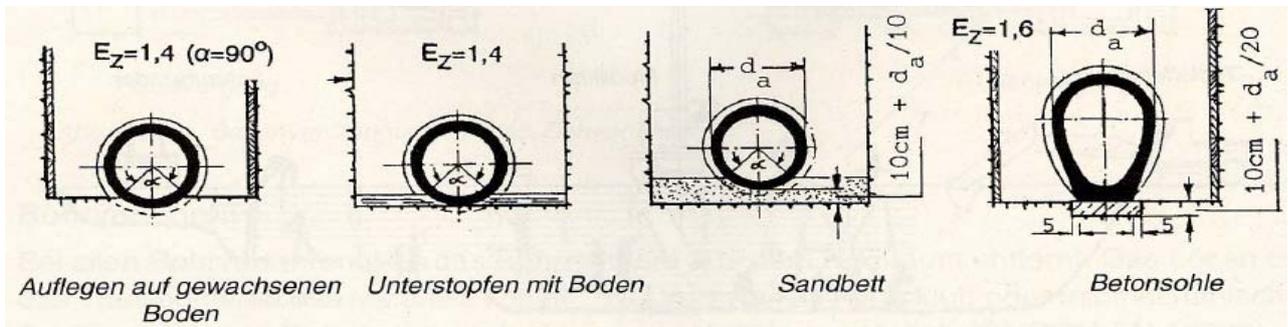
- Spannungsnachweis,
- Verformungsnachweis,
- Tragfähigkeitsnachweis,
- Stabilitätsnachweis.

Nach dem Verformungsverhalten unterscheidet man zwischen biegesteifen oder starren und biegeweichen oder flexiblen Rohren, wobei sich die Bezeichnung starr auf metallische, zementgebundene und keramische Werkstoffe und die Bezeichnung flexibel auf Kunststoffrohre bezieht. Bei biegesteifen Rohren wird der Tragfähigkeitsnachweis mit definierter Mindest-Scheiteldruckbruchkraft  $F_N$  ( $\text{kN}/\text{m}$ ), mit erforderlicher Einbaubedingung („Einbauziffer  $E_z$ “), mit Rohrbettung, Rohrummantelung und mit der auf das Rohr wirkenden lotrechten Gesamtbelastung  $F_G$  und eines Sicherheitsbeiwertes  $> 1,5$  errechnet.

$$(F_N \cdot E_Z) / F_G > 1.5$$

Biegesteife Rohre werden in verschiedene Tragfähigkeitsklassen (Rohrklassen mit Klassenziffer, z.B. 95, 120, 160, ...) eingeteilt. Die Mindest-Scheiteldruckbruchkraft  $F_N$  errechnet sich für Rohre  $> DN 200$  mit  $F_N = \text{Klassenziffer} \cdot DN / 1000$ .

Abhängig vom anstehenden Boden, verwendetem Rohrwerkstoff und Belastung können starre Rohre (z.B. Beton, Asbestzement, Gusseisen) folgende Bettungen haben.



**Abbildung 33: Rohrbettung (Kainz et al, 2002)**

Wird durch die erwähnten Bettungsarten die erforderliche Tragfähigkeit der Rohre nicht erreicht, so müssen sie teilweise oder voll mit Beton ummantelt werden (Kainz H. , 2002).

<b>Beispiel Tragfähigkeitsnachweis Einbauziffer nach ATV-A 127</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• GG-Rohr (Rohrklasse K 9)</li> <li>• Nennweite DN 125,</li> <li>• <math>D_a = 144 \text{ mm}</math>,</li> <li>• <math>F_N = 90 \cdot 125/1000 = 11,25 \text{ kN/m}^2</math>.</li> </ul>
<p>Anstehender Boden (Zone 3):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodengruppe G3, <math>D_{Pr} = 90\%</math>, (Bindige Mischböden)</li> <li>• GW: <math>\max h_W = 0 \text{ m}</math>, <math>\min h_W = 0 \text{ m}</math>.</li> </ul>
<p>Seitenverfüllung (Zone 2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodenaustausch G1 (Nichtbindige Böden),</li> <li>• Einbettungsbedingung B2.</li> </ul>
<p>Hauptverfüllung (Zone 1):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einbau des Aushubs G3 (Bindige Mischböden),</li> <li>• Überschüttungsbedingung A2 (Senkrechter Verbau, der schrittweise gezogen wird).</li> </ul> <p>Bettungsschicht (Zone 4):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sand-/Kiesauflager.</li> </ul>

Lasten:

- Erdlasten,
- Straßenverkehrslast,
- Wasserfüllung.

Die Grabenwände bleiben nicht auf Dauer erhalten. Es ist der Tragfähigkeitsnachweis für die Sicherheitsklasse A zu bringen.

Untere Bettungsschicht:  $a = 100 + DN/10 = 112,5$  mm,

Auflagerwinkel  $2\alpha = 90^\circ$ , obere Bettungsschicht  $b = d_a/2 * (1 - \cos \alpha) = 0,03$  m,

Dicke der Abdeckung: gewählt 0,3 m,

Grabenbreite: 0,70 m,

Berechnungsschritte: (siehe Anhang Seite 82 ff).

Tragfähigkeitsnachweis:

$$\gamma = (F_N * E_z) / (q_v * d_a) = (11,25 * 1,91) / (37,5 * 0,144) = 3,97 > 2,2 = \text{erf } \gamma$$

Die Rohrleitung DN 125 aus GG ist nach Arbeitsblatt ATV-A 127 **standsicher**.

**Tabelle 5: Tragfähigkeitsnachweis mit Einbauziffer nach ATV-A 127**

## 4.4 Berechnung mit ÖNORM B 5012

### 4.4.1 Einführung

Das interaktive System Rohr/Boden wird mit einem physikalischen Modell dargestellt, das die komplexe Realität derart vereinfacht, dass die maßgebenden Einwirkungen mit ausreichender Genauigkeit berechnet werden können. In vertikaler Richtung wird das Modell des schubsteifen Balkens angewendet, während die Wechselwirkung in horizontaler Richtung durch das Prinzip der Kontinuumsmechanik im elastischen Halbraum berücksichtigt wird. Die Zeit- und Alterungswirkungen auf das Rohr und die Bodeneigenschaften sind zu berücksichtigen. Das nicht linear elastische Verhalten des Bodens wird mittels des Bodenstifemoduls in Abhängigkeit von Spannung und Verdichtung berücksichtigt. Die Bemessung muss für die Kurzzeit- als auch für die Langzeitbelastung des Rohres durchgeführt werden, um zu entscheiden welche die ungünstigere ist (ÖNORM B 5012, Kapitel 4).

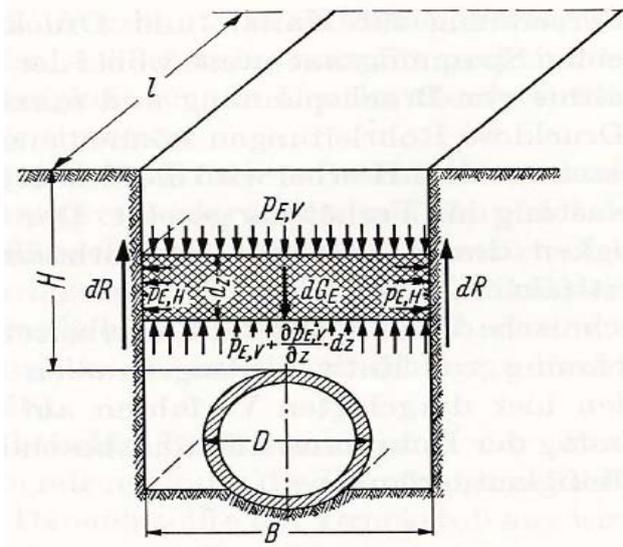
Die Komponenten Verdichtungsgerät, Arbeitsverfahren und Schichtdicke sind auf die Eigenschaften des Füllmaterials abzustimmen. Auf das Einstampfen des Füllmaterials im Rohrzwickel ist besonders zu achten. In Bereichen von nicht zugänglichen Zonen aufgrund von Einbauten ist Magerbeton oder ein Boden-Bindemittelgemisch zu verwenden. Das arbeitsaufwendige und in seiner Wirkung oft ineffektive Unterstopfen der Rohrleitung kann entfallen, wenn in die Leitungszone während des Einbaues eine fließfähige mit Zement stabilisierte Sandmischung (SSM-Sand) oder ein Sand mit Körnung 4/8 eingebracht wird, der aufgrund seines Korndurchmessers schon beim Einfüllen eine optimale Lagerungsdichte aufweist. Da diese Verfahren eine Bettung hoher Dichte gewährleisten und die Hohlräume im Rohrbereich damit sicher ausgefüllt werden, werden sie im Rohrleitungsbau, insbesondere im städtischen Bereich, zunehmend verwendet. Im Auftrag des Fachverbandes Gas-Wärme wurde die technische Spezifikation für diese stabilisierten Rohrgrabenverfüllmaterialien ONR/FW 110A vom österreichischen Normungsinstitut erarbeitet, die die Gebrauchstauglichkeit und die Qualität im Bereich Einsatzzweck und Nutzungsdauer der Verfüllmaterialien nachweist (Kainz et al, 2002).

In den meisten Fällen sind Ver- und Entsorgungsunternehmen sowie der Straßenerhalter verschiedene Unternehmen, und deshalb gibt es unterschiedliche Vorgehens- und Denkweisen und unterschiedliche Auslegungen von Begriffen. Die Leitungsträger sind vorrangig an der Qualität der Leitungen und des Einbaus interessiert, wohingegen der Straßenerhalter mit relativ teuren Sanierungsarbeiten durch Leitungsgrabungen an den Straßenverkehrsflächen nachträglich konfrontiert ist. Aus diesem Grund ist es notwendig allgemeine Betrachtungen für das Gesamtsystem Fahrbahn-Boden-Leitung anzustellen und die erforderliche Qualität für Leitungen, Einbau und Straßenoberflächen aus der Sicht der Leitungsträger und des Straßenerhalters gemeinsam zu sehen.

Die Überprüfung der Verfüllung und Verdichtung der Wiederverfüllzone erfolgt im Allgemeinen am Planum der obersten Schicht der Wiederverfüllzone durch Lastplattenversuche, wobei entsprechende Werte vorgegeben sind und diese durch Prüfungen nachzuweisen sind. Analytische Simulationen und experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass die Verdichtung der Grabenverfüllung eine beträchtliche Verspannung des Verfüllmaterials in der Leitungszone bewirkt, wobei diese Beanspruchungen der Leitungen beim Einbau größer sein können als die im Betrieb zu erwartenden Belastungen.

In Abbildung 34 ist die Grabenbedingung für die Belastung erdverlegter Rohrleitungen dargestellt, die besagt, dass die Erdlast sich aus dem Gewicht des eingebrachten Verfüllmaterials über dem Rohrscheitel abzüglich der Reibungskräfte in der Höhe des Rohrscheitels zwischen Rohrgrabenverfüllung und den Rohrgrabenwänden ergibt. Durch die Grabenbedingung wird also die Erdauflast, durch die beim Setzen der Verfüllung an den Grabenwänden oberhalb des Rohrscheitels auftretenden Reibungskräfte, vermindert.

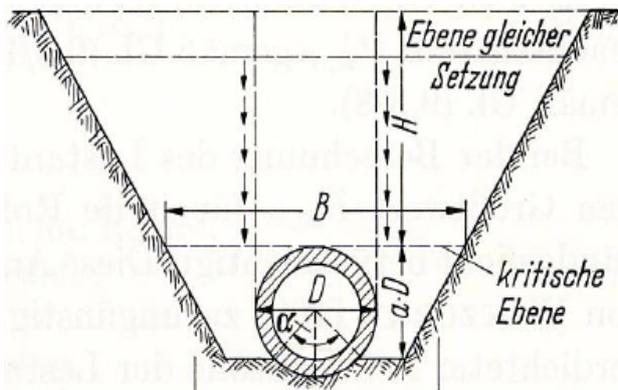
Es ist vorstellbar, dass an den Grabenwänden ein Reibungswiderstand auftritt, es ist jedoch fraglich, ob in dem Bereich über dem Rohrscheitel diese Reibungskräfte noch wirksam sind (Kiesselbach, 1999).



**Abbildung 34: Grabenbedingung (Hünerberg et al, 1977)**

Die Verfüllung wird als starres System über die Grabenbreite angenommen. Daher könnte statt der Erdlast eine Last angesetzt werden, die die Verdichtungslast auch mitberücksichtigt (Kiesselbach, 1999).

Wird die Rohrleitung mit einem Damm überschüttet oder liegt sie in einem im Verhältnis zur Überdeckungshöhe breiten Graben, wie in Abbildung 35 dargestellt, so können die Setzungen des Bodens beiderseits der Rohrleitung größer sein als die Formänderung der Rohre und das Setzen des Bodenbereiches über dem Rohr. In diesem Fall wird die Rohrleitung zusätzlich belastet und man spricht von Dammbedingung (Hünerberg et al, 1977).



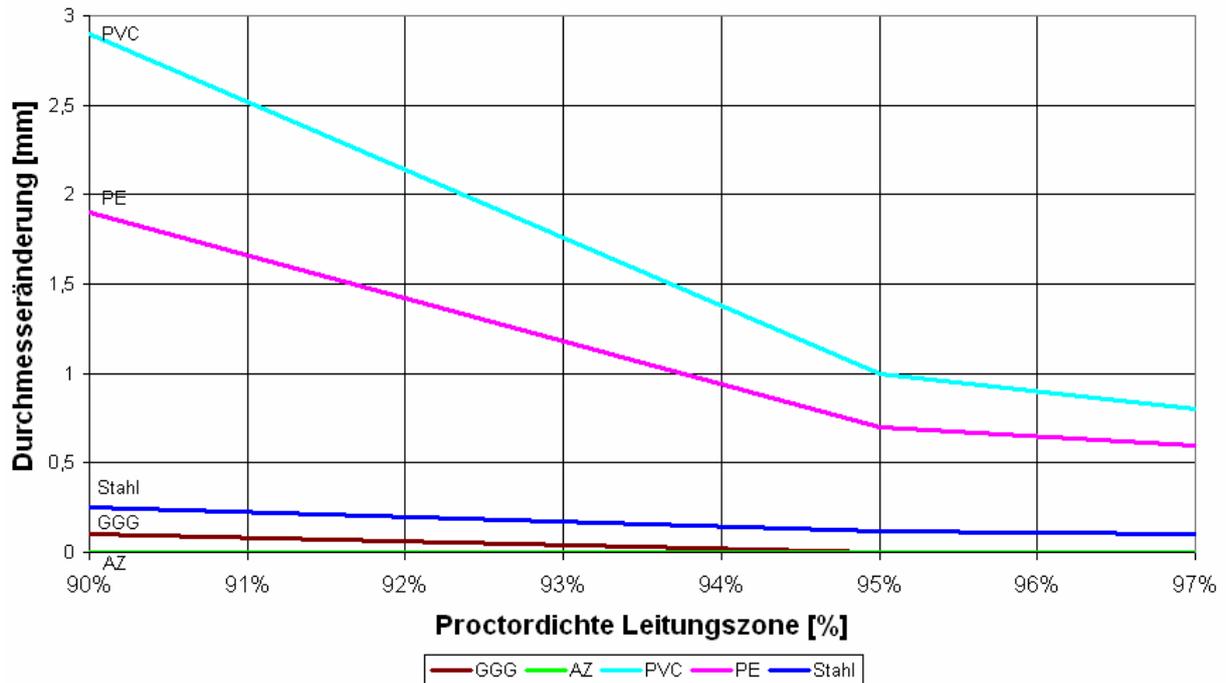
**Abbildung 35: Dammbedingung (Hünerberg et al, 1977)**

#### 4.4.2 Eingabeparameter für Künette (Lastfall „Verkehr allgemein“):

Rohrmaterialkennwerte zur Berechnung mit B 5012 siehe Anhang Kapitel 6.3:
<p>Äußere vertikale Belastung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkehr (flexibler Belag = Asphaltstraße),</li> <li>• Erdlast mit 1,50 m Scheitelüberdeckung,</li> <li>• Kein äußerer Wasserdruck, da Schotterboden oder Lehmboden (Drainage- oder Dichtwirkung).</li> </ul>
<p>Innere Belastung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Innendruck = 6 bar.</li> </ul> <p>Anwendung der Theorie II. Ordnung, wenn:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• flexibles Rohr (PVC, HDPE),</li> <li>• vertikale Gesamtverformung aus Berechnung Theorie I. Ordnung mehr als 1 %,</li> <li>• Verformungsverhältnis <math>\chi &gt; 1,0</math>.</li> </ul>
<p>Rohrgraben:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Senkrechter Grabenverbau,</li> <li>• Scheitelüberdeckung = 1,50 m,</li> <li>• Grabenbreite in Höhe des Rohrscheitels: <math>b_L &gt; d_a + 2 a_{s, \min} = 14,4 \text{ cm} + 2 * 25 = 64,4 \text{ cm}</math> oder mind. 70 cm bei Rohrgrabentiefe zw 1,75 m und 4,00 m (gewählt 80 cm).</li> </ul>
<p>Einbettungsart ET2: Gleiche Materialeigenschaften in unteren, oberen und seitlichen Zone</p> <p>Wiederverfüllzone:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GS3 = schwach bindige Mischböden mit höherem Feinanteil, gut verdichtet.</li> </ul> <p>Leitungszone:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GS2 = abgestufter Kies mit 4/8 Rundkorn, nicht verdichtet.</li> </ul> <p>Anstehender Boden neben dem Graben:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GS3 = schwach bindige Mischböden mit höherem Feinanteil.</li> </ul>
<p>Einbaubedingung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• I2 (Verbau wird während der Verfüllung schrittweise entfernt).</li> </ul>

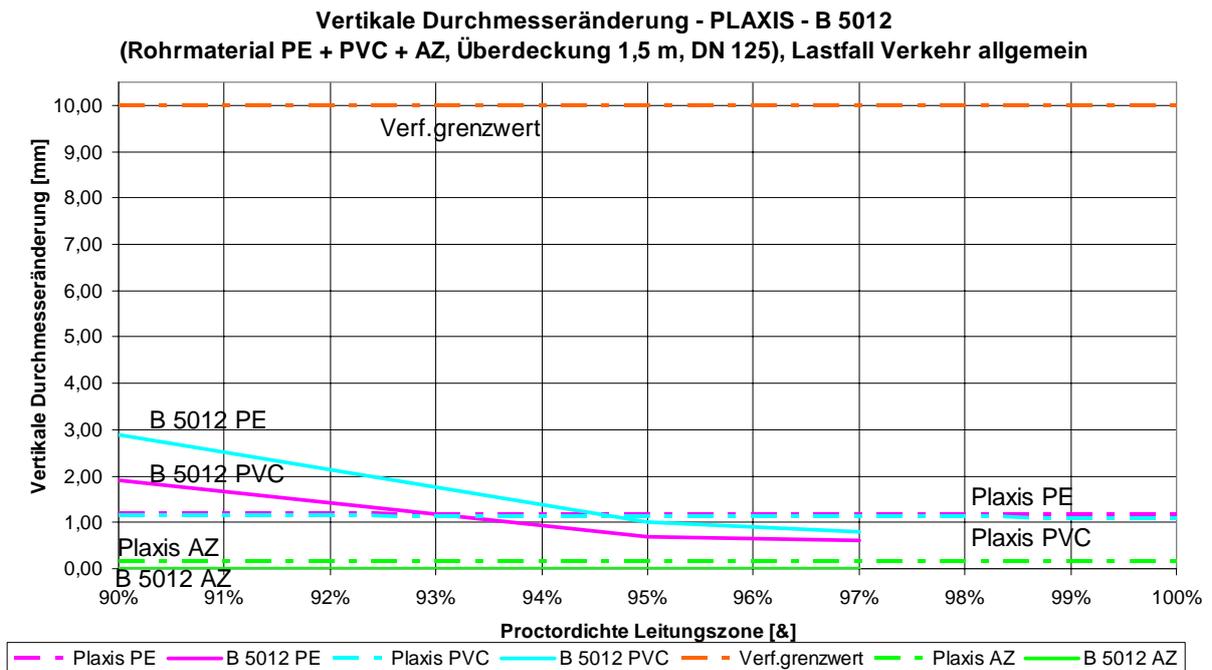
**Tabelle 6: Eingabeparameter für Künette mit Lastfall „Verkehr allgemein“**

**Vertikale Durchmesseränderung in Abhängigkeit der Verdichtung  
(Überdeckung 1,5 m, DN 125, B 5012), Lastfall "Verkehr allgemein"**



**Abbildung 36: Vertikale Durchmesseränderung, Lastfall „Verkehr allgemein“**

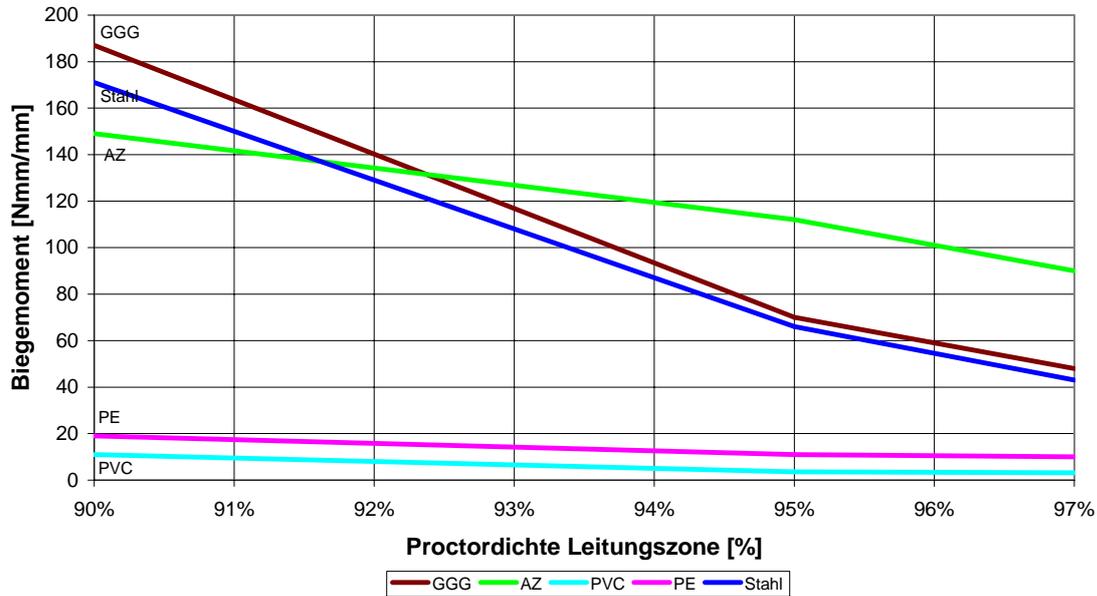
In Abbildung 36 wird die vertikale Durchmesseränderung in mm als Ergebnis der Berechnungen mit der ÖNORM B 5012 für alle berücksichtigten Rohrmaterialien für DN 125 dargestellt. Die Berechnungen wurden in Abhängigkeit der Verdichtung in der Leitungszone (von keiner = 90% bis guter = 97% Verdichtung) für den Lastfall „Verkehr allgemein“ durchgeführt. In Abbildung 36 ist auch ersichtlich, dass die vertikale Durchmesseränderung mit steigender Verdichtung abnimmt, wobei nur flexible Rohre wie PVC und PE größeren Durchmesseränderungen bei keiner Verdichtung der Leitungszone unterliegen.



**Abbildung 37: Vergleich vert. Durchmesseränderung Plaxis – B 5012, Lastfall „Verkehr allgemein“**

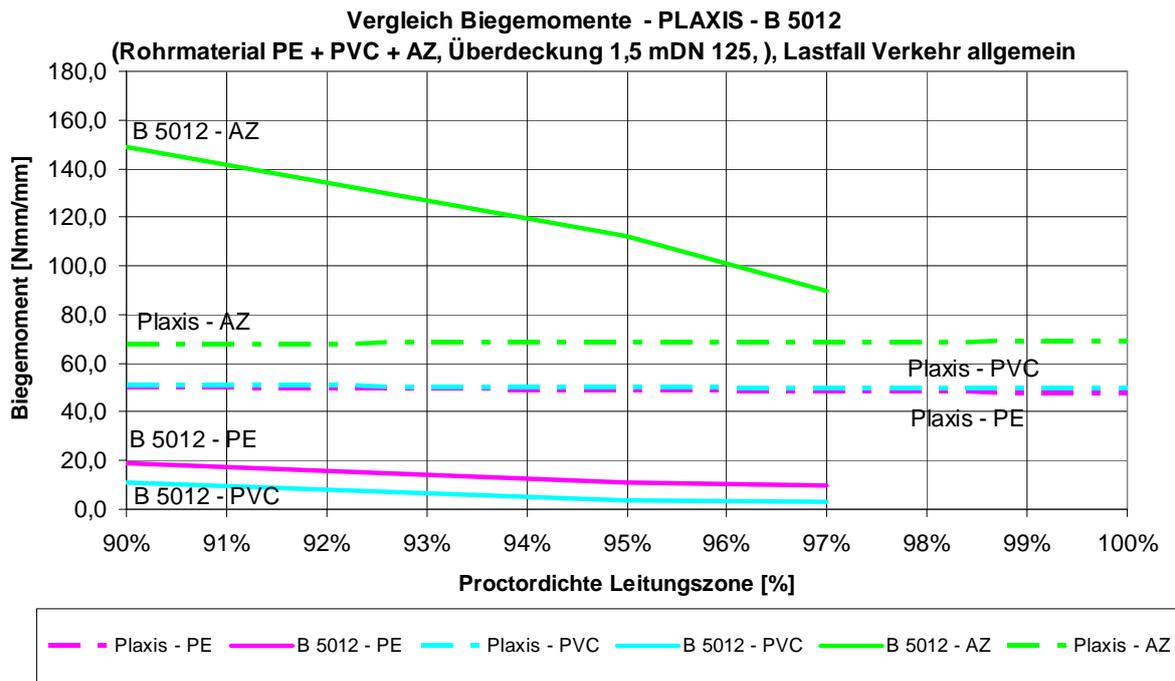
In Abbildung 37 wird die vertikale Durchmesseränderung in mm als Ergebnis der Berechnungen mit der ÖNORM B 5012 und dem FEM Programm „Plaxis“ für die Materialien PE, PVC und AZ für DN 125 dargestellt. Die Berechnungen werden in Abhängigkeit der Verdichtung in der Leitungszone (von keiner = 90% bis guter = 97% Verdichtung) für den Lastfall „Verkehr allgemein“ durchgeführt. Der maximale Verformungsgrenzwert laut ÖNORM EN 1452-1, ÖNORM EN 12201-1 und ÖNORM EN 805 von max. 8% (=10 mm bei DN 125) wird für alle Rohrmaterialien beim Lastfall „Verkehr allgemein“ eingehalten. Die Materialien Stahl und GGG wurden nicht dargestellt, da sie aufgrund dieser Belastung keine Durchmesseränderung mitmachen.

**B 5012 - Veränderung des Biegemomentes an der Rohrsohle über die Verdichtung  
(Überdeckung 1,5 m, DN 125), Lastfall "Verkehr allgemein"**



**Abbildung 38: Veränderung des Biegemomentes, Lastfall „Verkehr allgemein“**

In Abbildung 38 wird die Veränderung des Biegemomentes als Ergebnis der Berechnungen mit der ÖNORM B 5012 in N/mm für alle berücksichtigten Rohrmaterialien für DN 125 dargestellt. Die Berechnungen werden in Abhängigkeit der Verdichtung in der Leitungszone (von keiner = 90% bis guter = 97% Verdichtung) für den Lastfall „Verkehr allgemein“ durchgeführt. In Abbildung 38 ist auch ersichtlich, dass das Biegemoment mit zunehmender Verdichtung in der Leitungszone bei allen Materialien abnimmt. Die Materialien PE und PVC verhalten sich anders als AZ, Stahl und GGG. Es ist ersichtlich, dass der Einfluss in Bezug auf das Biegemoment bei unterschiedlicher Verdichtung bei starren Rohren größer ist. Starre Rohre ziehen die Lasten bei schlechter Verdichtung an und tragen so höhere Biegemomente ab. Bei steigender Verdichtung sinkt dieser Einfluss und der verdichtete Boden übernimmt einen größeren Anteil der Lastabtragung.



**Abbildung 39 Vergleich Biegemomente Plaxis – B 5012, Lastfall „Verkehr allgemein“**

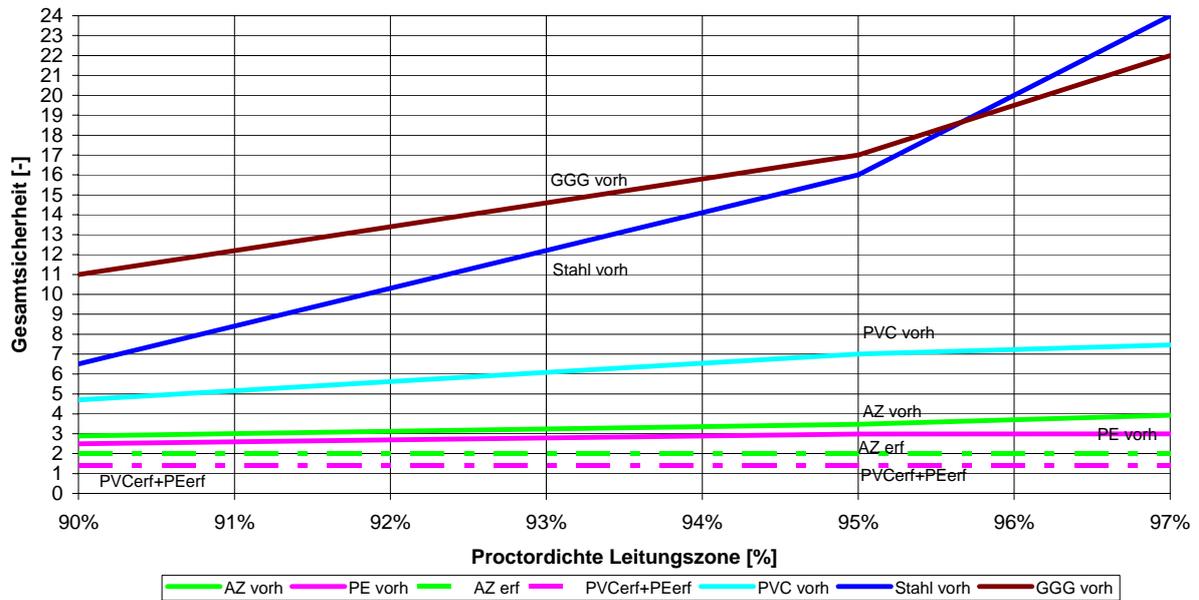
In Abbildung 39 wird der Vergleich der Biegemomente als Ergebnis der Berechnungen mit der ÖNORM B 5012 und dem FEM Programm „Plaxis“ in N/mm für die Rohrmaterialien PE, PVC und AZ für DN 125 dargestellt. Die Berechnungen werden in Abhängigkeit der Verdichtung in der Leitungszone (von keiner = 90% bis guter = 97% Verdichtung) für den Lastfall „Verkehr allgemein“ durchgeführt. Aus der numerischen Berechnung ist ersichtlich, dass das Biegemoment sich nicht so stark mit dem Einfluss der Verdichtung in der Leitungszone verändert.

#### 4.4.3 Eingabeparameter für Lastfall „Bauzustand der Strasse“, (Aushub bis UP und Neueinbau des Straßenoberbaus)

Rohrmaterialkennwerte zur Berechnung mit B 5012 siehe Anhang Kapitel 6.3:
<p>Äußere vertikale Belastung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkehrslast,</li> <li>• Erdlast mit 0,80 m Scheitelüberdeckung,</li> <li>• Kein Belag (unbefestigte Strassenoberfläche = Bauzustand),</li> </ul>
<p>Innere Belastung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Innendruck = 6 bar.</li> </ul> <p>Anwendung der Theorie II. Ordnung, wenn:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• flexibles Rohr (PVC, HDPE; GFUP) eingebaut,</li> <li>• vertikale Gesamtverformung aus Berechnung Theorie I. Ordnung mehr als 1 %,</li> <li>• Verformungsverhältnis &gt; 1,0.</li> </ul>
<p>Rohrgraben:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Senkrechter Grabenverbau,</li> <li>• Scheitelüberdeckung = 0,80 m,</li> <li>• Grabenbreite in Höhe des Rohrscheitels: <math>b_L &gt; d_a + 2 a_{s, \min} = 14,4 \text{ cm} + 2 * 25 = 64,4 \text{ cm}</math> oder mind. 70 cm bei Rohrgrabentiefe zwischen 1,75 m und 4,00 m (Gewählt 80 cm),</li> <li>• Kein anstehender Grundwasserspiegel im Rohrgraben.</li> </ul>
<p>Einbettungsart ET2:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gleiche Materialeigenschaften in unteren, oberen und seitlichen Zone:</li> <li>• GS3 = schwach bindige Mischböden mit höherem Feinanteil, gut verdichtet.</li> </ul> <p>Leitungszone:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GS2 = abgestufter Kies mit 4/8 Rundkorn, nicht verdichtet.</li> </ul> <p>Anstehender Boden neben dem Graben:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GS3 = schwach bindige Mischböden mit höherem Feinanteil.</li> </ul>
<p>Einbaubedingung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• I2 (Verbau wird während der Verfüllung schrittweise entfernt).</li> </ul>

**Tabelle 7: Eingabeparameter für Lastfall „Bauzustand der Strasse“**

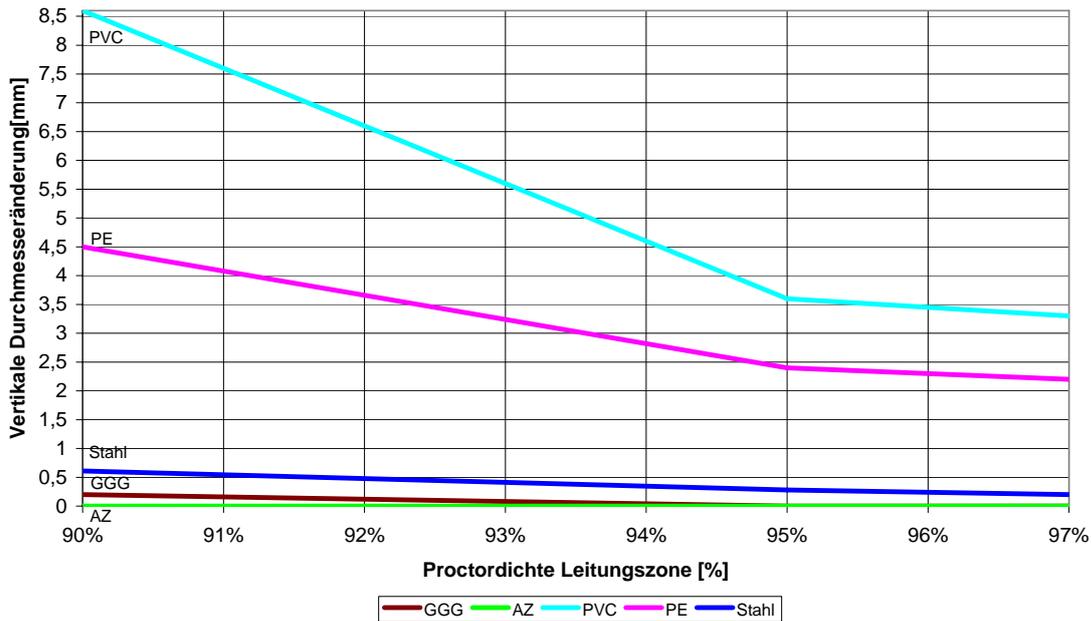
**B 5012 - Geforderte und vorhandene Gesamtsicherheit in Abhängigkeit der Verdichtung (Überdeckung 0,8 m, DN 125, B 5012), Lastfall "Bauzustand"**



**Abbildung 40: Vergleich Gesamtsicherheit, Lastfall „Bauzustand“**

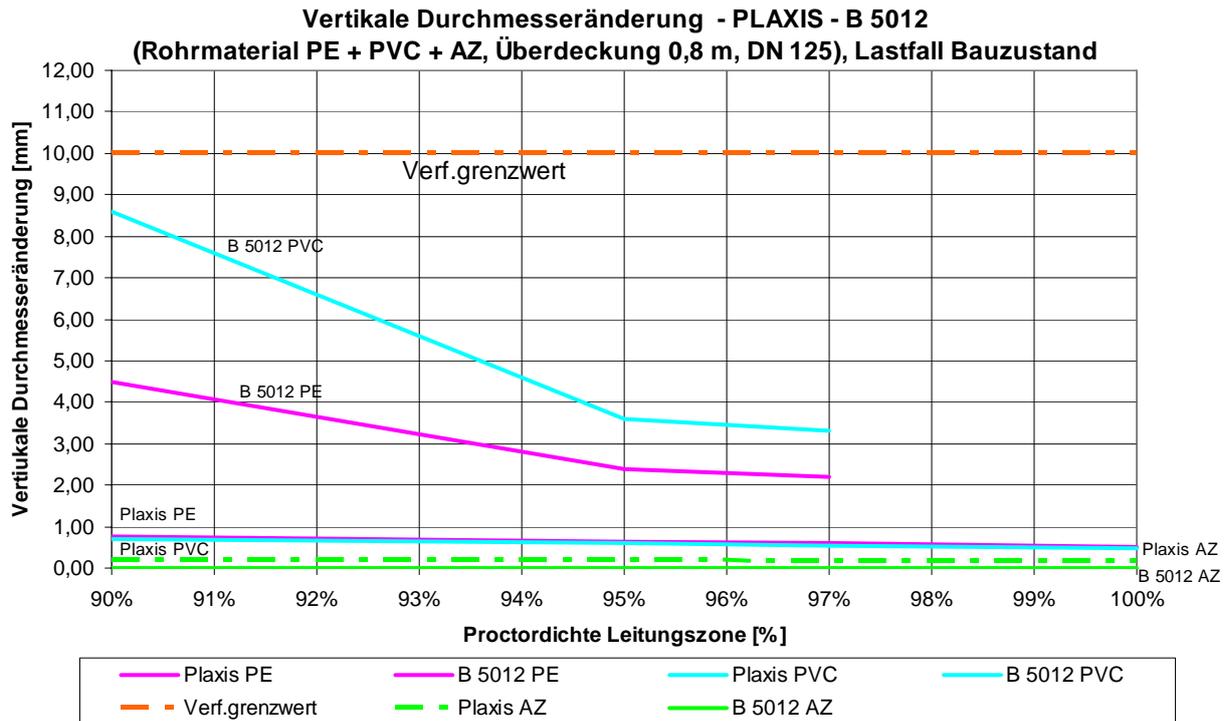
In Abbildung 40 wird die vorhandene und die erforderliche Gesamtsicherheit als Ergebnis der Berechnungen mit der ÖNORM B 5012 für alle berücksichtigten Rohrmaterialien für DN 125 in Abhängigkeit der Verdichtung in der Leitungszone (von keiner = 90% bis guter = 97% Verdichtung) für den Lastfall „Bauzustand“ dargestellt. Die erforderliche Sicherheit von 1,4 für PVC, PE und GGG, sowie 2,0 für AZ und 1,7 für Stahl wird für den Lastfall „Bauzustand“ unter den eingesetzten Normlasten eingehalten. In dieser Abbildung ist auch ersichtlich, dass die Sicherheit mit zunehmender Verdichtung bei allen Materialien ansteigt.

**B 5012 - Vertikale Durchmesseränderung in Abhängigkeit der Verdichtung  
(Überlagerung 0,8 m, DN 125, B 5012), Lastfall "Bauzustand"**



**Abbildung 41: Vertikale Durchmesseränderung, Lastfall „Bauzustand“**

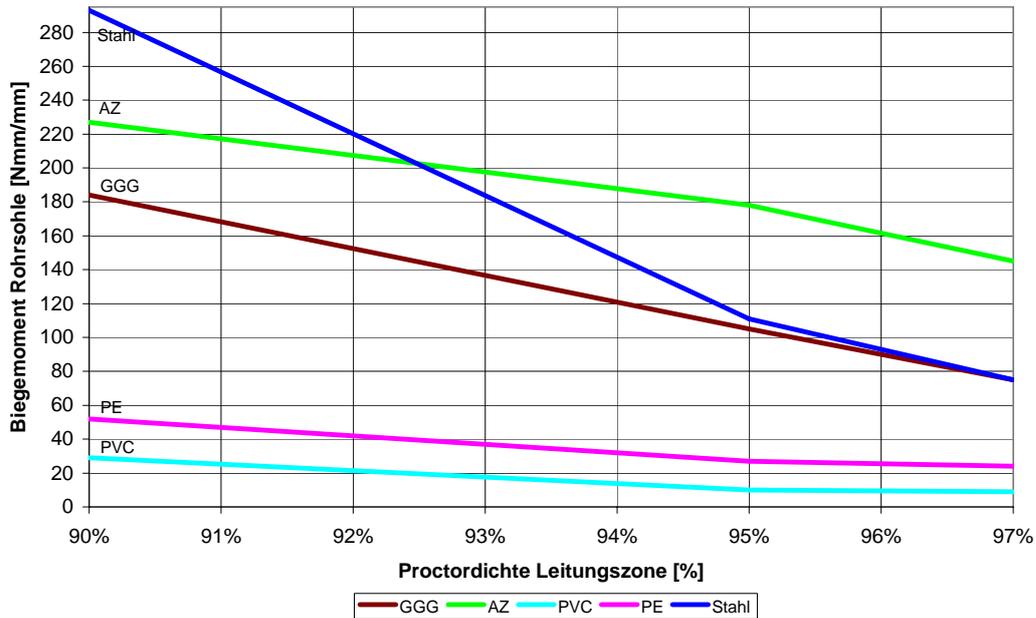
In Abbildung 41 wird die vertikale Durchmesseränderung in mm als Ergebnis der Berechnungen mit der ÖNORM B 5012 für alle berücksichtigten Rohrmaterialien für DN 125 dargestellt. Die Berechnungen werden in Abhängigkeit der Verdichtung in der Leitungszone (von keiner = 90% bis guter = 97% Verdichtung) für den Lastfall „Bauzustand“ durchgeführt. Man kann erkennen, dass für die Materialien PE und PVC der Grad der Verdichtung einen großen Einfluss hat. Je steifer und dichter der Boden, desto geringer verformt sich das Material.



**Abbildung 42: Vergleich vert. Durchmesseränderung Plaxis – B 5012, Lastfall „Bauzustand“**

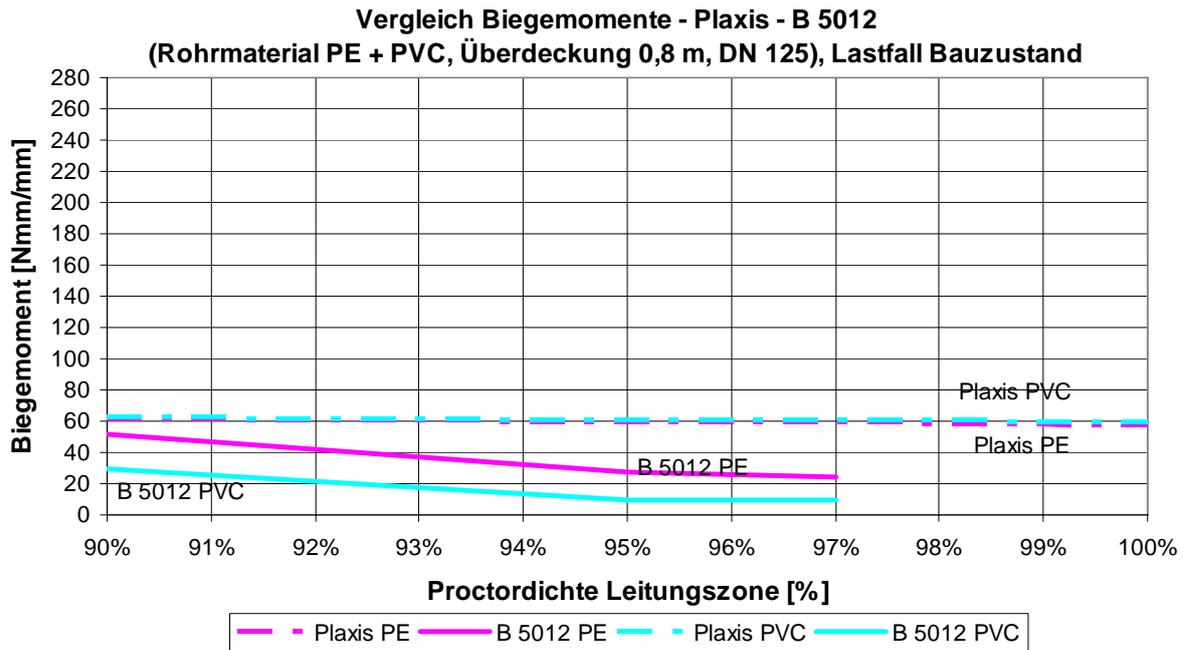
In Abbildung 42 wird die vertikale Durchmesseränderung in mm als Ergebnis der Berechnungen mit der ÖNORM B 5012 und dem FEM Programm „Plaxis“ für die Rohrmaterialien PE, PVC und AZ für DN 125 dargestellt. Die Berechnungen werden in Abhängigkeit der Verdichtung in der Leitungszone (von keiner = 90% bis guter = 97% Verdichtung) für den Lastfall „Bauzustand“ durchgeführt. Der Verformungsgrenzwert laut ÖNORM EN 1452-1, ÖNORM EN 12201-1 und ÖNORM EN 805 von max. 8% (=10 mm bei DN 125) wird für alle Rohrmaterialien beim Lastfall „Bauzustand“ unter Berücksichtigung der Normlasten eingehalten. In dieser Abbildung ist auch ersichtlich, dass mit zunehmender Verdichtung die Durchmesseränderung bei allen Materialien abnimmt. Der Unterschied in der Größenordnung der vertikalen Durchmesseränderungen zwischen analytischer und numerischer Berechnung lässt sich auf die unterschiedlichen theoretischen Ansätze des Steifemoduls und der Steifigkeit der Bodenschichten zurückführen. Die Materialien Stahl und GGG wurden nicht dargestellt da sie aufgrund dieser Belastung keine Durchmesseränderung mitmachen.

**B 5012 - Veränderung des Biegemomentes an der Rohrsohle über die Verdichtung  
(Überdeckung 0,8 m, DN 125), Lastfall "Bauzustand"**



**Abbildung 43: Veränderung Biegemoment, Lastfall „Bauzustand“**

In Abbildung 43 wird die Veränderung des Biegemomentes in N/mm als Ergebnis der Berechnungen mit der ÖNORM B 5012 für alle berücksichtigten Rohrmaterialien für DN 125 dargestellt. Die Berechnungen werden in Abhängigkeit der Verdichtung in der Leitungszone (von keiner = 90% bis guter = 97% Verdichtung) für den Lastfall „Bauzustand“ durchgeführt. In dieser Abbildung ist ersichtlich, dass mit zunehmender Verdichtung das Biegemoment bei allen eingesetzten Materialien abnimmt. Es ist ersichtlich, dass der Einfluss, in Bezug auf das Biegemoment bei unterschiedlicher Verdichtung, bei starren Rohren größer ist. Starre Rohre ziehen die Lasten bei schlechter Verdichtung an und tragen so höhere Biegemomente ab. Bei steigender Verdichtung sinkt dieser Einfluss und der verdichtete Boden übernimmt einen größeren Anteil der Lastabtragung.



**Abbildung 44: Vergleich Biegemomente Plaxis – B 5012, Lastfall „Bauzustand“**

In Abbildung 44 wird der Vergleich der Biegemomente in N/mm als Ergebnis der Berechnungen mit der ÖNORM B 5012 und dem FEM Programm „Plaxis“ für die Rohrmaterialien PVC und PE für DN 125 dargestellt. Die Berechnungen werden in Abhängigkeit der Verdichtung in der Leitungszone (von keiner = 90% bis guter = 97% Verdichtung) für den Lastfall „Bauzustand“ dargestellt. Man kann auch eine gute Korrelation der Momentenverläufe aus numerischer und analytischer Berechnung erkennen. Die Biegemomente für die starren Rohre AZ, Stahl und GGG wurden hier nicht abgebildet, da sie größtenteils und daher abbildungstechnisch mit den flexiblen Rohren PE und PVC nicht übereinstimmen.

## 4.5 Vergleich Vertikalspannung am Rohrscheitel zwischen B 5012 - Burmister für Lastfall „Bauzustand“

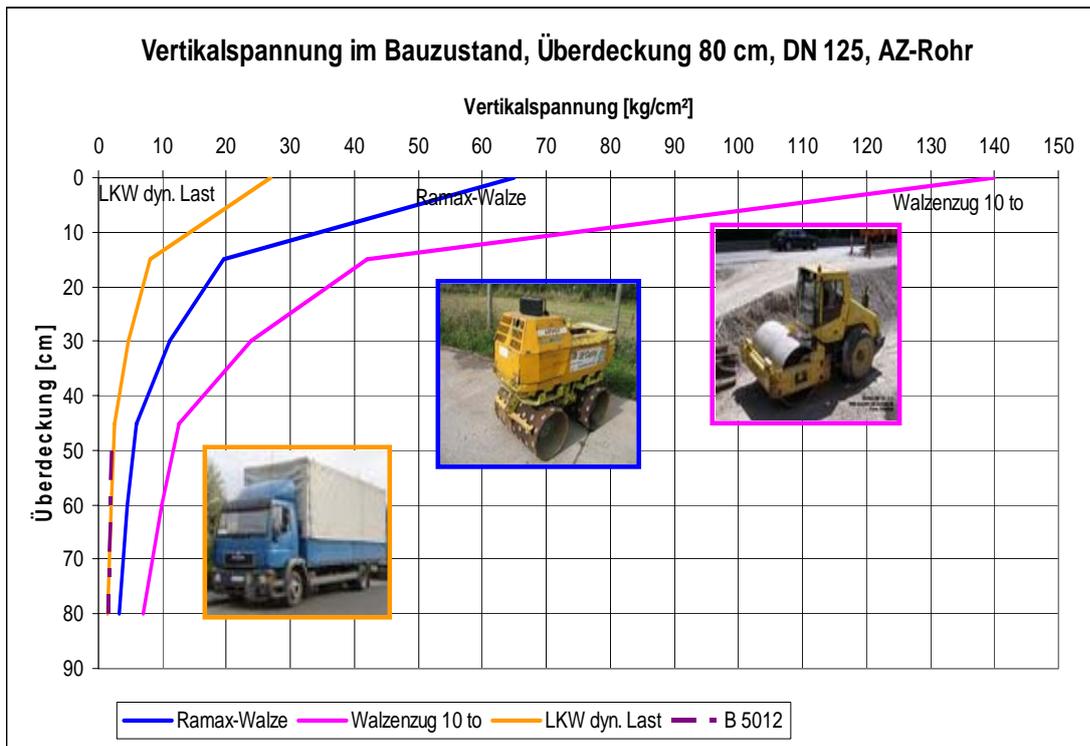
- 1) LKW mit dyn. Last = 27 kg/cm<sup>2</sup> am UP (dyn. Faktor 2,7, statische Achslast 5 to)
- 2) Ramax-Walze mit dyn. Last = 65 kg/cm<sup>2</sup> auf UP (dyn. Faktor 5,7, statische Achslast pro Bandage 0,72 to, 11,4 kg/cm<sup>2</sup>)
- 3) Walzenzug auf UP mit dyn. Last = 140 kg/cm<sup>2</sup> (dyn. Faktor 5,7, Statische Achslast 5 to)

Anhand eines AZ-Rohres mit DN 125 und einer Überdeckung bis 80 cm wurden weitere Detailuntersuchungen durchgeführt. AZ gilt als biegesteifes Rohr (siehe Berechnung ÖNORM B 5012, Kapitel 4.4), verformt sich bei Belastung nur gering und neigt daher zu „Schalenbrüchen“. Bei solchen Brüchen können kurzzeitig sehr große Wassermengen austreten. Aus diesem Grund wurde eine Detailanalyse durchgeführt.

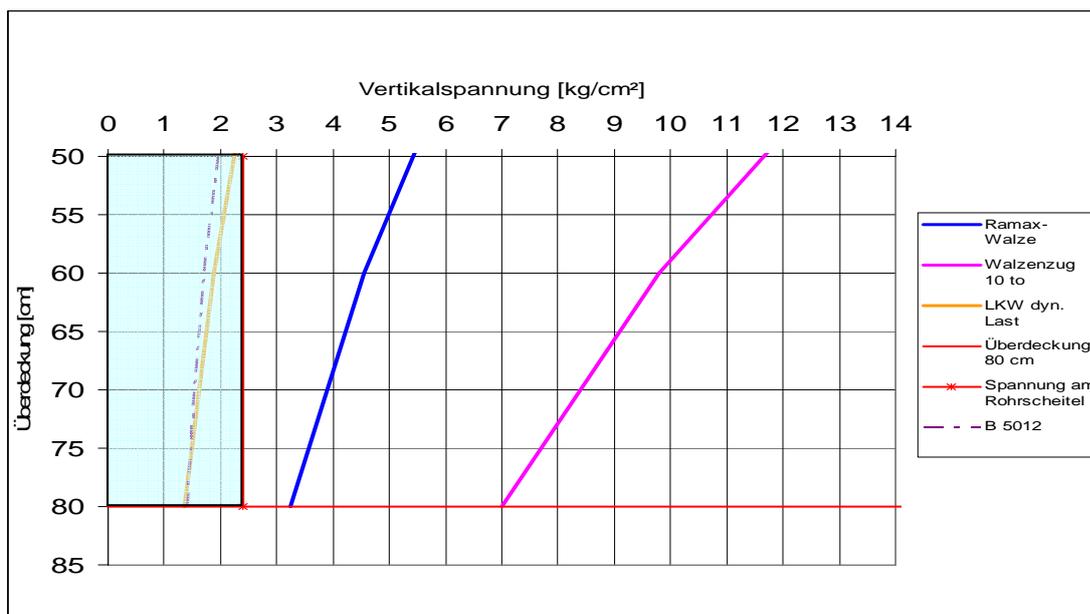
Wasserverlustberechnung nach Torricelli:
AZ-Rohr – DN 125
Innendruck 5 bar
angenommene Ausbruchfläche $D = 10 \text{ mm} \rightarrow A = 78,5 \text{ mm}^2$
Wasserverlust von 130 m <sup>3</sup> pro 24 Stunden

**Tabelle 8: Wasserverlustberechnung (Torricelli, 1664)**

Die Auswertungen nach Burmister mit der Mehrschichtentheorie unter den gegebenen Belastungen wurden mit den Belastungen und Berechnungen aus der ÖNORM B 5012 verglichen. Die Sicherheit für das AZ-Rohr bei einer Vertikalspannung am Rohrscheitel ist bei 2,4 kg/cm<sup>2</sup> noch gegeben. Die Spannung am Rohrscheitel wurde immer gleich gehalten und nur die Überdeckung und die Belastung variiert. Der gleich bleibende Sicherheitsbeiwert von 2,0 muss für alle Zustände eingehalten werden.



**Abbildung 45 Vergleich Vertikalspannungen B 5012 – Burmister, „Lastfall Bauzustand“**

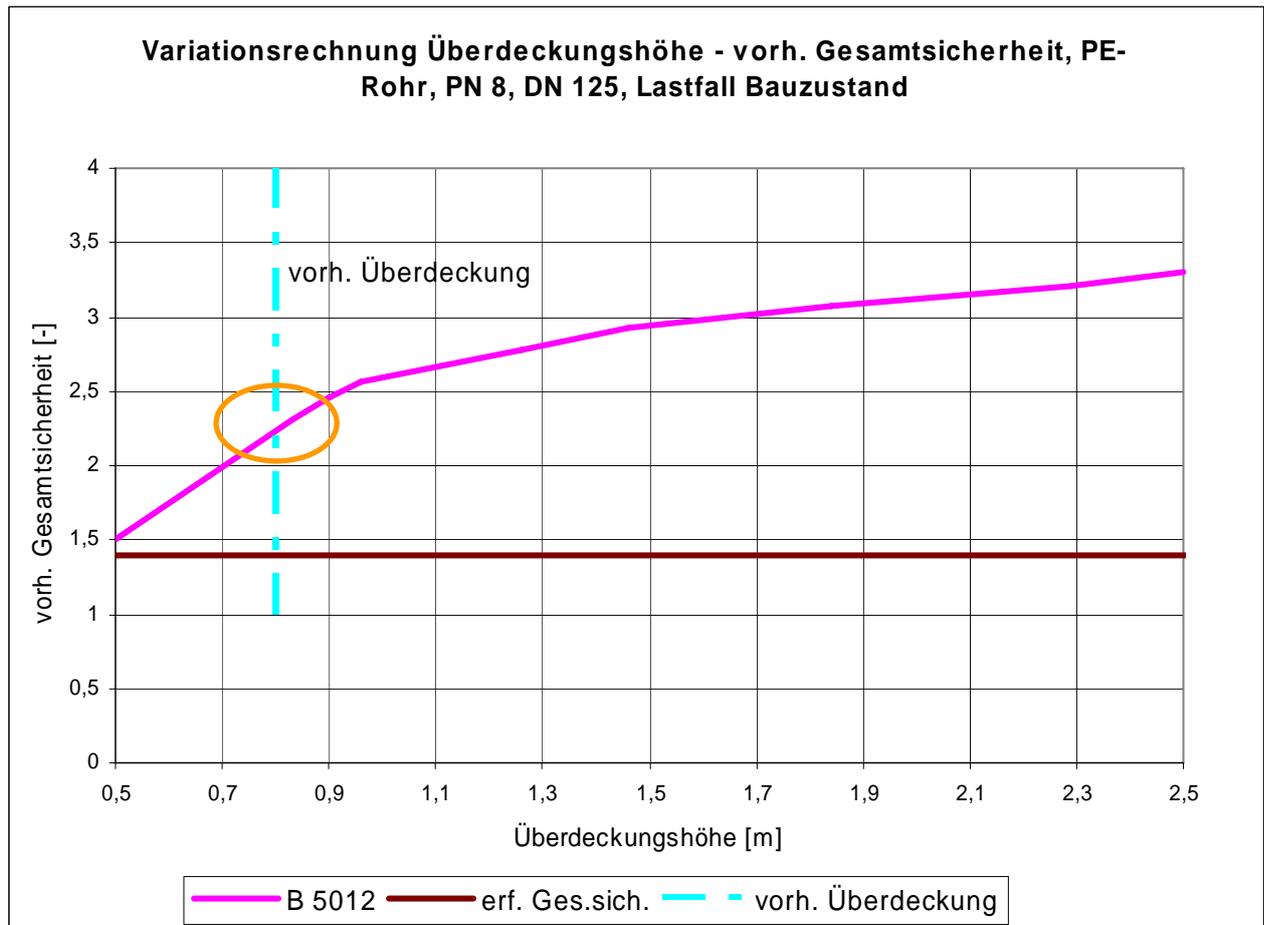


**Abbildung 46 Vergleich Vertikalspannung B 5012 – Burmister, Lastfall Bauzustand**

In Abbildung 46 ist der hellblau transparente Bereich der sichere Bereich für alle Belastungen. Unter Belastungen mit Werten darüber hinaus ist die Sicherheit für das Rohr nicht mehr gegeben. Daher ist für einen LKW am UP im Bauzustand die Sicherheit noch gegeben, aber für eine Ramax-Walze und einen Walzenzug mit dynamischer Verdichtung ist die Sicherheit bei einem erdverlegten AZ-Rohr (DN 125) nicht mehr gegeben. Die Sicherheit für eine Ramax-Walze wäre erst bei einem dynamischen Faktor von < 3,0 gegeben. Bei einem Unterschreiten der Sicherheitsgrenze muss es aber noch zu keinem Versagen der Rohrleitung kommen. Für Grenzwerte, ab deren Unterschreitung es zu einem Versagen kommt, wurden keine Berechnungen durchgeführt.

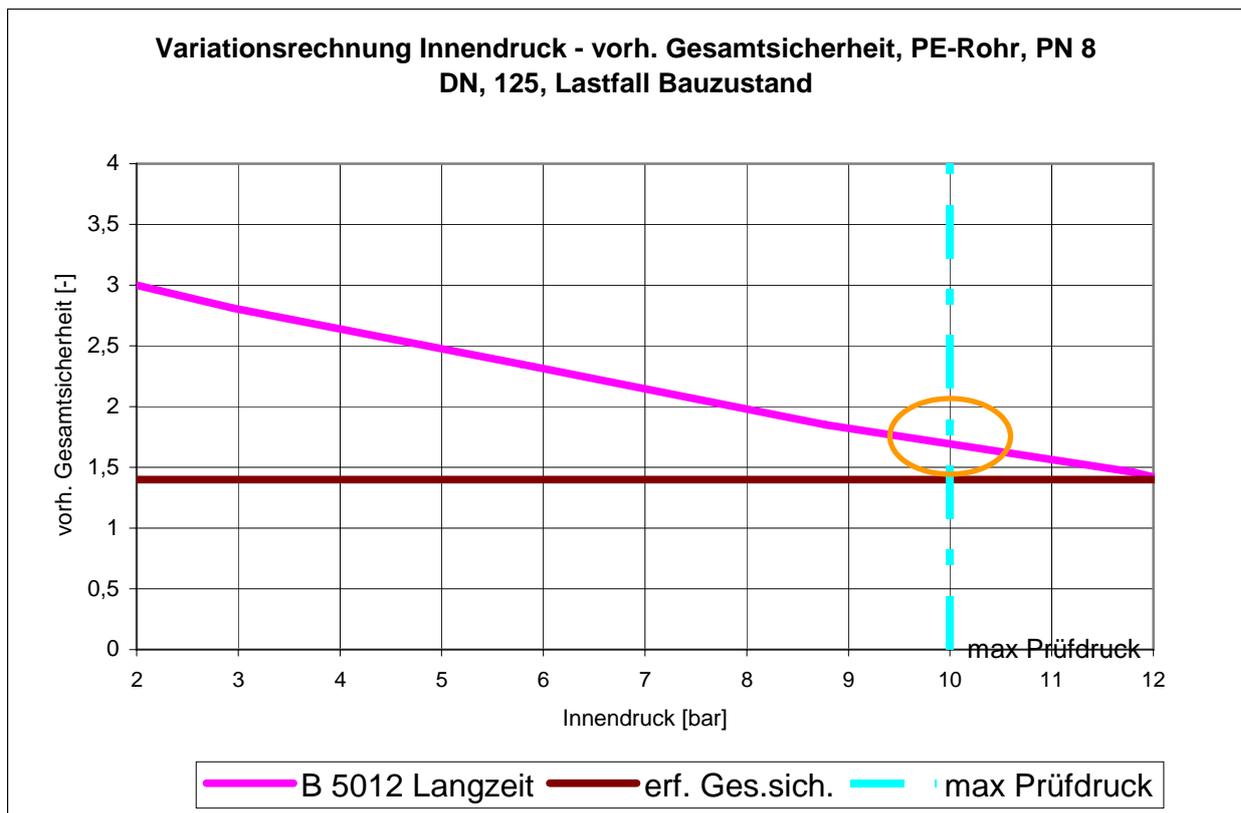
## 4.6 Variationsberechnungen mit B 5012

Wie im Kapitel 4.4 ausführlich beschrieben und aufgezeigt ergeben sich bei flexiblen Materialien, wie PVC und PE, größere Verformungen unter Verkehrsbelastung und schlechter Verdichtung, und das Material AZ neigt zu „Schalenbrüchen“ unter hoher dynamischer Belastung. Aus diesem Grunde werden nun im Anschluss Variationsberechnungen für die Materialien PE, PVC und AZ durchgeführt, um die Zusammenhänge zwischen Verdichtung, Überdeckung, Innendruck und Verkehrsbelastung mit variierten Eingangsgrößen zu untersuchen.



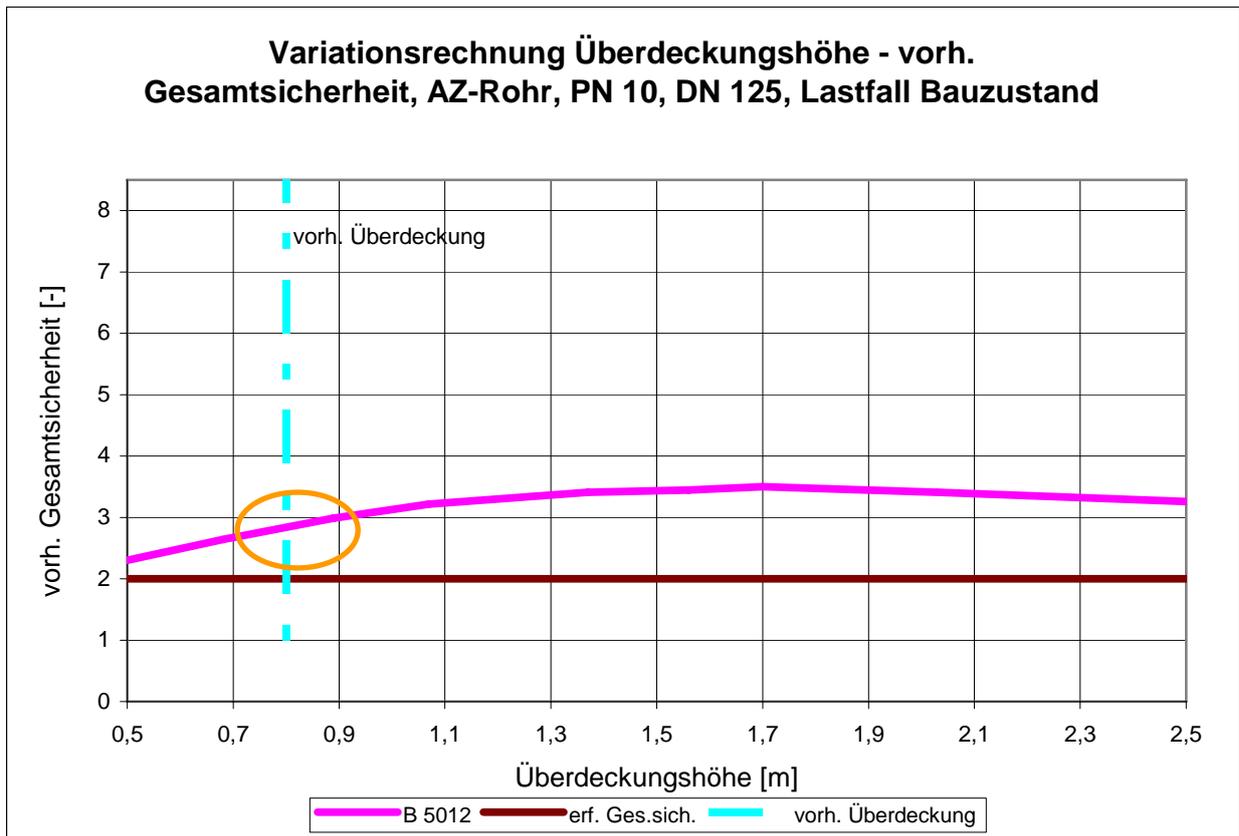
**Abbildung 47 Variationsrechnung Überdeckungshöhe – Gesamtsicherheit, Lastfall „Bauzustand“**

In Abbildung 47 wird die vorhandene Gesamtsicherheit in Abhängigkeit der Überdeckungshöhe für ein PE-Rohr mit DN 125 für den Lastfall „Bauzustand“ dargestellt. Es ist ersichtlich, dass für die verwendeten Normverkehrslasten die Sicherheit von 1,4 auch noch bei 0,5 m Überdeckung gegeben ist.



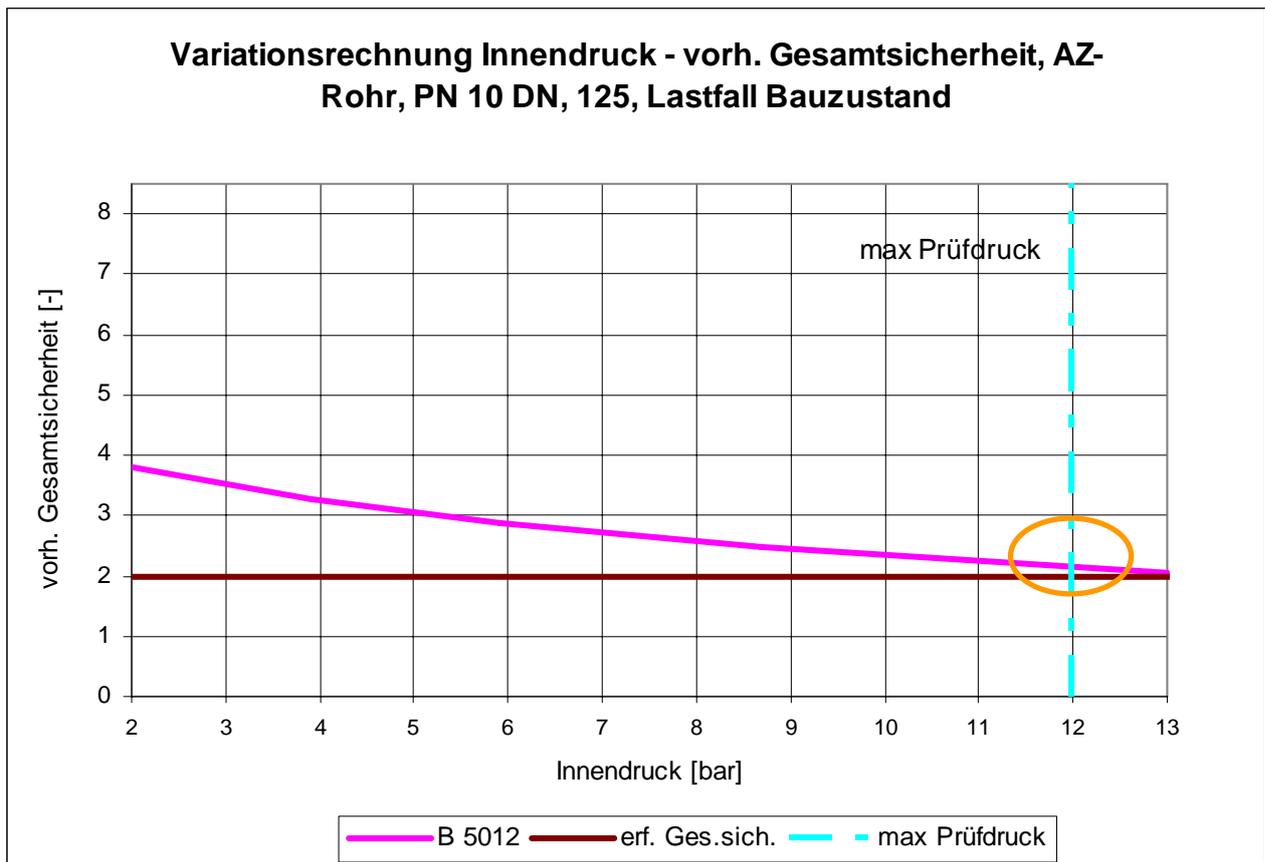
**Abbildung 48 Variationsberechnung Innendruck – Gesamtsicherheit, Lastfall „Bauzustand“**

In Abbildung 48 wird die vorhandene Gesamtsicherheit in Abhängigkeit des Rohrinndruckes für ein PE-Rohr mit DN 125 für den Lastfall „Bauzustand“ dargestellt. Es ist ersichtlich, dass für die verwendeten Innendrucke die Sicherheit von 1,4 bei maximaler Belastung von 10 bar, bei einem gewählten PN 8 Rohr, gegeben ist. Gemäß den ÖNORMEN B 2530-1 und EN 806-1 werden Rohre durch den Nenndruck (PN) charakterisiert. Der Nenndruck PN als Kenngröße eines Rohrleitungsteiles entspricht einem Druck in bar (10 bar = PN 10). Gemäß ÖNORM B 2538 (Entwurf 2002) entspricht PFA – dabei wird PFA als zulässiger Bauteilbetriebsdruck bezeichnet, dem Begriff Nenndruck PN. MDP ist der höchste Systembetriebsdruck mit Berücksichtigung von Druckstößen (Druckstoß = 2 bar, wenn der Druckstoß nur angenommen und nicht berechnet wird) (Kainz et al, 2002).



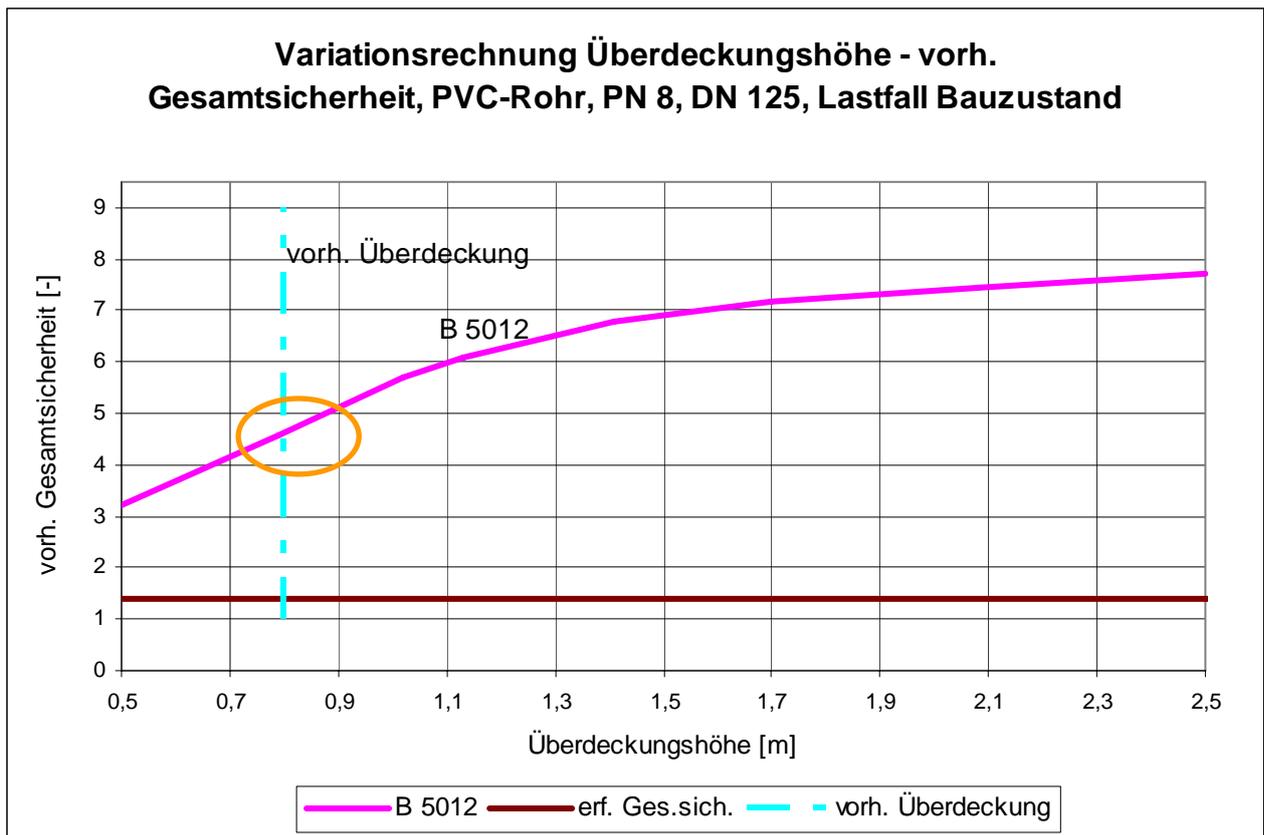
**Abbildung 49 Variationsberechnung Überdeckungshöhe – Gesamtsicherheit, Lastfall „Bauzustand“**

In Abbildung 49 wird die vorhandene Gesamtsicherheit in Abhängigkeit der Überdeckungshöhe für ein AZ-Rohr mit DN 125 für den Lastfall „Bauzustand“ dargestellt. Es ist ersichtlich, dass für die verwendeten Normverkehrslasten die Sicherheit von 2,0 auch noch bei 0,5 m Überdeckung gegeben ist.



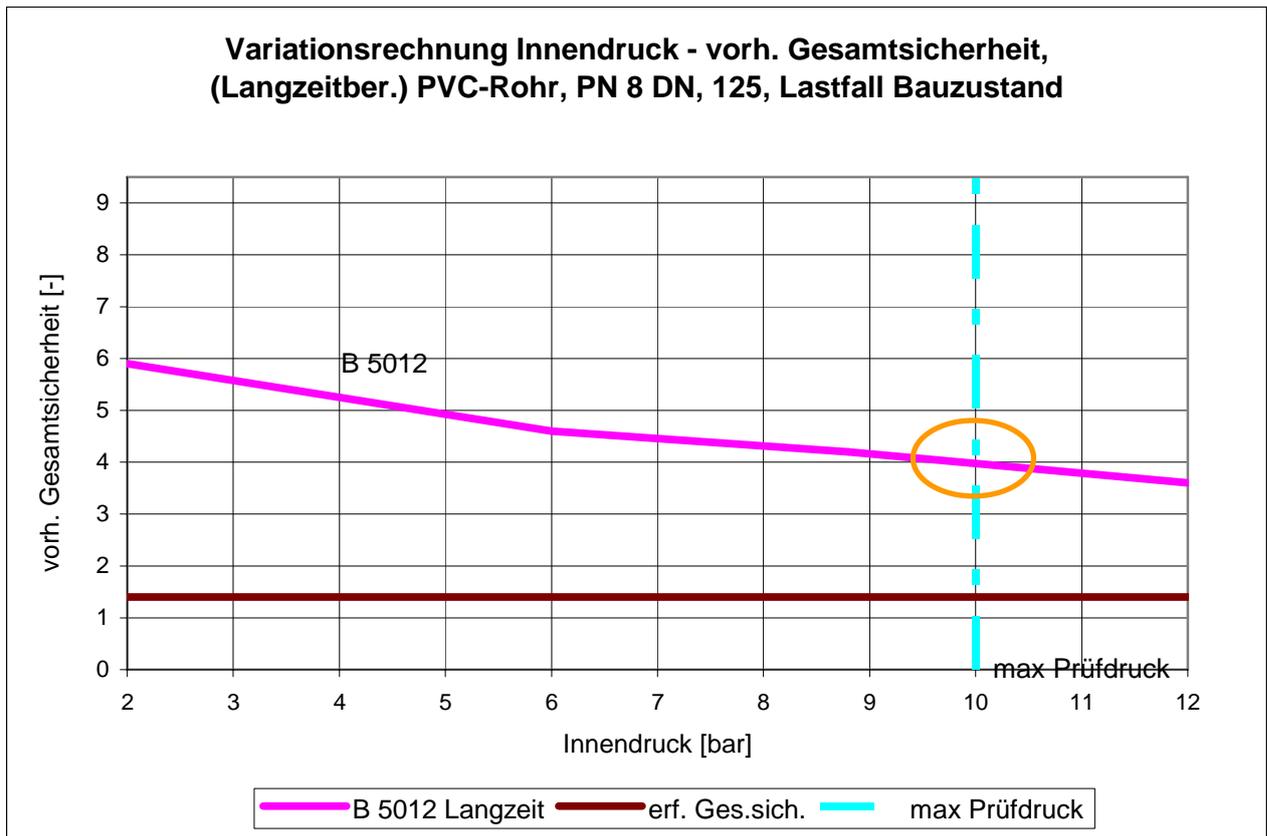
**Abbildung 50** Variationsberechnung Innendruck – Gesamtsicherheit, Lastfall „Bauzustand“

In Abbildung 50 wird die vorhandene Gesamtsicherheit in Abhängigkeit des Rohrinnendruckes für ein AZ-Rohr mit DN 125 für den Lastfall „Bauzustand“ dargestellt. Es ist ersichtlich, dass für die verwendeten Innendrucke die Sicherheit von 2,0 bei einer Belastung von 12 bar für ein gewähltes PN 10 Rohr noch gegeben ist.



**Abbildung 51 Variationsberechnung Überdeckungshöhe – Gesamtsicherheit, Lastfall „Bauzustand“**

In Abbildung 51 wird die vorhandene Gesamtsicherheit in Abhängigkeit der Überdeckungshöhe für ein PVC-Rohr mit DN 125 für den Lastfall „Bauzustand“ dargestellt. Es ist ersichtlich, dass für die verwendeten Normverkehrslasten die Sicherheit von 1,4 auch noch bei 0,5 m Überdeckung gegeben ist.



**Abbildung 52: Variationsberechnung Innendruck – Gesamtsicherheit, Lastfall „Bauzustand“**

In Abbildung 52 wird die vorhandene Gesamtsicherheit in Abhängigkeit des Rohrinndruckes für ein PVC-Rohr mit DN 125 für den Lastfall „Bauzustand“ dargestellt. Es ist ersichtlich, dass für die verwendeten Innendrücke die Sicherheit von 1,4 für ein gewähltes PN 8 Rohr gegeben sind.

## 5 Schlussfolgerung und Ausblick

In dieser Diplomarbeit wurde der Einfluss der Verkehrslast auf die Schadenshäufigkeit erdverlegter Rohrleitungen der Wasserversorgung mit Hilfe analytischer und numerischer Berechnungsmethoden untersucht. Eines der Hauptziele war es zu untersuchen, wie sich der Einfluss der Verdichtung des Verfüllmaterials auf die Tragfähigkeit des Rohres bei Verkehrsbelastung auswirkt.

Zur Berechnung dieser Aufgabe wurden numerische Berechnungen mit unterschiedlicher Bodensteifigkeit im Bereich der Leitungszone mit unterschiedlichen Belastungen durchgeführt. Da die dynamische Verdichtung durch Aufbringen von Flächenlasten nicht zielführend simuliert werden konnte, wurde die dynamische Belastung mit einem dynamischen Beiwert, gemäß Angaben von Herstellern von Verdichtungsgeräten, berücksichtigt. Bei den numerischen Berechnungen wurde die Beziehung verwendet, dass Böden mit zunehmender Lagerungsdichte eine erhöhte Steifigkeit aufweisen. Die Ergebnisse aus den analytischen Berechnungen mit der ÖNORM B 5012 und den numerischen Berechnungen mit dem FEM Programm „Plaxis“ zeigen in Größe und Verlauf eine Korrelation, kommen aber nicht auf die gleichen Werte, da unterschiedliche Lösungsansätze für Steifemodul und Steifeverhalten der Bodenzonen in der Berechnungstheorie dahinter stehen.

Bei der analytischen Berechnung mit der ÖNORM B 5012 wurde die Verdichtung und der erreichte Verdichtungsgrad der einzelnen Schichten durch die Veränderung der Proctordichte in der Leitungszone erreicht. Als Belastung wurde das vorgegebene Belastungsschema Verkehr auf einer Straße mit flexiblem Belag oder ohne Belag gewählt.

Die Beanspruchung der erdverlegten Rohrleitung wurde für die Fälle ausgehend von unverdichtetem bis gut verdichtetem Verfüllmaterial in der Leitungszone mit den angegebenen Randbedingungen und Belastungen durchgeführt.

Es wurden der Lastfall „Verkehr allgemein“ und „Bauzustand der Strasse“ für alle in Graz verwendeten Rohrmaterialien angesetzt und berechnet.

Die Berechnungen haben gezeigt, dass mit größerer Rohrüberdeckung (bis 1,5 m) und steigender Verdichtung die Sicherheit bei Rohrbemessungen zunimmt und die Vertikalverformungen und Biegemomente infolge Verkehrslast für beide Lastfälle am Rohrquerschnitt abnehmen.

Für den Lastfall „Verkehr allgemein“ wurden für alle untersuchten Rohrmaterialien unter der Norm-Belastung Verkehr mit flexiblem Straßenbelag und einer Rohrscheitelüberdeckung von 1,5 m die erforderliche Sicherheit und der vorgeschriebene zulässige Verformungsgrenzwert eingehalten.

Für den Lastfall „Bauzustand der Strasse“ mit 0,8 m Rohrscheitelüberdeckung sowie unter der Belastung Verkehr ohne Straßenbefestigung wurden die erforderliche Gesamtsicherheit und der vorgeschriebene zulässige Verformungsgrenzwert eingehalten.

Da es bei der Berechnung unter dem Lastfall „Bauzustand der Strasse“ zu erhöhten, aber zulässigen Werten bei Biegemoment und Durchmesserdehnung für die Materialien PE und PVC kam, und AZ zu Schalenbrüchen bei hoher dynamischer Belastung neigt, wurden zusätzliche Untersuchungen hinsichtlich zulässiger Rohrscheitelspannung und erforderlicher Sicherheit für den Lastfall „Bauzustand der Strasse“ durchgeführt.

Es hat sich gezeigt, dass bei zu hoher dynamischer Verdichtung und zu geringer Rohrüberdeckung zu hohe Spannungen am Rohrscheitel auftreten und die Sicherheit für das AZ-Rohr im Lastfall „Bauzustand der Strasse“ daher nicht mehr gegeben ist. Aus diesem Grund ist es wichtig die Belastung während der Bauphase auf das erdverlegte Rohr gering zu halten. Es sollte in Kooperation zwischen dem Straßenerhalter und den Leitungsträgern eine Vorgehensweise gefunden werden, die zu keiner Überbeanspruchung der Rohrleitung führt. Durch zu hohe Belastungen muss noch kein Schaden auftreten, aber es kann zu einer Verkürzung der Nutzungsdauer und einem beschleunigten Alterungsprozess der Rohrleitung kommen. Als Schlussfolgerung der Detailanalysen für die Materialien PVC und PE anhand der Variationsberechnungen mit der ÖNORM B 5012 kann angemerkt werden, dass alle Sicherheiten in bezug auf Innendruck- und Überdeckungsvariation eingehalten werden.

Bei welcher Belastung es im eingebauten Zustand des Rohres in Abhängigkeit des Alters zu einem Versagen der Rohrleitung kommt, konnte aufgrund des komplexen Problems nicht ermittelt werden. Dafür wäre noch weiterer Forschungsbedarf notwendig um das Problem mit Versuchsaufbauten, Probelastungen und Messungen in situ zu untersuchen.

## Literaturverzeichnis

Henögl, O., Asphalt und Schwerverkehr- ungebundene Tragschichten, Vortrag anlässlich des 31. Gestrata-Bauseminars 2005

Hünerberg, K., Tessendorf, H., Handbuch für Asbestzementrohre, ISBN 3-540-08115-1, 2. Auflage, Springer Verlag, Ausgabe 1977

Kainz, H., Kauch, E.P. & H. Renner 2002, Siedlungswasserbau und Abfallwirtschaft, ISBN 3-7068-1090-5, Manz Verlag, Wien

Gussrohr-Technik, Handbuch Guss-Rohr Technik, Fachgemeinschaft Gusseisen-Rohre Köln, Ausgabe 1996

Grundbau 1, Bodenmechanik und erdstatische Berechnungen, ISBN 3-519-45231-6, Ausgabe 1994

Druckrohre aus duktilem Guss, Tiroler Röhren- und Metallwerke, Ausgabe 2000.12.01

Grundlagen der Bodenverdichtung, Wacker Baumaschinen, Ausgabe 1992.07

RVS, Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen, Ausgabe 2005.05.01

ÖNORM B 2538, Transport-, Versorgungs und Anschlussleitungen von Wasserversorgungsanlagen – Ergänzende Bestimmungen zu ÖNORM EN 805, Institut für Siedlungswasserbau und Siedlungswasserwirtschaft, Ausgabe 2002

ÖNORM B 5016, Überprüfung von Erdarbeiten für Rohrleitungen des Siedlungs- und Industrieabwassers – Verdichtungsgrade, Institut für Siedlungswasserbau und Siedlungswasserwirtschaft, Ausgabe 1997

ÖNORM B 2533, Koordinierung unterirdischer Einbauten – Planungsrichtlinien, Institut für Siedlungswasserbau und Siedlungswasserwirtschaft, Ausgabe 2004

Röhrenwerk Gebr. Fuchs GmbH, Stahlleitungsrohre für die Wasserwirtschaft, 3. Auflage, Verlag Siegen, Ausgabe 2003

Grabe, J. , Bodenverdichtung – Experimente – Modellierung – Geräteentwicklung – Baustellenbereiche – F+E-Bedarf, Workshop Bodenverdichtung Hamburg, ISBN 3-936310-056-X, Ausgabe 2003.09.23

ÖNORM B 5012, Statische Berechnung erdverlegter Rohrleitungen für die Wasserversorgung und die Abwasser-Entsorgung, Institut für Siedlungswasserbau und Siedlungswasserwirtschaft, Ausgabe 2005

Kiesselbach Gerhard: Projektstudie über die Verfüllung von Künette, Magistrat der Stadt Wien, Magistratsabteilung 22 Umweltschutz Öko Kauf Wien Arbeitsgruppe Tiefbau, Dipl. Ing. Dr. Techn. Gerhard Kiesselbach

Eisenmann, J., Koroneos, E., Maier, H., Beanspruchung der Straße unter Verkehrslast , Ausgabe 1968

<http://de.wikipedia.org/wiki/Wasser>

Trinkwasserverordnung, BGBl. II Nr. 304/2001, Ausgabe 2001.09.01

Aufgrabungsrichtlinie der Stadt Graz, Ausgabe 1997

Kraftfahrgesetz, BGBl 1967/267 idF BGBl I 2006/57

Stickler, H., Vorlesungs-Skriptum, Institut für Verkehrswesen, Ausgabe 2001

EN 12666-1:2005, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Leitungen-PE)

Fischer H., Grazer Stadtbaudirektion, Vortrag Verkehrsplanung in Graz

<http://science.orf.at/science/news/25042>

DIN 19 800 Asbestzementrohre, Ausgabe Jänner 1971

Schweiger, H., Vorlesungs-Skriptum, Institut für Bodenmechanik und Grundbau, Ausgabe 2006

## Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Verdichtungs-klasse und Bauausführungsverfahren (ÖN B 5012 – Tabelle 1) .....	7
Abbildung 2: Begrenzte Oberflächenlast über dem Rohr (ÖN B 5012 – Bild 8) .....	8
Abbildung 3: $p_T$ (Straße) als Funktion der Überdeckungshöhe (ÖN B 5012 – Bild 9) .....	9
Abbildung 4: Verteilung der vertikalen Bodenspannungen bei starren Rohren (ÖN B 5012 – Bild 13) .....	10
Abbildung 5: Verteilung der vert. Bodenspannungen bei flexiblen Rohren (ÖN B 5012 – Bild 14) .....	10
Abbildung 6: Erddruckverteilung am Rohrumfang für Bodenaufleger (ÖN B 5012 – Bild 15) ..	11
Abbildung 7: Graben- (Künetten-) verbau (Pölzung) (ÖN B 2538 – Bild 5) .....	14
Abbildung 8: Anwendungsbereiche maschineller Verdichtungsgeräte (ÖN B 2538 – Tabelle 8) .....	17
Abbildung 9: Straßenaufbau laut RVS 8.24 bzw. Gestrata-Asphalthandbuch .....	20
Abbildung 10: Mindestanforderung an ungebundene Tragschichten (RVS 08.15.01) .....	22
Abbildung 11: Entwicklung des Straßenaufbaues (Stickler, 2001) .....	23
Abbildung 12: Normkünette nach Aufgrabungsrichtlinie der Stadt Graz (Entwurf 2007) ...	24
Abbildung 13: Mobilität der Grazer im Vergleich zum Umland (Stadt Graz Baudirektion) .	24
Abbildung 14: Proctorkurven verschiedener Böden (Grundlagen der Bodenverdichtung, Wacker) .....	30
Abbildung 15: Verteilung der Porenzahl nach Verdichtung mit Vibrationswalze (Grabe, Bodenverdichtung 2003) .....	33
Abbildung 16: Verformung eines PE-Rohres beim Einbau und im Betrieb (Kiesselbach, 1999) .....	33
Abbildung 17: Relative Dichte der Verfüllung in der Leitungszone über den Rohrumfang (Kiesselbach, 1999) .....	34
Abbildung 18: Normalspannungen in einer Straße mit bituminöser Befestigung (Stickler, 2001) .....	36
Abbildung 19: Schubspannungsverlauf bei verschiedenen Belastungsfällen (Stickler, 2001) ...	37
Abbildung 20: Methoden der Spannungsermittlung im Oberbau (Eisenmann et al, 1968)	38
Abbildung 21: statische und dynamische Radlasten (Stickler, 2001) .....	39
Abbildung 22: dynamische Fahrt eines Fahrzeuges auf unebener Fahrbahn (Stickler, 2001) ..	39
Abbildung 23: Eislinnenbildung (Jumikis, 1966) .....	41
Abbildung 24: Adsorptionswasserhüllen und Frostverhalten (Jumikis, 1966) .....	42

Abbildung 25:	Tauschäden aufgrund mangelnder Drainagefähigkeit (Ruckli, 1950).....	43
Abbildung 26	Numerisches Modell .....	45
Abbildung 27:	Mohr-Coulomb´sches Bruchkriterium .....	46
Abbildung 28:	Fließflächen des Hardening-Soil Modells im Hauptspannungsraum .....	46
Abbildung 29:	Unterschiede zwischen MC-Modell und HS-Modell (Schweiger et al, 2006).. .....	47
Abbildung 30	Einwirkung der Verkehrsbelastung (The US-Asphalt Institute, 1981).....	48
Abbildung 31	Spannungen im elastisch – isotropen Halbraum und im Zweischichtensystem (Eisenmann et al, 1968) .....	48
Abbildung 32:	Normalspannungen nach Burmister (eigene Berechnung).....	50
Abbildung 33:	Rohrbettung (Kainz et al, 2002) .....	51
Abbildung 34:	Grabenbedingung (Hünerberg et al, 1977) .....	54
Abbildung 35:	Dammbedingung (Hünerberg et al, 1977) .....	54
Abbildung 36:	Vertikale Durchmesseränderung, Lastfall „Verkehr allgemein“.....	56
Abbildung 37:	Vergleich vert. Durchmesseränderung Plaxis – B 5012, Lastfall „Verkehr allgemein“ .....	57
Abbildung 38:	Veränderung des Biegemomentes, Lastfall „Verkehr allgemein“ .....	58
Abbildung 39	Vergleich Biegemomente Plaxis – B 5012, Lastfall „Verkehr allgemein“ ....	59
Abbildung 40:	Vergleich Gesamtsicherheit, Lastfall „Bauzustand“ .....	61
Abbildung 41:	Vertikale Durchmesseränderung, Lastfall „Bauzustand“.....	62
Abbildung 42:	Vergleich vert. Durchmesseränderung Plaxis – B 5012, Lastfall „Bauzustand“ .. .....	63
Abbildung 43:	Veränderung Biegemoment, Lastfall „Bauzustand“ .....	64
Abbildung 44:	Vergleich Biegemomente Plaxis – B 5012, Lastfall „Bauzustand“ .....	65
Abbildung 45	Vergleich Vertikalspannungen B 5012 – Burmister, „Lastfall Bauzustand“.	67
Abbildung 46	Vergleich Vertikalspannung B 5012 – Burmister, Lastfall Bauzustand .....	67
Abbildung 47	Variationsberechnung Überdeckungshöhe – Gesamtsicherheit, Lastfall „Bauzustand“ .....	68
Abbildung 48	Variationsberechnung Innendruck – Gesamtsicherheit, Lastfall „Bauzustand“ .....	69
Abbildung 49	Variationsberechnung Überdeckungshöhe – Gesamtsicherheit, Lastfall „Bauzustand“ .....	70
Abbildung 50	Variationsberechnung Innendruck – Gesamtsicherheit, Lastfall „Bauzustand“ ... .....	71
Abbildung 51	Variationsberechnung Überdeckungshöhe – Gesamtsicherheit, Lastfall „Bauzustand“ .....	72

Abbildung 52: Variationsberechnung Innendruck – Gesamtsicherheit, Lastfall „Bauzustand“ ...	73
Abbildung 53: Reversierbare Vibrationsplatte.....	81
Abbildung 54: Vibrationsstampfer.....	81
Abbildung 55: Vibrationswalze.....	82
Abbildung 56: Grabenwalze (Ramax).....	82
Abbildung 57: Vibrationswalze.....	83
Abbildung 58: Berechnungsmodell.....	88
Abbildung 59: Total displacements.....	89
Abbildung 60: Vertical phase displacements.....	89
Abbildung 61: Total stresses.....	90
Abbildung 62: Verformungen am Rohr (Total displacements).....	90
Abbildung 63: Bending moments (Biegemomente).....	91
Abbildung 64: Berechnungsmodell.....	92
Abbildung 65: Total displacements.....	92
Abbildung 66: Total stresses.....	93
Abbildung 67: Total displacements.....	93
Abbildung 68: Bending moments (Biegemomente).....	94
Abbildung 69: Berechnungsmodell.....	95
Abbildung 70: Total displacements.....	95
Abbildung 71: Vertical phase displacements.....	96
Abbildung 72: Total displacements.....	96
Abbildung 73: Bending moments (Biegemomente).....	97
Tabelle 1: Straßenoberbauberechnung lt. RVS 03.08.63.....	21
Tabelle 2: Dynamischer Reifenflächendruck eines LKWs.....	40
Tabelle 3: Bauzustand mit Ramax-Walze am UP.....	49
Tabelle 4: Verkehrslast (LKW).....	49
Tabelle 5: Tragfähigkeitsnachweis mit Einbauziffer nach ATV-A 127.....	52
Tabelle 6: Eingabeparameter für Künette mit Lastfall „Verkehr allgemein“.....	55
Tabelle 7: Eingabeparameter für Lastfall „Bauzustand der Strasse“.....	60
Tabelle 8: Wasserverlustberechnung (Torricelli, 1664).....	66

## 6 Anhang

### 6.1 Verwendete Verdichtungsgeräte im Grazer Stadtgebiet

#### 6.1.1 Leichte Verdichtungsgeräte für die Leitungszone:

Rüttelplatten



- ab 40 cm Breite,
- 100 bis 300kg Eigengewicht,
- mit 4 bis 6 Verdichtungsübergängen,
- Schütthöhe ca.15 bis 25cm.

Abbildung 53: Reversierbare Vibrationsplatte

Vakuumstamper



- ab 30 cm Breite,
- 25 bis 60kg Eigengewicht,
- mit 2 bis 4 Verdichtungsübergängen,
- Schütthöhe 15 bis 25cm.

Abbildung 54: Vibrationsstamper

## 6.1.2 Mittelschwere Verdichtungsgeräte oberhalb der Leitungszone:

BW 120 AD-3: (Doppelstahlläufer)



Abbildung 55: Vibrationswalze

- Gewicht 2.7 to,
- Arbeitsbreite 1.2m,
- Doppelantrieb u. -vibration,
- Berieselung,
- 2 Zyl. Deutz Dieselmotor,
- Einsatz: Frostschutzschicht.

BW 100 AD-3: (Doppelstahlläufer)

- Gewicht 2.4 to,
- Arbeitsbreite 1.0m,
- Doppelantrieb u. -vibration,
- Berieselung, 2 Zyl. Deutz Dieselmotor
- Einsatz: Frostschutzschicht.

Graben-Walze (Ramax):



Abbildung 56: Grabenwalze (Ramax)

- Gewicht 1440kg,
- statische Linienlast 11,4 kg/cm,
- dynamische Linienlast 65 kg/cm,
- Einsatz: Frostschutzschicht.

## Vibrationswalzen CC 225



- Einsatz in der Asphaltverdichtung)
- 1 Stahlwalze + 1 Gummiwalze,
- ab 2 m Breite
- Gewicht ca. 8 to.

**Abbildung 57: Vibrationswalze**

## **6.2 Beispiel Tragfähigkeitsnachweis Einbauziffer nach ATV-A 127**

Rohr:

- GGG-Rohr (Rohrklasse K 9)
- Nennweite DN 125
- $D_a = 144 \text{ mm}$
- $F_N = 90 \cdot 125/1000 = 11,25 \text{ kN/m}^2$

Anstehender Boden (Zone 3):

- Bodengruppe G3,  $D_{Pr} = 90\%$ ,  
(Bindige Mischböden)
- GW:  $\max h_W = 0 \text{ m}$   
 $\min h_W = 0 \text{ m}$

Seitenverfüllung (Zone 2):

- Bodenaustausch G1 (Nichtbindige Böden)
- Einbettungsbedingung B2

Hauptverfüllung (Zone 1):

- Einbau des Aushubs G3 (Bindige Mischböden)
- Überschüttungsbedingung A2 (Senkrechter Verbau, der schrittweise gezogen wird)

Bettungsschicht (Zone 4):

- Sand-/Kiesauflager
- Auflagerwinkel =  $90^\circ$

Lasten:

- Erdlasten
- Straßenverkehrslast
- Wasserfüllung

Die Grabenwände bleiben nicht auf Dauer erhalten. Es ist der Tragfähigkeitsnachweis für die Sicherheitsklasse A zu bringen.

Untere Bettungsschicht:  $a = 100 + DN/10 = 112,5 \text{ mm}$

Auflagerwinkel  $2\alpha = 90^\circ$ , obere Bettungsschicht  $b = d_a/2 * (1 - \cos \alpha) = 0,03 \text{ m}$

Dicke der Abdeckung: gewählt  $0,3 \text{ m}$

Grabenbreite:  $0,80 \text{ m}$

Berechnungsschritte:

Schritt 1: Lasten

Keine Abminderung für Silowirkung:  $\kappa = 1,0$

Bodenwichte:  $\gamma_B = 20 \text{ kN/m}^3$

Erdlast:

$$P_E = \kappa * \gamma_B * h + \kappa_0 * p_0 = 1,0 * 20 * 1,5 + 0 = 30 \text{ kN/m}^2$$

Verkehrslast:

SLW 60,  $h = 1,5 \text{ m}$ ,  $p = 25 \text{ kN/m}^2$

$\varphi = 1,2$  (SLW 60) Stoßbeiwert

$$P_V = \varphi * p = 1,2 * 25 = 30 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 2: Bodenkennwerte

Anstehender Boden  $E_3 = 2 \text{ N/mm}^2$

Hauptverfüllung

(G3, Überschüttungsbedingung A2):  $E_1 = 2 \text{ N/mm}^2$

Seitenverfüllung

(G1, Einbettungsbedingung B2):  $E_{20} = 6 \text{ N/mm}^2$

Abminderung von  $E_{20}$  für

Kriechen des Bodens:  $f_1 = 1,0$

Grundwassereinfluss:  $f_2 = 1,0$

Schmaler Graben:  $b/d_a = 4,86$ ,  $\alpha_B = 1$

Abgeminderter Verformungsmodul:  $E_2 = f_1 * f_2 * \alpha_B * E_{20}$

$$= 1 * 1 * 1 * 6 = 6 \text{ N/mm}^2$$

Verformungsmodul der Bettungsschicht:  $E_4 = 10 * E_1 = 10 * 2 = 20 \text{ N/mm}^2$

### Schritt 3: Lastaufteilung

Relative Ausladung:  $a = 1,0$

Wirksame relative Ausladung  $a' = a * E_1 / E_2 > 0,26 = 1 * 2/6 = 0,33$

Bedingung ist erfüllt

Parameter für Diagramm D6:

$h / d_a = 1,5 / 0,144 = 10,42$

$E_4 / E_1 = 10$

Maximaler Konzentrationsfaktor im Boden über dem biegesteifen Rohr:

Max  $\lambda = \lambda_R = 1,2$

$\lambda_{RG} = 1,25$

### Schritt 4: Druckverteilung am Rohrumfang

$Q_V = \lambda_{RG} * p_E + p_V = 1,25 * 30 + 30 = 37,5 \text{ kN/m}^2$

Die Ermittlung des horizontalen Erdrucks  $q_h$  ist für den Tragfähigkeitsnachweis nicht erforderlich.

### Schritt 5: Tragfähigkeitsnachweis

Bei gegebener Scheiteldruckbruchkraft  $F_N$  (=Bruchlast) kann näherungsweise der Tragfähigkeitsnachweis geführt werden, andernfalls ist ein Spannungsnachweis erforderlich.

$F_N = 11,25 \text{ kN/m}^2$

Einbauziffer für Auflagerwinkel  $2\alpha = 90^\circ$

$E_Z = 1,91$

Tragfähigkeitsnachweis:

$\gamma = (F_N * E_Z) / (q_V * d_a) = (11,25 * 1,91) / (37,5 * 0,144) = \mathbf{3,97 > 2,2} = \text{erf } \gamma$

Die Rohrleitung DN 125 aus GG ist nach Arbeitsblatt ATV-A 127 standsicher.

## 6.3 Berechnungsparameter für Software ÖNORM B 5012

Rohrmaterialkennwerte für Berechnung:

- GGG (Druckrohre aus duktilem Guss, Tiroler Röhren- und Metallwerke)
  - i. E-Modul = 170000 N/mm<sup>2</sup>
  - ii. Zugfestigkeit = 420 N/mm<sup>2</sup>
  - iii. Wichte= 70,5 kN/m<sup>3</sup>
  - iv. Innendurchmesser= 125 mm
  - v. Aussendurchmesser= 144 mm
  - vi. Rohrwanddicke= 6 mm
  - vii. Schichtdicke Zement= 3,5 mm
  
- AZ (Hünerberg, K., et al, Handbuch für Asbestzementrohre; DIN 19 800 Asbestzementrohre, Ausgabe Jänner 1971)
  - i. E-Modul = 25000 N/mm<sup>2</sup>
  - ii. Kurzzeit.Ringbiegezugfestigkeit = 49 N/mm<sup>2</sup>
  - iii. Langzeit.Ringbiegezugfestigkeit = 24 N/mm<sup>2</sup>
  - iv. Längsbiegezugfestigkeit= 25 N/mm<sup>2</sup>
  - v. Wichte= 20 kN/m<sup>3</sup>
  - vi. Innendurchmesser= 125 mm
  - vii. Aussendurchmesser= 148 mm
  - viii. Rohrwanddicke= 11,5 mm
  - ix. PN 10
  
- Stahl (Röhrenwerk Gebr. Fuchs GmbH)
  - i. E-Modul = 206000 N/mm<sup>2</sup>
  - ii. Zugfestigkeit = 650 N/mm<sup>2</sup>
  - iii. Wichte= 77 kN/m<sup>3</sup>
  - iv. Innendurchmesser= 125 mm
  - v. Aussendurchmesser= 143 mm
  - vi. Rohrwanddicke= 4 mm
  - vii. Schichtdicke Zement= 3 mm
  - viii. PE-Umhüllung= 2 mm

- PVC (Pipelife-Rohre)
  - i. E-Modul = 3500 N/mm<sup>2</sup>
  - ii. Kurzzeit.Ringbiegezugfestigkeit = 90 N/mm<sup>2</sup>
  - iii. Langzeit.Ringbiegezugfestigkeit = 50 N/mm<sup>2</sup>
  - iv. Wichte= 13,8 kN/m<sup>3</sup>
  - v. Innendurchmesser= 118,6 mm
  - vi. Aussendurchmesser= 125 mm
  - vii. Rohrwanddicke= 3,2 mm
  - viii. Verformungsgrenzwert(Kurzzeit)= 5%
  - ix. Verformungsgrenzwert(Langzeit)= 8%
  - x. Verformungsgrenzwert(maximal)= 8%
  
- PE (EN 12666-1:2005, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Leitungen-PE; Pipelife Rohrabmessungen)
  - i. E-Modul = 1100 N/mm<sup>2</sup>
  - ii. Kurzzeit.Ringbiegezugfestigkeit = 20 N/mm<sup>2</sup>
  - iii. Langzeit.Ringbiegezugfestigkeit = 12 N/mm<sup>2</sup>
  - iv. Wichte= 9,4 kN/m<sup>3</sup>
  - v. Innendurchmesser= 110,2 mm
  - vi. Aussendurchmesser= 125 mm
  - vii. Rohrwanddicke= 7,4 mm
  - viii. PN 8
  - ix. Verformungsgrenzwert (Langzeit)= 8%
  - x. Verformungsgrenzwert (maximal)= 8%

## 6.4 Ergebnisse aus numerischer Berechnung mit „Plaxis“

In den folgenden Abbildungen werden

- die Berechnungsmodelle (deformed mesh),
- die gesamten vertikalen Verformungen (total displacements),
- die gesamten relativen Vertikalverformungen (vertical phase displacements),
- Hauptspannungen (total stresses),
- Verformungen am Rohr (displacements) und
- Biegemomente am Rohr (bending moments)

für die Belastungen

- Grabenwalze am UP Leitungszone,
- Grabenwalze am Unterbauplanum,
- LKW auf befestigter Straßenoberkante

dargestellt.

### 6.4.1 Hardening-Soil Modell, 100% Proctordichte in der Leitungszone, Rohrmaterial PE, Belastung „Grabenwalze am Planum Leitungszone“

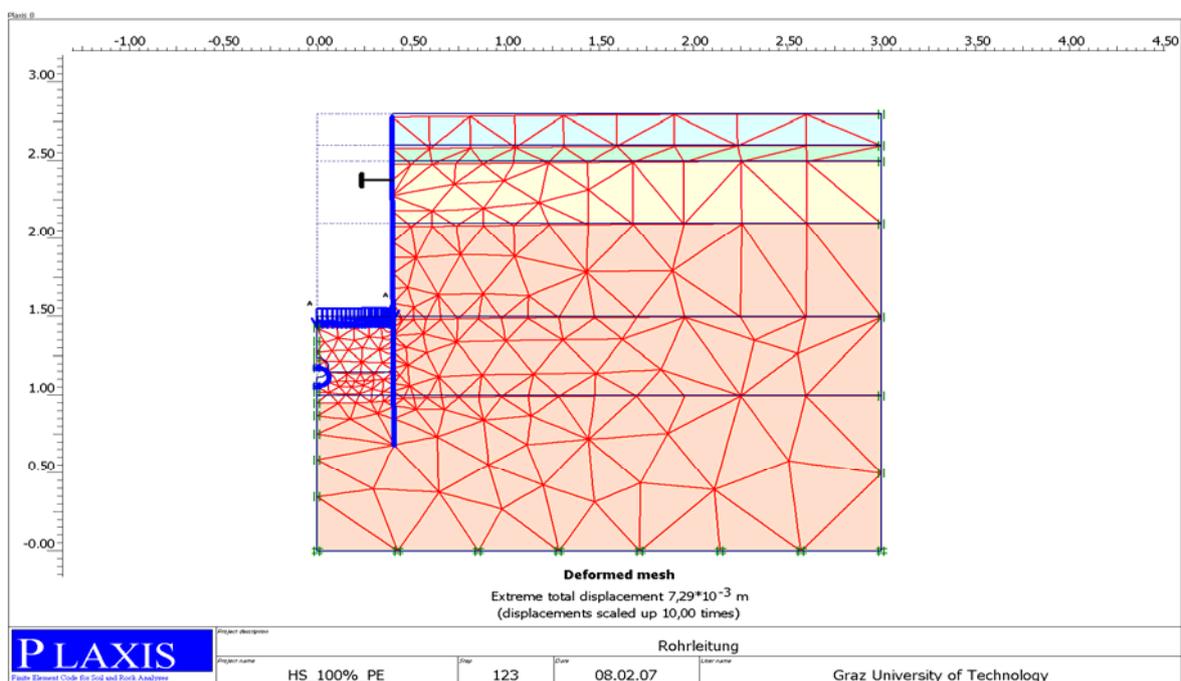


Abbildung 58: Berechnungsmodell

## Total displacements

In dieser Abbildung werden die Setzungen des Verfüllmaterials im Bereich der Künette dargestellt.

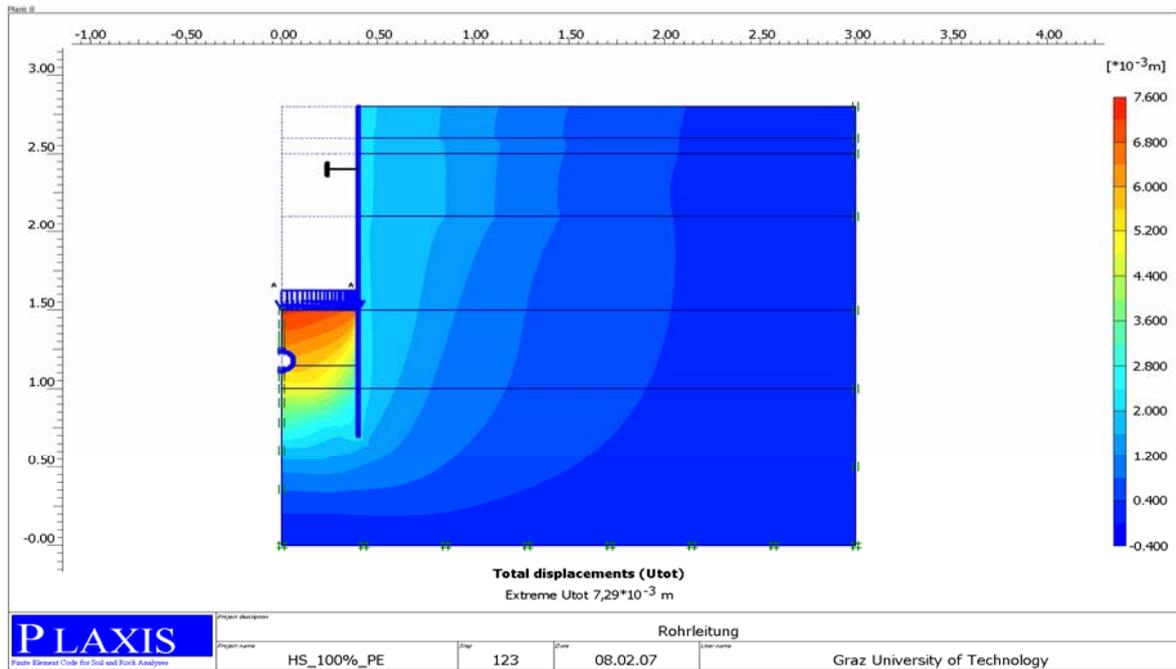


Abbildung 59: Total displacements

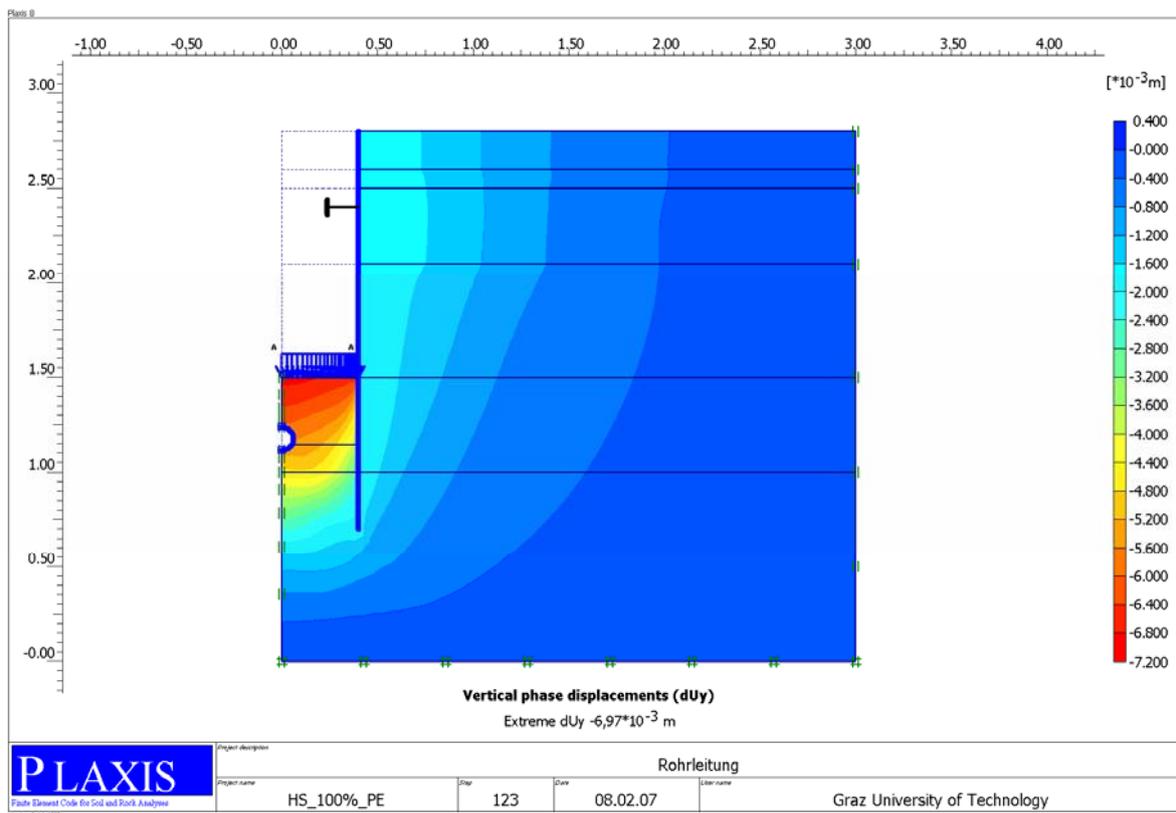


Abbildung 60: Vertical phase displacements

## Total stresses

In dieser Abbildung wird der Verlauf der Hauptspannungen dargestellt.

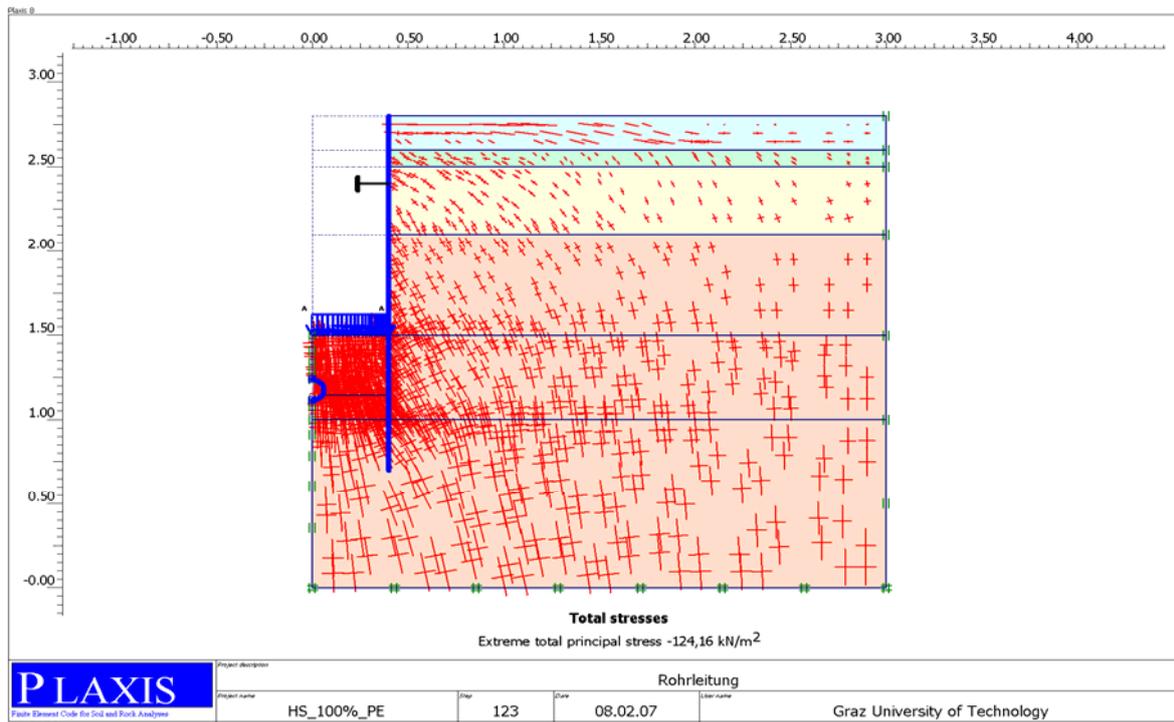


Abbildung 61: Total stresses

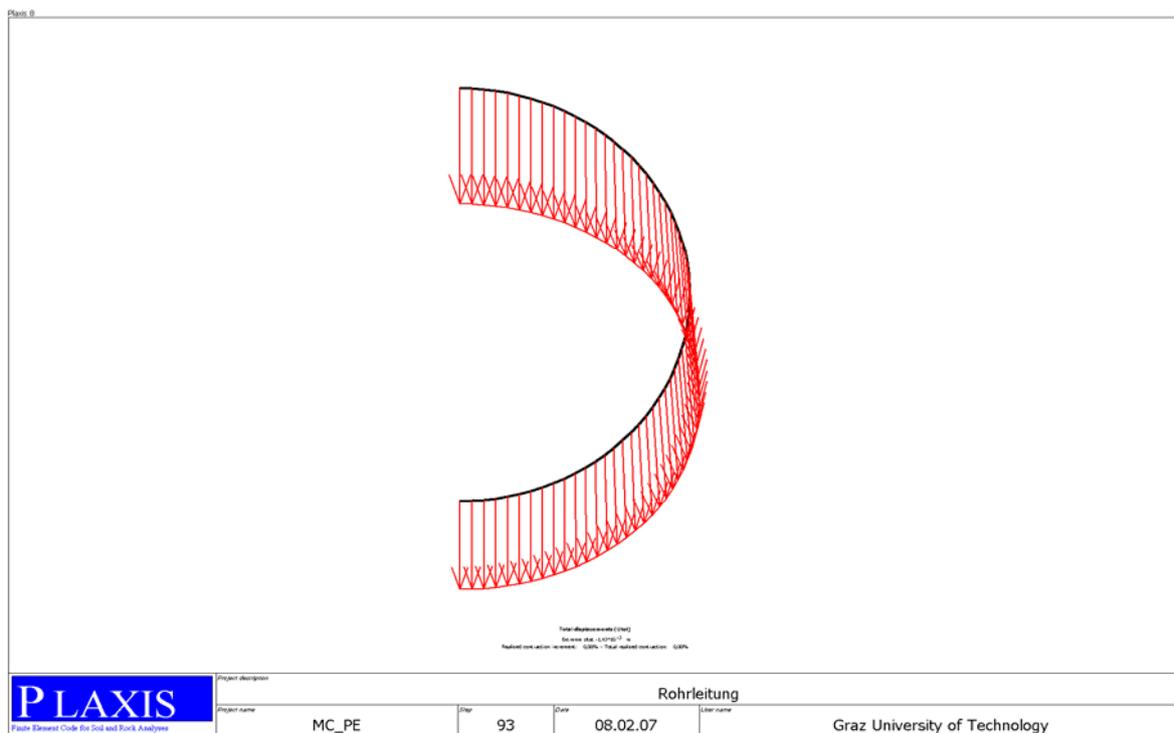


Abbildung 62: Verformungen am Rohr (Total displacements)

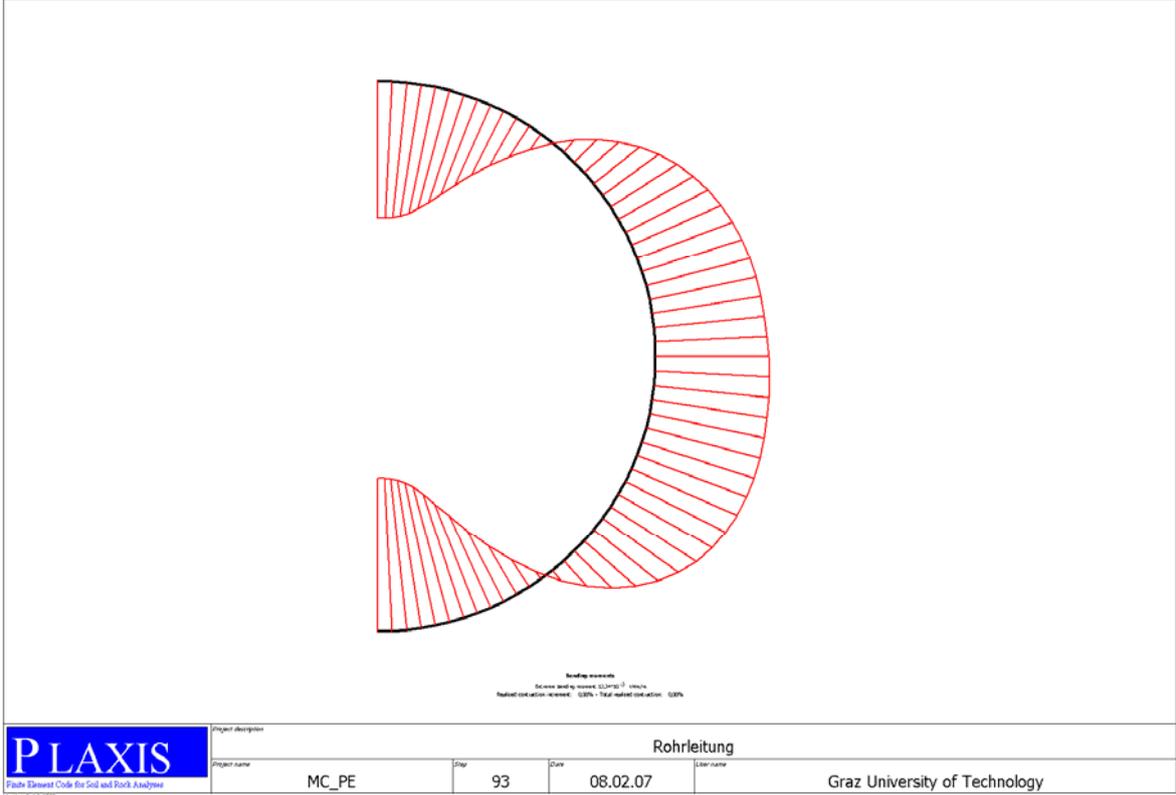


Abbildung 63 Bending moments (Biegemomente)

### 6.4.2 Hardening-Soil Modell, 100% Proctordichte in der Leitungszone, Rohrmaterial PE, Belastung „Grabenwalze am Unterbauplanum“

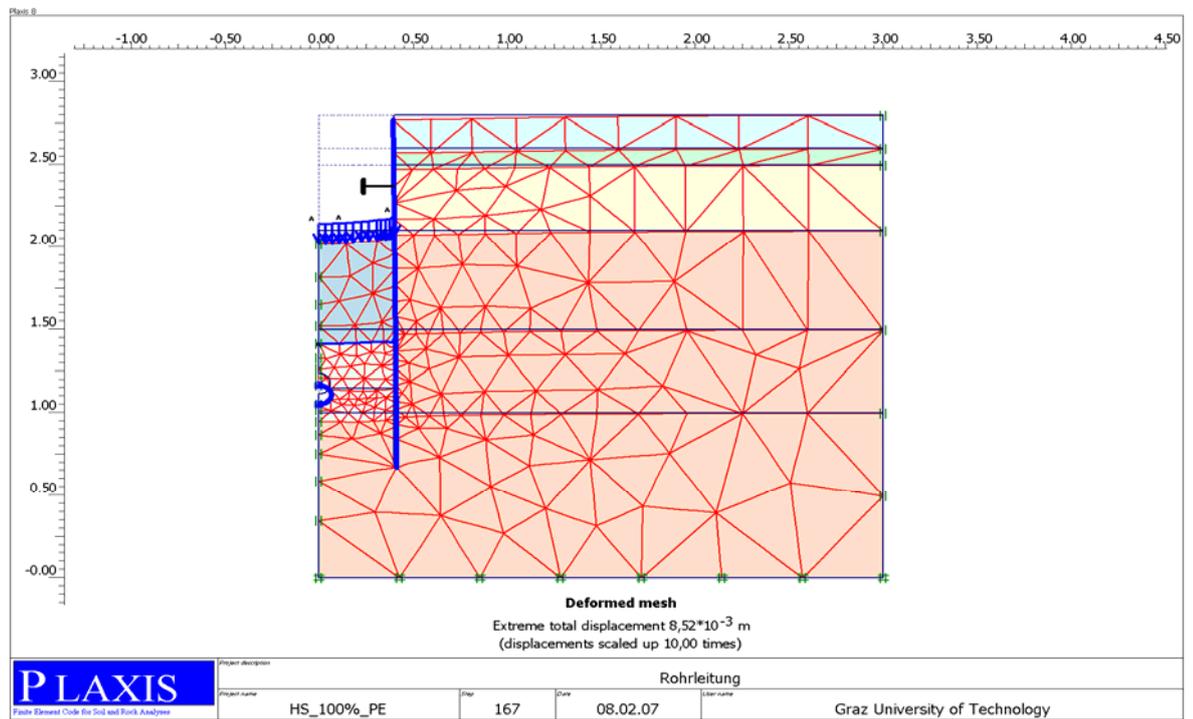


Abbildung 64: Berechnungsmodell

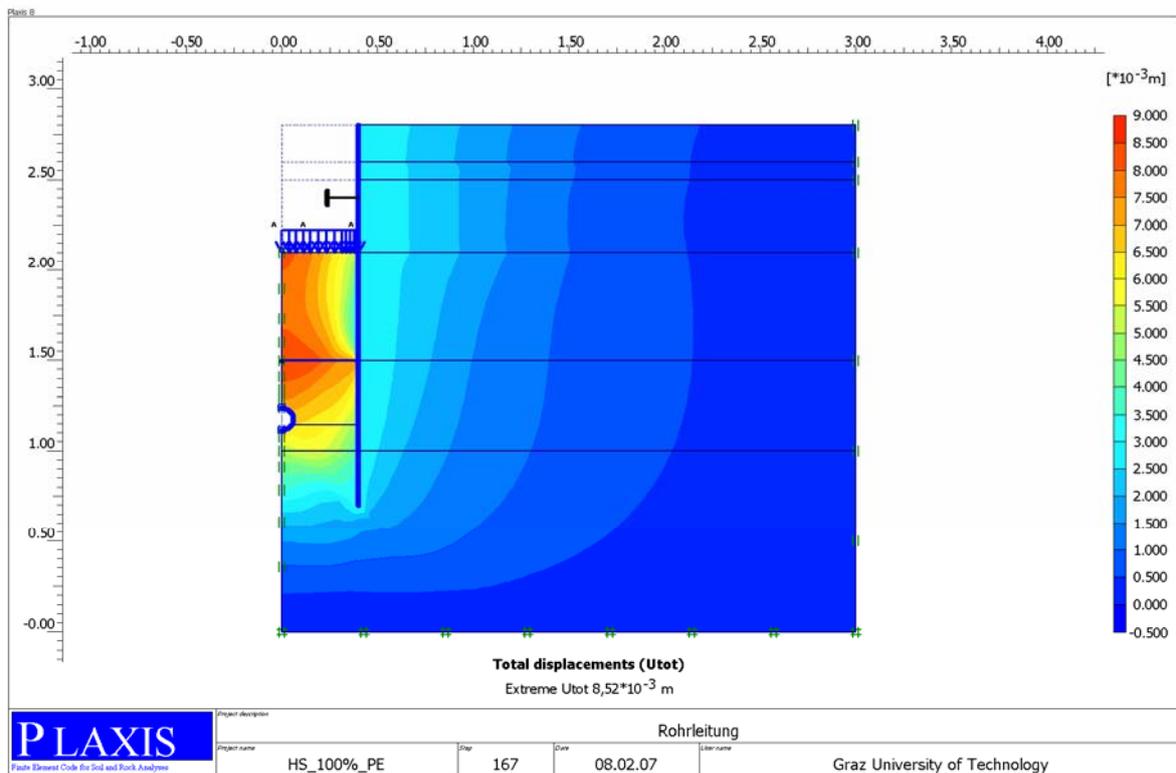


Abbildung 65: Total displacements

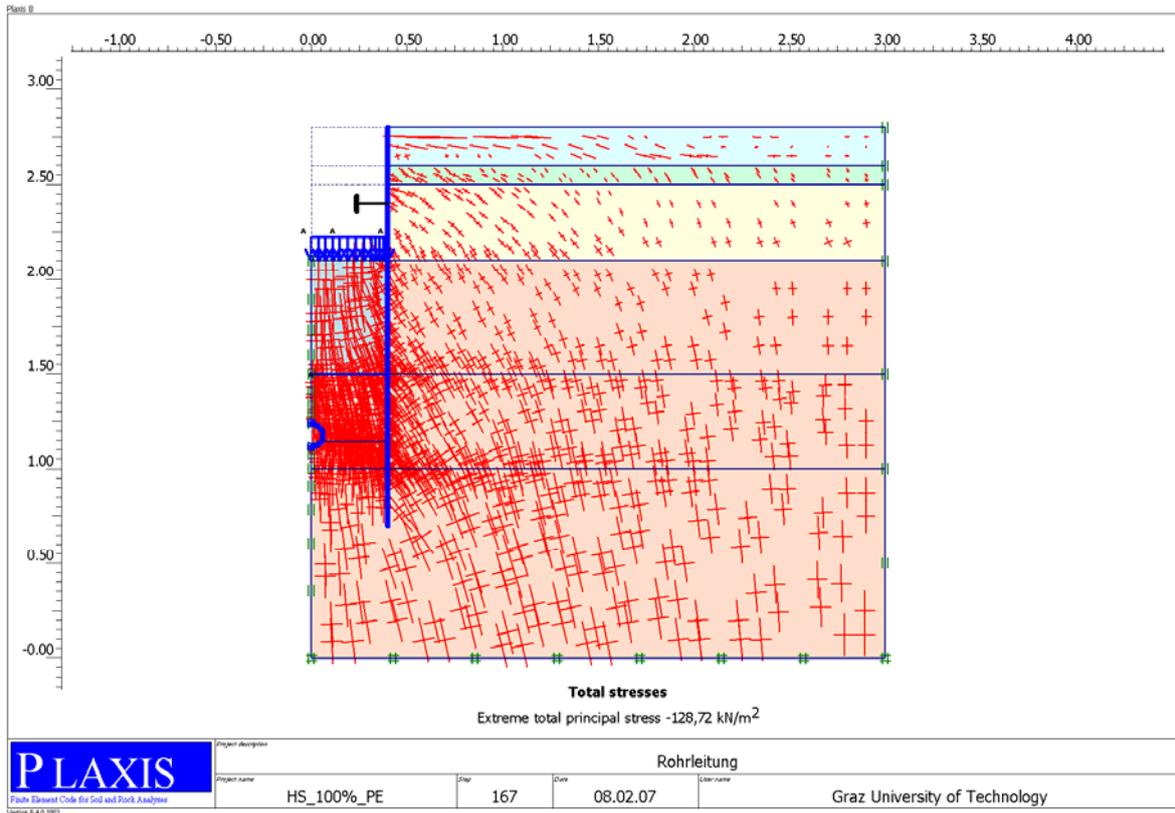


Abbildung 66: Total stresses

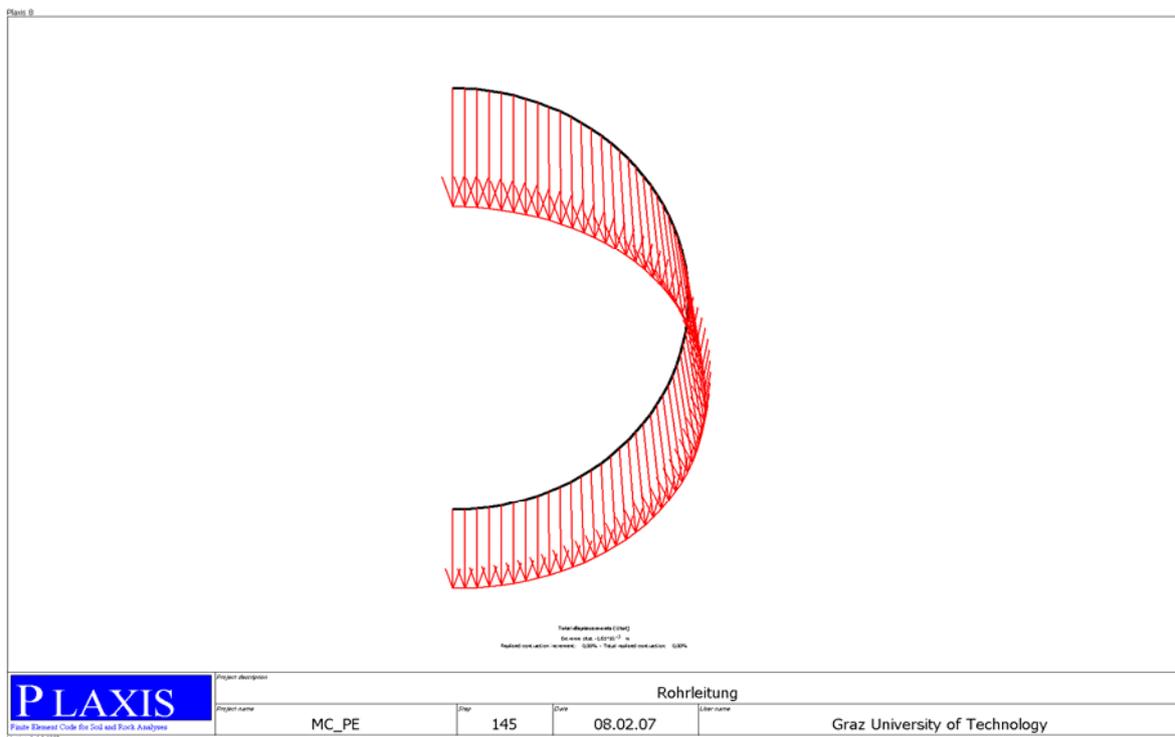


Abbildung 67: Total displacements

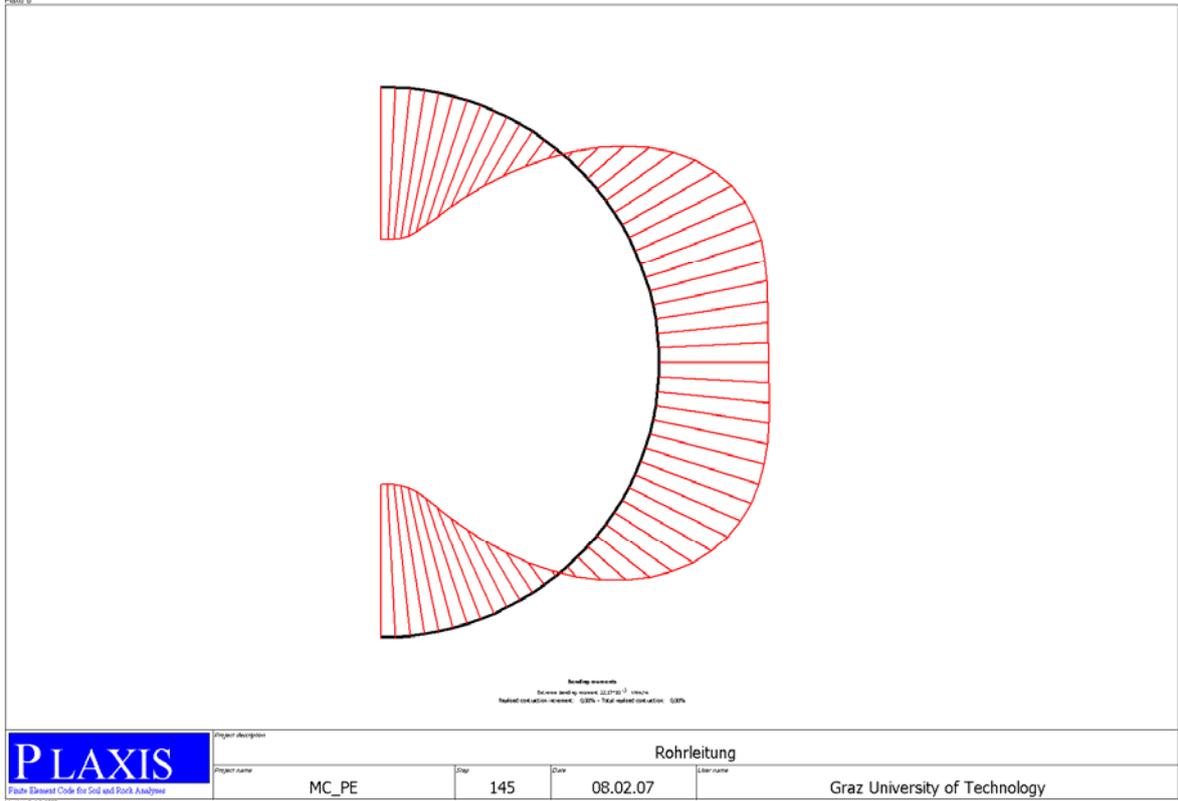


Abbildung 68 Bending moments (Biegemomente)

### 6.4.3 Hardening-Soil Modell, 100% Proctordichte in der Leitungszone, Rohrmaterial PE, Belastung „Verkehr allgemein“

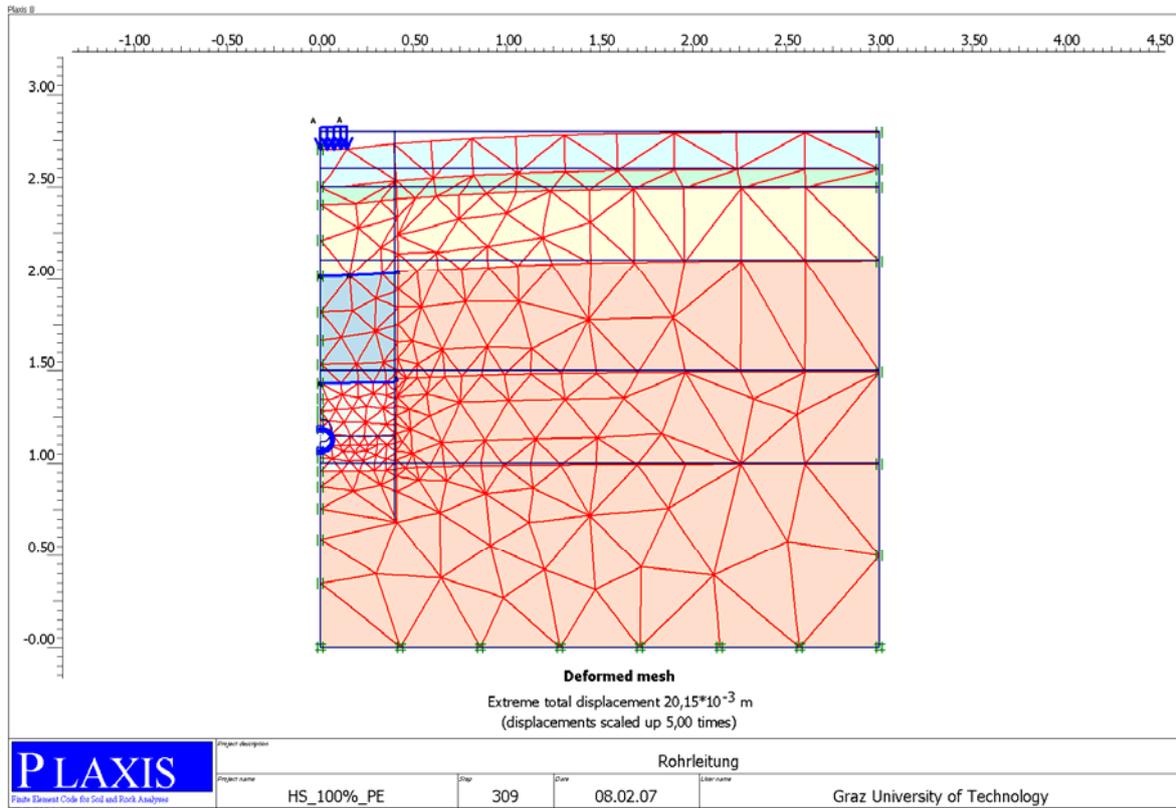


Abbildung 69: Berechnungsmodell

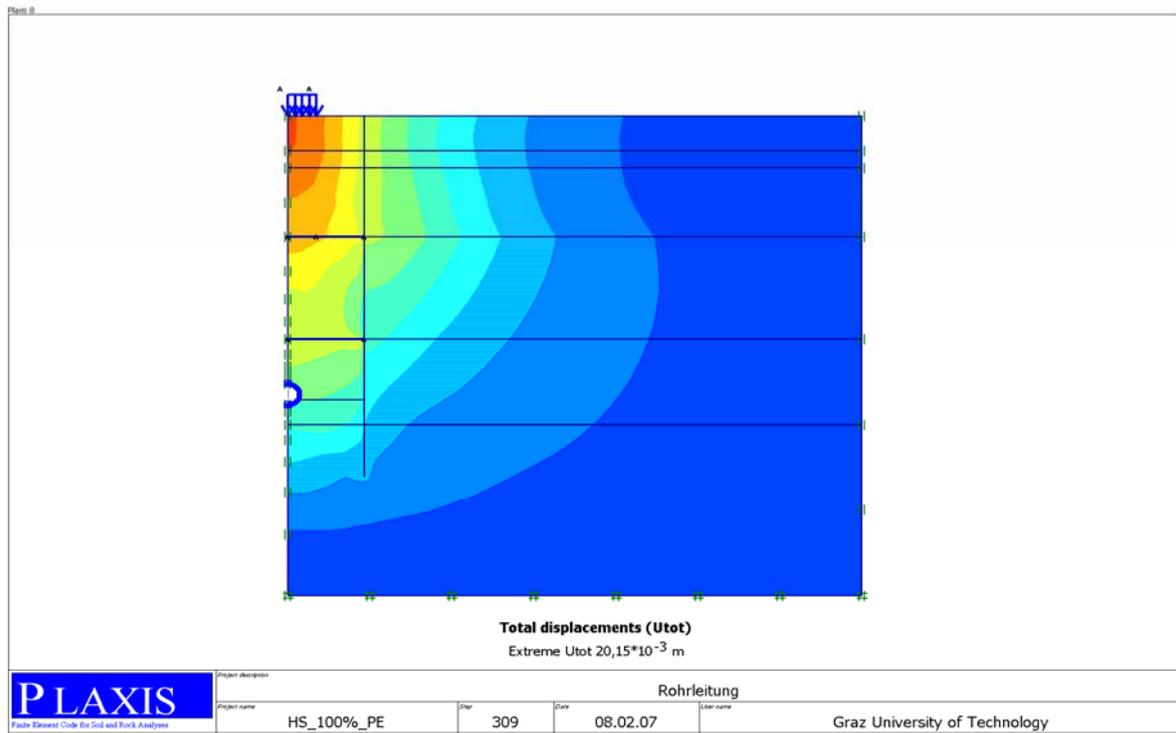


Abbildung 70: Total displacements

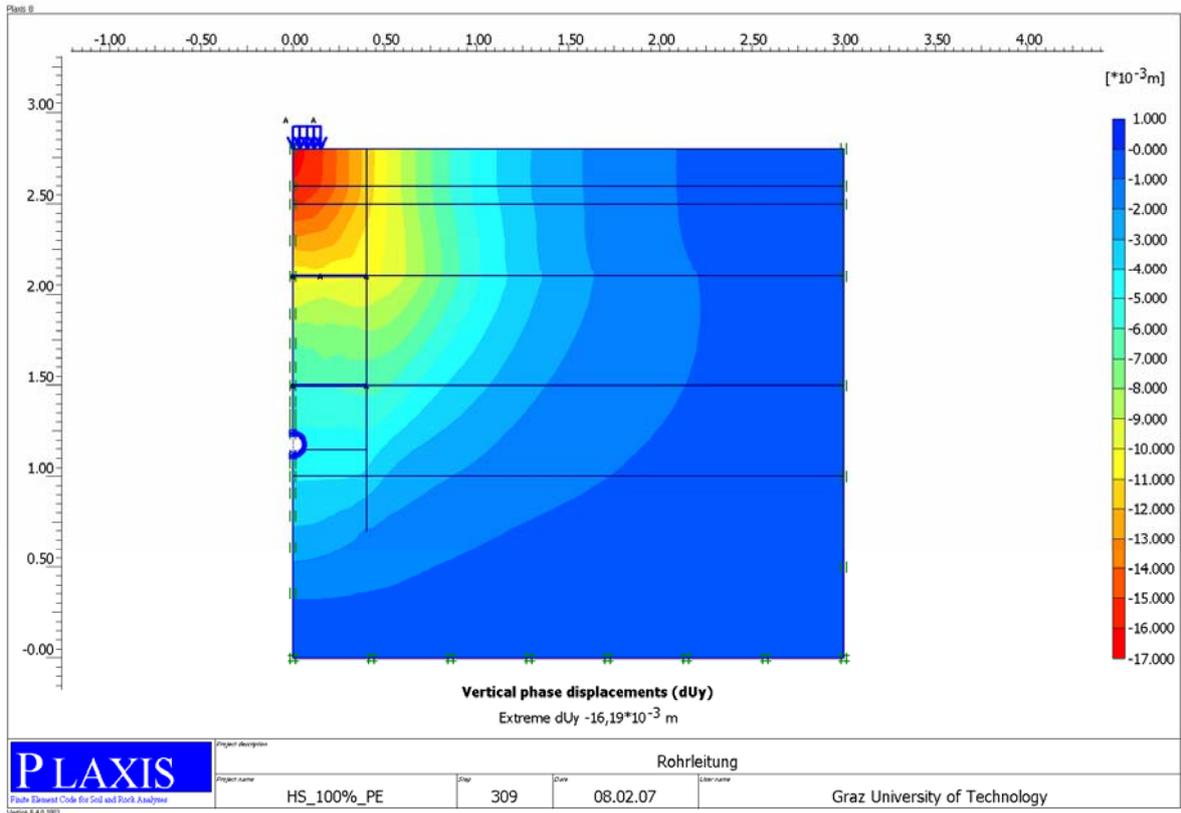


Abbildung 71: Vertical phase displacements

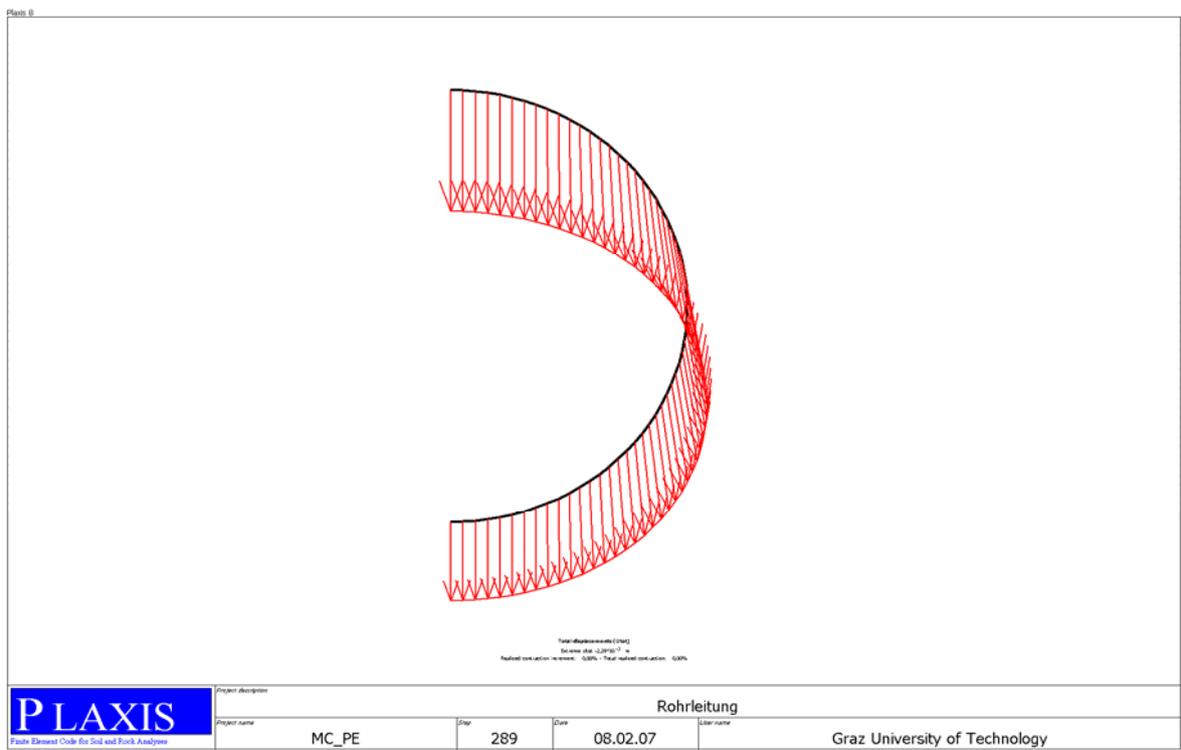


Abbildung 72: Total displacements

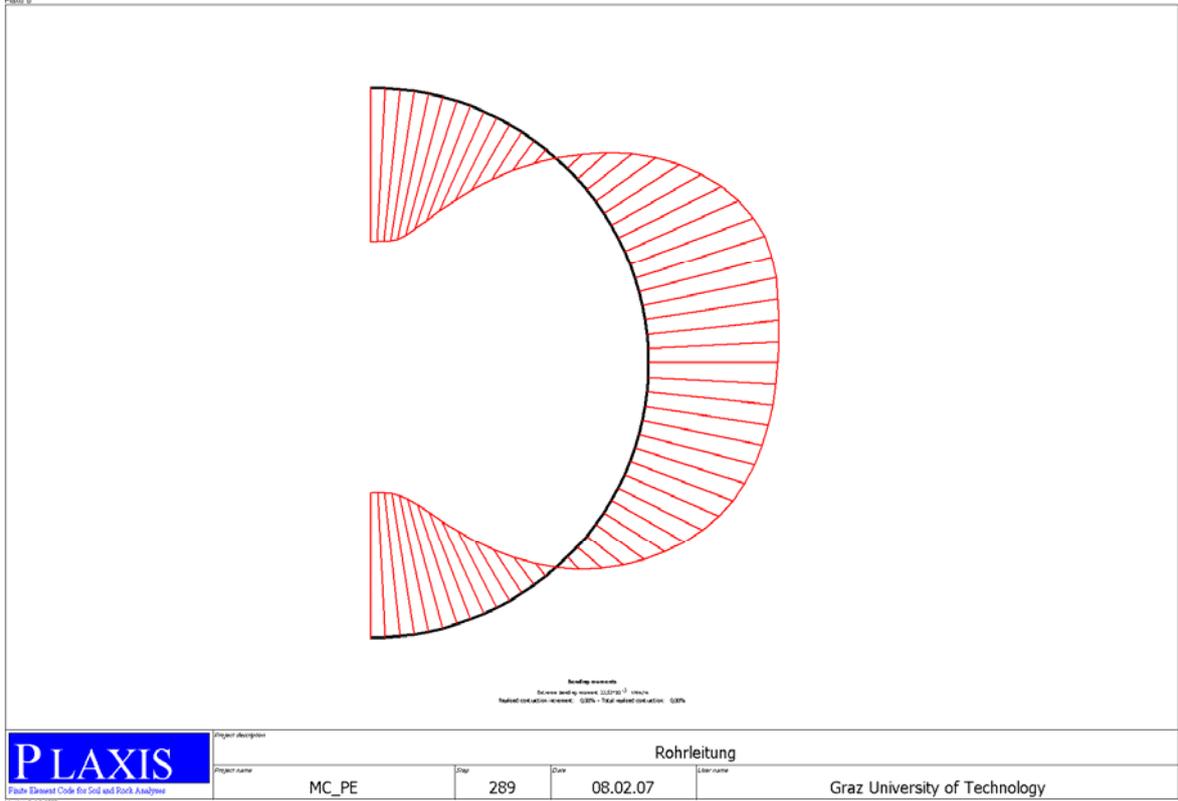


Abbildung 73: Bending moments (Biegemomente)