

# **RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE MITTELFRISTIGE REHABILITATIONSPLANUNG VON TRINKWASSERNETZEN**

Diplomarbeit zum Erwerb des  
akademischen Titels Diplomingenieur der  
Studienrichtung Bauingenieurwesen

**CHRISTIAN ECKHARDT**

Verfasst am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und  
Landschaftswasserbau der Technischen Universität Graz

Betreuer der Diplomarbeit:  
Univ.-Prof. DDipl.-Ing. Dr. techn. Harald Kainz

Mitbetreuender Assistent:  
Dipl.-Ing. Gerald Gangl

Graz, Februar 2005

## **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, Mai 2004

.....  
(Christian Eckhardt)

## **DANKSAGUNG**

Mein Dank gebührt natürlich zuallererst meiner Familie, die mir mein Studium ermöglichte und mich während der ganzen Studienzeit immer unterstützt hat.

Besonders danke ich dem Institut für Siedlungswasserbau, insbesondere

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

Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ernst Peter Kauch

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Gerald Gangl

sowie dem Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft unter seinem Vorstand

O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Gert Stadler

Weiters möchte ich mich bei Ing. Gurtner (LINZ AG) für die fachliche Unterstützung bedanken.

## **Kurzfassung**

Die mittelfristige Rehabilitationsplanung von Trinkwassernetzen wird auf Grundlage von technischen und wirtschaftlichen Aspekten durchgeführt. Der Einfluss der Rahmenbedingungen (externe Einflüsse) auf die Trinkwasserleitungen wird nicht berücksichtigt.

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Definition und Bewertung der Rahmenbedingungen, um zukünftig die mittelfristige Rehabilitationsplanung um diesen Punkt zu erweitern. Der erste Schritt war die Erarbeitung eines Kriterienkataloges, der alle Rahmenbedingungen beinhaltet, die sich auf das Trinkwassernetz bzw. auf die mittelfristige Rehabilitationsplanung auswirken. Mit Hilfe dieses Kriterienkataloges wurden Daten bezüglich der Rahmenbedingungen erarbeitet und in weiterer Folge durch zwei verschiedene Bewertungsverfahren beurteilt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Qualität der Datengrundlage eine entscheidende Rolle spielt und das Ergebnis viel stärker beeinflusst als die Art des Bewertungsverfahrens.

## **Abstract**

The medium-term rehabilitation planning of potable water supply systems one accomplishes on basis by technical and economic aspects. The influence of the basic conditions (external influences) on the drinking water pipelines is not considered.

A goal of this thesis (diploma) is the definition and evaluation of the basic conditions in order to extend in the future medium-term rehabilitation planning by this point. The first step was the development of a catalogue of criteria, which contained all basic conditions, which affect on the potable water supply system and/or medium-term rehabilitation planning. By means of this catalogue of criteria data were compiled concerning the basic conditions and judged in further consequence by two different appraisal procedures.

In summary it can be stated that the quality of the data basis plays a crucial role and much more strongly affects the result than the kind of the appraisal procedure.

---

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Ziel</b>	<b>1</b>
1.1	Veranlassung	1
1.2	Zielsetzung	1
<b>2</b>	<b>Derzeitiger Stand der Technik</b>	<b>3</b>
2.1	Allgemeines	3
2.2	Begriffsdefinitionen	3
2.2.1	Begriffsdefinitionen nach DVGW-W 401 (1997)	3
2.2.2	Begriffsbestimmungen nach ÖNORM EN 805 (2000)	5
2.3	Rehabilitationsplanung von Wasserverteilungsanlagen	5
2.4	Bewertungskriterien der mittelfristigen Rehabilitationsplanung	6
2.4.1	Technische Kriterien	6
2.4.2	Wirtschaftliche und unternehmensspezifische Kriterien	8
2.4.3	Externe Einflüsse	8
<b>3</b>	<b>Rahmenbedingungen für die Rehabilitationsplanung von Trinkwassernetzen</b>	<b>9</b>
3.1	Vorbemerkungen	9
3.1.1	Wasserverluste	9
3.1.2	Rohrmaterialien	11
3.2	Definition der Rahmenbedingungen (externen Einflüsse)	14
3.3	Externe Einflüsse als Schadenverursacher	15
3.3.1	Bodenverhältnisse	15
3.3.2	Streustrom	29
3.3.3	Künstliche Bodenbewegungen durch Baumaßnahmen im Bereich der Rohrleitungen und erhöhter Verkehrsbelastung	31
3.4	Externe Einflüsse als Auswirkungen des Schadens	32
3.4.1	Schäden an der Straße	33
3.4.2	Schäden an der Straßenbahntrasse	34
3.4.3	Schäden an Einbauten	34
3.4.4	Schäden an Gebäuden	37
3.4.5	Ausspülung von Schadstoffen	38
3.4.6	Imageschaden	39
3.5	Externe Einflüsse auf die Durchführung der Rehabilitationsmaßnahmen	40
3.5.1	Lage der Leitung	41
3.5.2	Zugänglichkeit	43
3.5.3	Koordinierung der Bautätigkeit mit Fremdbaumaßnahmen	44

3.5.4	Einsparung / Kosten durch Verschiebung der Sanierung nach vorne / hinten bezüglich Abschreibungen , Investitionskosten	45
3.5.5	Interne Kosten der Baumaßnahme	45
3.5.6	Auswirkungen der Baumaßnahme auf die Umgebung	46
<b>4</b>	<b><i>Erarbeitung eines Bewertungsschemas</i></b>	<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>48</b>
<b>4.2</b>	<b>Einteilung der externen Einflüsse</b>	<b>49</b>
4.2.1	Positive Wirkung externer Einflüsse	49
4.2.2	Negative Wirkung externer Einflüsse	49
<b>4.3</b>	<b>Kriterienkatalog</b>	<b>50</b>
<b>4.4</b>	<b>Bewertungsverfahren</b>	<b>56</b>
4.4.1	Direkte Bewertung der Kriterien	56
4.4.2	Bewertung der externen Einflüsse	58
<b>4.5</b>	<b>Analyse der Bewertung</b>	<b>68</b>
4.5.1	Allgemeines	68
4.5.2	Analyse der Bewertungsverfahren	68
<b>5</b>	<b><i>Bewertung von Leitungsabschnitten</i></b>	<b>72</b>
<b>5.1</b>	<b>Erfassung der Daten</b>	<b>73</b>
<b>5.2</b>	<b>Ergebnisse der direkten Bewertung der Kriterien aus dem Kriterienkatalog</b>	<b>74</b>
<b>5.3</b>	<b>Ergebnisse der verknüpften Bewertung der externen Einflüsse</b>	<b>76</b>
<b>5.4</b>	<b>Vergleich und Auswertung der Ergebnisse</b>	<b>78</b>
<b>6</b>	<b><i>Zusammenfassung und Ausblick</i></b>	<b>80</b>
<b>7</b>	<b><i>Literaturverzeichnis</i></b>	<b>81</b>
<b>8</b>	<b><i>Anhang</i></b>	<b>84</b>
<b>8.1</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>84</b>
<b>8.2</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>85</b>

# 1 Veranlassung und Ziel

## 1.1 Veranlassung

Die Erhaltung der Wassernetze ist Voraussetzung für die störungsarme Bereitstellung von Trinkwasser. Große Teile der heute genutzten Versorgungsnetze haben wir „geerbt“ und es ist unsere Aufgabe, diese Netze zu erhalten und zu erweitern, um sie an nachfolgende Generationen in einem guten Zustand zu übergeben.

Durch eine Vielzahl von Bedingungen, deren Einfluss bisher nicht uneingeschränkt bestimmt werden kann, verändert sich der Zustand des Wassernetzes von Netzabschnitt zu Netzabschnitt unterschiedlich schnell.

Die mittelfristige Rehabilitationsplanung ermöglicht es, vorrangig zu erneuernde Leitungsabschnitte anhand von technischen und wirtschaftlichen Erneuerungskriterien zu definieren.

Die Dringlichkeit der Erneuerung eines Leitungsabschnittes ist das Ergebnis der Bewertung der

- Entwicklung der Kosten,
- Entwicklung der Schadensrate,
- Entwicklung der Wasserverluste und
- technischen Nutzungsdauer.

Externe Einflüsse werden in diesem Bewertungssystem nicht erfasst. Die Summe der externen Einflüsse bilden die Rahmenbedingungen, denen das Wasserversorgungsnetz ausgesetzt ist.

Die Frage stellt sich, welche externen Einflüsse auf Trinkwassernetze wirken und wie stark sie Einfluss auf den Rehabilitationszeitpunkt nehmen.

Man sollte daher die mittelfristige Rehabilitationsplanung um Bewertungskriterien, die externe Einflüsse berücksichtigen, erweitern.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel ist die Erarbeitung eines Kriterienkataloges, der alle Rahmenbedingungen beinhaltet, die sich auf das Trinkwassernetz bzw. auf die mittelfristige Rehabilitationsplanung auswirken. Mit Hilfe dieser Kriterien sollen Leitungsstränge bewertet werden, um Aufschluss über den Rehabilitationsbedarf dieser Leitungen zu geben.

Grundlage dafür ist die Definition und Gliederung aller relevanten Rahmenbedingungen.

Erdverlegte Rohrleitungen sind einer Vielzahl an Einflüssen ausgesetzt. Um externe Einflüsse als Rehabilitationskriterien verwenden zu können, müssen sie bestimmten Auswirkungen zuordenbar sein und die Auswirkungen müssen größenmäßig beurteilbar sein.

Eine Verknüpfung der technischen und wirtschaftlichen Kriterien mit Kriterien, die auf externen Einflüssen basieren, wird im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht durchgeführt.

Das heißt, die Bewertung der Leitungsstränge erfolgt ausschließlich mit den in dieser Arbeit erstellten Kriterien.

## **2 Derzeitiger Stand der Technik**

### **2.1 Allgemeines**

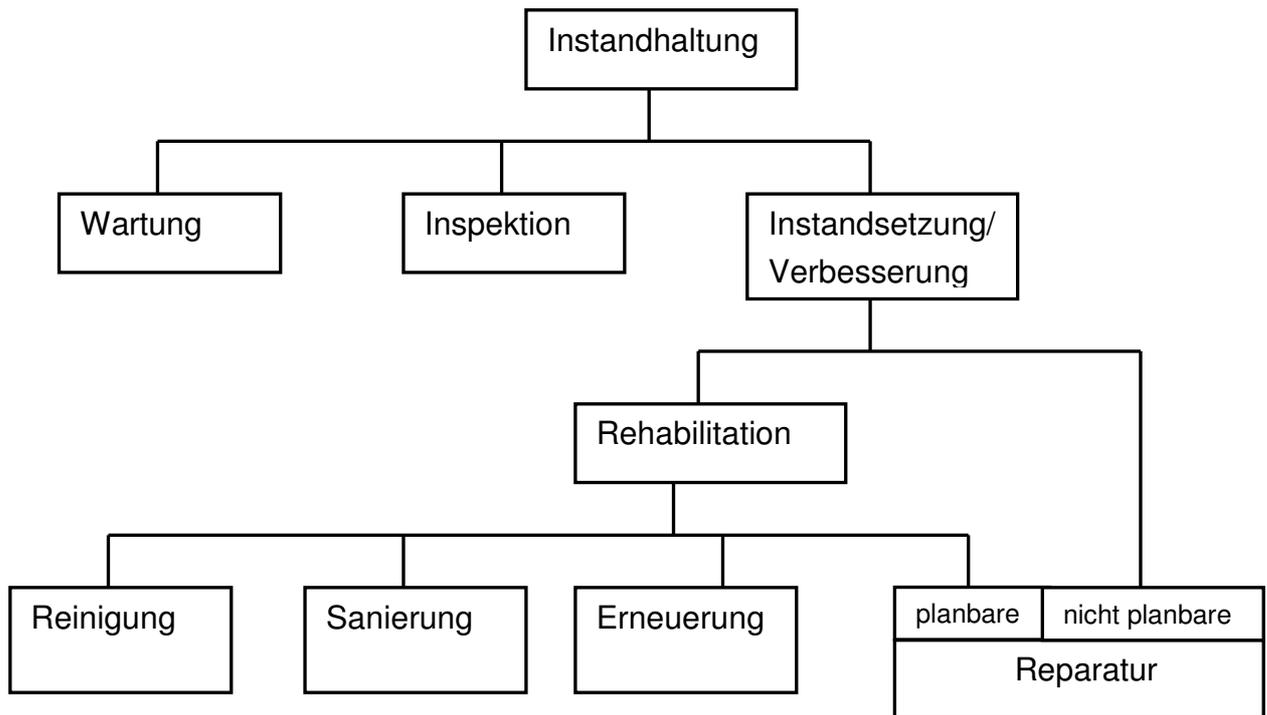
Die Funktion und Erhaltung des Wasserversorgungsnetzes wird durch kontinuierliche Instandhaltungsmaßnahmen gesichert. Diese Tätigkeiten sind durch eine umfassende Planung vorzubereiten.

### **2.2 Begriffsdefinitionen**

#### **2.2.1 Begriffsdefinitionen nach DVGW-W 401 (1997)**

- Instandhaltung  
Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit sowie zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes der Verteilungsanlagen.  
Die Maßnahmen schließen die Abstimmung der Instandhaltungsziele mit den Unternehmenszielen und die Festlegung entsprechender Instandhaltungsstrategien ein.
- Inspektion  
Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes der Verteilungsanlagen.
- Wartung  
Maßnahmen zur Bewahrung der Funktionsfähigkeit der Verteilungsanlagen.
- Instandsetzung  
Maßnahmen zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit der Verteilungsanlagen.  
Diese Maßnahmen schließen Reparatur und Rehabilitation von Verteilungsanlagen ein.
- Rehabilitation  
Maßnahmen zur Erhaltung oder Verbesserung der Funktionsfähigkeit bestehender Wasserverteilungsanlagen. Sie schließt alle Reinigungs-, Sanierungs- und Erneuerungsmethoden sowie planbare Reparaturen ein.

Tab. 2.1 Tätigkeiten der Instandhaltung (DVGW – W 400-3, 2004)



- **Rehabilitationsrate**  
Anteil der jährlichen Rehabilitationslänge bezogen auf eine Leitungsgruppe oder das gesamte Wasserrohrnetz.
- **Reparatur**  
Schadensbehebung durch Einzelmaßnahme.
- **Sanierung**  
Ertüchtigung einer vorhandenen Rohrleitung mit einer nicht selbsttragenden Auskleidung (z. B. Zementmörtel-Auskleidung, Schlauchrelining).
- **Erneuerung**  
Ersatz einer vorhandenen Leitung mit Schwachstellen durch Verlegung einer neuen Leitung.
- **Schaden**  
Eine lokale unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit - in aller Regel mit Wasseraustritt verbunden.  
Führt meist zur unmittelbaren Instandsetzung durch Reparatur.

- Schadensrate  
Jährliche Anzahl der Schäden je km Rohrleitung. Bei Hausanschlüssen wird die Schadensrate auf die Anzahl der Hausanschlüsse bezogen.
- Leitungsumlegung  
Ersatz einer vorhandenen, funktionsfähigen Leitung durch Verlegung einer neuen Leitung auf neuer Trasse; in der Regel infolge einer Fremdbaumaßnahme.
- Funktionsfähigkeit  
Gesicherte Verteilung von Trinkwasser in ausreichender Menge, mit erforderlichem Druck und in einwandfreier Qualität.

### **2.2.2 Begriffsbestimmungen nach ÖNORM EN 805 (2000)**

- Hauptleitung  
Wasserleitung mit Hauptverteilungsfunktion innerhalb eines Versorgungsgebietes, üblicherweise ohne direkte Verbindung zum Verbraucher.
- Versorgungsleitung  
Wasserleitung, die die Hauptleitung mit der Anschlussleitung verbindet.
- Anschlussleitung  
Wasserleitung, welche das Wasser von der Versorgungsleitung zum Verbraucher liefert.

### **2.3 Rehabilitationsplanung von Wasserverteilungsanlagen**

Bei der Rehabilitationsplanung unterscheidet man die strategische Langzeitplanung und die mittelfristige Rehabilitationsplanung.

#### **Strategische Langzeitplanung:**

Ziel der strategischen Langzeitplanung ist, für einen Zeitraum von 10 -20 Jahren

- die Versorgungsziele zu bestimmen,
- den gesamten Rehabilitationsbedarf aus dem Ist/Soll-Vergleich abzuleiten,
- die Finanzierungsmöglichkeiten zu prüfen (DVGW-W 401, 1997).

### **Mittelfristige Rehabilitationsplanung:**

Die mittelfristige Rehabilitationsplanung ist die Umsetzung der strategischen Planung in differenzierte Jahrespläne, z.B. in 5-Jahreszeiträumen.

Sie beinhaltet:

- Differenzierung der strategischen Rehabilitationsrate  
Es ergeben sich unterschiedliche spezifische Rehabilitationsraten insbesondere im Hinblick auf Planungszeitraum, räumliche Verteilung der Schadensraten und Anlagegruppen (z.B. Rohrmaterialien, Alter)
- Anlagenbezogene Festlegung von versorgungstechnisch zulässigen Schadensraten zur Erreichung der Zielgröße
- Erstellung einer Prioritätenliste
- Generelle Vorauswahl von Rehabilitationstechnologie und Materialien
- Koordinierung mit Baumaßnahmen Dritter
- Soll/Ist-Vergleich von Anlagenzustand, Schadensraten, Wasserverlusten, Restnutzungsdauern
- Ermittlung des Finanzbedarfs für Rehabilitationsprojekte

Das Ergebnis der mittelfristigen Rehabilitationsplanung ist ein Rehabilitationsprogramm. Es stellt einen Übersichtsplan von einzelnen Maßnahmen dar, der nach Prioritäten geordnet sein sollte (DVGW–W 400-3, 2004).

Nachstehend werden die derzeit üblichen Bewertungskriterien zur Beurteilung der Notwendigkeit von Maßnahmen zur Rehabilitation von Rohrleitungen, nach DVGW–W 401 (1997), dargestellt.

Anzumerken ist, dass laut DVGW–W 401 unter externen Einflüssen ausschließlich Fremdbaumaßnahmen zu verstehen sind.

Im Sinne dieser Diplomarbeit sind externe Einflüsse die Gesamtheit der Wechselwirkungen zwischen dem Wasserversorgungsnetz und der Umwelt.

## ***2.4 Bewertungskriterien der mittelfristigen Rehabilitationsplanung***

### ***2.4.1 Technische Kriterien***

Quantifizierbare technische Kriterien orientieren sich an Vorgaben aus gesetzlichen Vorschriften, Normen und Richtlinien:

**Mindestversorgungsdruck:**

Die nach dem DVGW-Merkblatt W 403 (1988) vorgegebenen Mindestversorgungsdrücke für bestehende und neue Netze sind einzuhalten.

**Wasserqualität:**

Die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung sind einzuhalten.

Beeinträchtigungen der Wasserqualitäten können durch Reaktionen des Wassers mit dem Rohrwerkstoff oder Inkrustationen entstehen.

Parameter der Wasserqualität sind bakterielle Werte, sensorische Kenngrößen (Geruch, Geschmack), chemische Werte (Metallkonzentration) und physikalische Werte (Trübung, Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Redox-Potential).

**Wasserverluste:**

Es gelten die Richtwerte nach DVGW-Merkblatt W 392 (2003).

**Schadensrate:**

Die Häufigkeit von Schäden an Leitungen, Armaturen und Hausanschlüssen sollten angemessene, werkstoff- und unternehmensspezifische Richtwerte nicht überschreiten. Die Schadensrate wird aus einer möglichst detaillierten Schadensstatistik (s. DVGW Merkblatt W 395, 1998) leitungsgruppen- und netzbezogen abgeleitet.

**Rohrwerkstoffe:**

Früher eingesetzte Rohrwerkstoffe, wie Blei oder Asbestzement, können gesonderte Rehabilitationsprogramme erforderlich machen.

**Netzzustand:**

Schäden und Schwachstellen charakterisieren den Netzzustand. Sie müssen durch das Unternehmen auch unter den Gesichtspunkten der Funktionsfähigkeit, der Gefährdung anderer Anlagen und der Wirtschaftlichkeit bewertet werden. Die Zustandsbeurteilung der Verteilungsanlagen muss insbesondere nachstehende Punkte berücksichtigen:

- konstruktionsbedingte Schwachstellen bei der Verbindung (z. B. Stemmuffen) und Armaturen (z. B. Spindeldichtungen, Schließfunktion),
- schlechter Leitungszustand (z. B. fehlende Schutzschichtbildung, Innenkorrosion, Inkrustation, Ablagerung, mangelhafte Rohrumhüllung, Außenkorrosion, Bruchanfälligkeit),
- unzureichende Festigkeit von Rohrwerkstoffen unter äußerer und innerer Beanspruchung,
- unzureichender Versorgungsdruck.

### **2.4.2 Wirtschaftliche und unternehmensspezifische Kriterien**

#### **Wirtschaftlichkeit:**

Hohe und steigende Wartungs- und Reparaturkosten können Anlass für Rehabilitationsmaßnahmen von Wasserverteilungsanlagen sein, so unter anderem durch:

- Aufwendungen für Spülung, Lecksuche, Armaturenwartung und Reparaturen,
- besondere Vorhaltungskosten für Ersatzteile (z.B. bei ungebräuchlichen Nennweiten oder nicht mehr verfügbaren Rohrwerkstoffen),
- Kosten für Wasserverluste.

Weitere wirtschaftliche Kriterien für die Erneuerung von Leitungen können Kosteneinsparungen bei Maßnahmen im Zuge anderer Tiefbaumaßnahmen sein.

#### **Versorgungsimage:**

Beurteilungskriterien für das Versorgungsimage können sein:

- Auswertungen über Anzahl und Tendenz von Kundenreklamationen ,
- Häufigkeit und Dauer von Versorgungsunterbrechungen,
- häufige oder sehr erschwerte Aufgrabungen in besonderen Bereichen (z.B. Fußgängerzonen, Fernverkehrsstraßen),
- Koordinierung von Aufgrabungen für verschiedene Ver- und Entsorgungsleitungen,
- öffentlichkeitswirksame Rohrschäden mit Folgekosten,
- häufige Beeinträchtigung der Wasserqualität.

Anzumerken ist, dass die Anzahl der Schäden, die aus wirtschaftlichen Gründen zum Ersatz führen über dem von der Bevölkerung toleriertem Maß liegen.

### **2.4.3 Externe Einflüsse**

Als Folgemaßnahmen von Tiefbauarbeiten (z.B. Straße, Verkehr, Kanal) sind oft Leitungsumlegungen notwendig (s. DVGW-Merkblatt W 380, 1993). Fremdbaumaßnahmen können Anlass für vorgezogene Rehabilitationsmaßnahmen sein. Dafür können betriebswirtschaftliche und übergeordnete Gründe gegeben sein.

Die Definition der externen Einflüsse nach DVGW-W 401 (1997) stimmt nicht mit der Definition der externen Einflüsse in dieser Diplomarbeit überein.

Im Sinne dieser Diplomarbeit sind externe Einflüsse die Gesamtheit der Wechselwirkungen zwischen dem Wasserversorgungsnetz und der Umwelt.

## **3 Rahmenbedingungen für die Rehabilitationsplanung von Trinkwassernetzen**

### **3.1 Vorbemerkungen**

In welchem Ausmaß sich die Rahmenbedingungen auf die mittelfristige Rehabilitationsplanung auswirken, hängt nicht unwesentlich mit der Größe des Wasserverlustes und den für die Wasserrohrleitungen verwendeten Materialien zusammen.

#### **3.1.1 Wasserverluste**

Wasserverluste verursachen unnötige Kosten und werden aufgrund immer knapper werdender Ressourcen in der Zukunft noch genauer betrachtet. In vielen Wasserrohrnetzen geht ein bedeutender Prozentsatz während des Transportes verloren.

Der Wasserverlust selbst ist kein externer Einfluss. Die Menge des Wasserverlustes ist aber ein wesentlicher Faktor für die Größe der möglichen Folgeschäden. Daher muss dieser Punkt bei der Betrachtung der externen Einflüsse miteinbezogen werden.

Natürlich widersprechen Wasserverluste den heutigen Vorstellungen eines sinnvollen Umganges mit Trinkwasser im Rahmen einer vernünftigen Gesamtökologie.

##### **3.1.1.1 Begriffsbestimmungen nach ÖVGW W63, (1993)**

- Gesamtwasserverlust  
Differenz der Messwerte zwischen dem in ein Versorgungsnetz eingespeisten und dem an den Verbraucher über die Anschlussleitungen abgegebenen Wasservolumen einschließlich des gezählten Werkeigenverbrauchs.
- Tatsächlicher Wasserverlust (echter Wasserverlust)  
Jener Teil des Gesamtwasserverlustes, der durch Mängel oder Schäden am Versorgungsnetz und den Anschlussleitungen verursacht wird.
- Scheinbarer Wasserverlust (unechter Wasserverlust)  
Jener Teil des Gesamtwasserverlustes, der auf Messfehlern der eingebauten Messeinrichtungen beruht oder infolge von fehlenden Messungen bei der Wasserabgabe entsteht.

- **Betriebsspezifischer Wasserverlust**  
Die für ein Unternehmen kennzeichnende Größe der Wasserverluste. Er setzt sich zusammen aus den tatsächlichen Verlusten und einem Teil der scheinbaren Verluste.
- **Ursache von Wasserverlusten**  
Der tatsächliche Wasserverlust entsteht durch Ausströmen von Wasser bei Mängeln und Schäden an Leitungen, Armaturen und sonstigen Anlagen durch Rohrbrüche, undichte Verbindungen, Korrosion etc.  
Der scheinbare Wasserverlust resultiert hauptsächlich aus Messfehlern und Messungenauigkeiten, sowie ungemessenen Netzabgaben.

#### 3.1.1.2 Richtwert für die Beurteilung von Wasserverlusten

Zur Ermittlung des Gesamtwasserverlustes werden die Abgabevolumina mittels Stichtagablesung bzw. bei größeren Verteilnetzen mittels rollierenden Ablesungen ermittelt. Der Gesamtwasserverlust ist die Differenz der eingespeisten Wasservolumina zu den gemessenen Abgabevolumina.

Der Richtwert für den prozentuellen Wasserverlust beträgt 12 %, dieser Richtwert sollte jedoch nur für überschlägige Berechnungen Anwendung finden.

Der prozentuelle Wasserverlust ist das Verhältnis des betriebsspezifischen Wasserverlustes zu der Netzeinspeisung. Aussagen über den Zustand des Wasserversorgungsnetzes lassen die Angabe von Wasserverlusten in Prozentwerten nur bedingt zu, da die Versorgungsstruktur nicht berücksichtigt wird. Es ist aber möglich, die Veränderung der Güte des bestehenden Netzes zu erkennen.

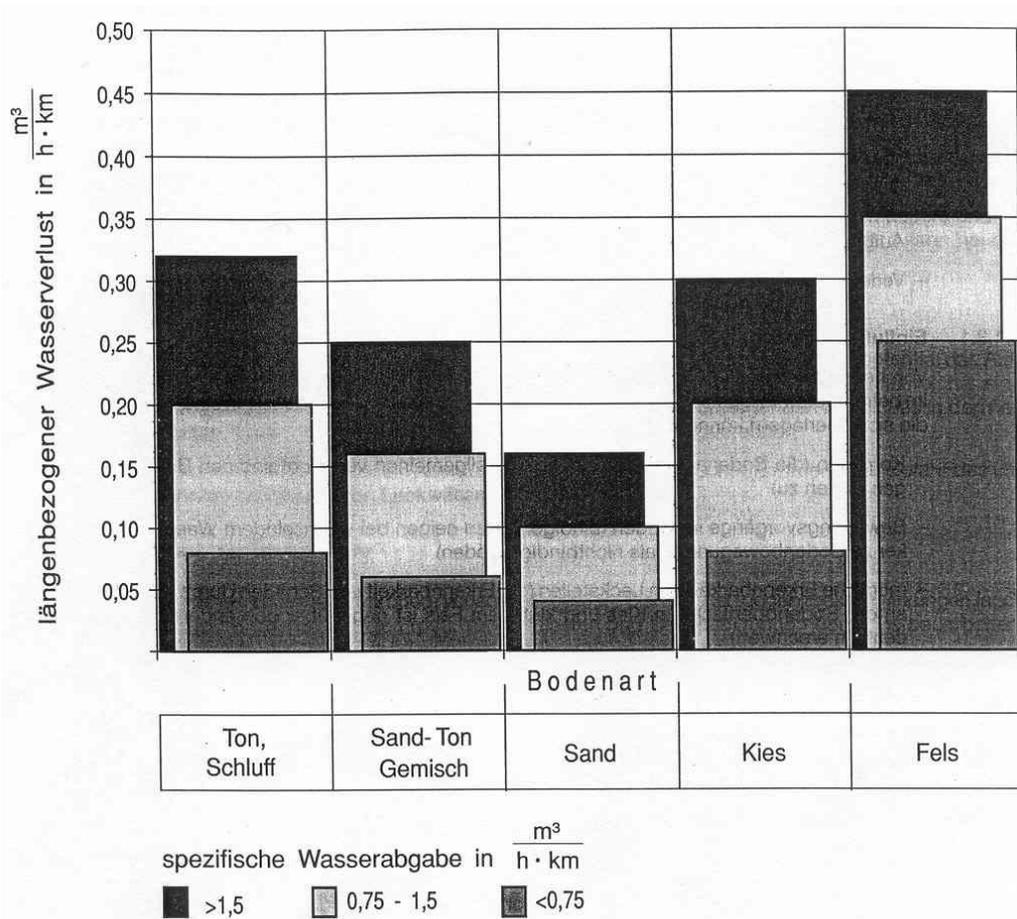
Die Richtwerte für den längenbezogenen Verlust sind der nachstehenden Abbildung 3.1 zu entnehmen, das diesen in Abhängigkeit von bestimmten Bodenarten und der spezifischen Wasserabgabe angibt.

Die spezifische Wasserabgabe ( $q_a$ ) ist eine Kennzahl für die Infrastruktur des Versorgungsgebietes und wird wie folgt errechnet.

$$q_A = \frac{\text{An den Verbraucher abgegebene Jahresmenge}}{8760 \cdot (L_1 + L_2)} \quad \text{in} \quad \frac{m^3}{h \cdot km}$$

$L_1$  Länge der Versorgungsleitungen in km in  $\frac{m^3}{h \cdot km}$

$L_2$  Länge der Anschlussleitungen oder Länge ermittelt aus der Anzahl \* geschätzter mittlerer Länge in km



**Abb. 3.1 Richtwerte für den längenbezogenen Wasserverlust (ÖVGW W63, 1993)**

Hoher Versorgungsdruck kann die Gebrechenzahl steigern und bedeutet im Schadensfall höhere Verluste. So verursacht z. B. ein Druck von acht bar, bei gleicher Leckgeometrie, eine um ca. 40 % erhöhte Ausflussmenge gegenüber einem Druck von vier bar (ÖVGW W63, 1993).

Bei hohen Leitungsverlusten kann es durch einen Mehrbedarf an Wasser zu einer Störung des Grundwasserspiegels im Einzugsbereich der Wasserfassung kommen.

#### 3.1.2 Rohrmaterialien

Für den Transport von Trinkwasser wurde und wird eine Vielzahl an Rohrmaterialien verwendet. Zwei Werkstoffgruppen haben sich aufgrund der technischen Anforderungen herauskristallisiert (Beyer K., 1985).

**Metallische Leitungen**, bestehend aus

- Grauguss
- duktilem Gusseisen
- Stahl

#### **Nichtmetallische Leitungen**, bestehend aus

- Asbestzement (AZ), Stahlbeton
- Kunststoffrohre (PVC, PE)

Das ist nur eine grobe Einteilung der Materialien. Man muss anmerken, dass die Materialien weiterentwickelt wurden, wodurch weitere Unterteilungen der einzelnen Materialien nach Produktionstechnik und Auskleidungsart erforderlich wurden. Prinzipiell werden jene Materialien verwendet, die dem neuesten Stand der Technik entsprechen.

Graugussrohre wurden etwa bis 1965 verwendet, später völlig vom Duktilguss abgelöst.

AZ-Rohre wurden zwischen 1930 und 1990 verlegt. Seit dem 1. Januar 1995 dürfen Rohre aus Asbestzement nicht mehr hergestellt und verwendet werden. Eine Ausnahme besteht bei Abbruch, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten, die jedoch nur von speziellen Unternehmen durchgeführt werden.

Stahlrohre werden seit mehr als 100 Jahren zum Transport von Trinkwasser genutzt. Das Hauptproblem der Stahlrohre bestand im mangelnden Korrosionsschutz. Seit etwa 1980 werden Stahlrohre der 3. Generation mit ausreichendem Korrosionsschutz verlegt.

Kunststoffrohre werden vor allem für Anschlussleitungen verwendet. Das bis Mitte der 80-er Jahre übliche PVC wurde aufgrund der Sprödbriechanfälligkeit von PE-HD abgelöst.

Die heute üblichen Materialien für Wasserrohrleitungen sind Duktilguss, Stahl und PE.

Tab. 3.1 bietet einen Überblick über die in der BRD und DDR verlegten Rohrmaterialien

Aufgrund der Rohrwerkstoffe sind zwei Eigenschaften als Hauptursachen von Schäden zu nennen:

- das Bruchverhalten gegenüber mechanischen Belastungen.
- das Korrosionsverhalten gegenüber dem innen fließenden Medium und dem außen anliegenden Erdreich.

**Tab. 3.1 Materialstruktur der Wasserversorgungsnetze in BRD und DDR um 1990, nach Stadtfeld**

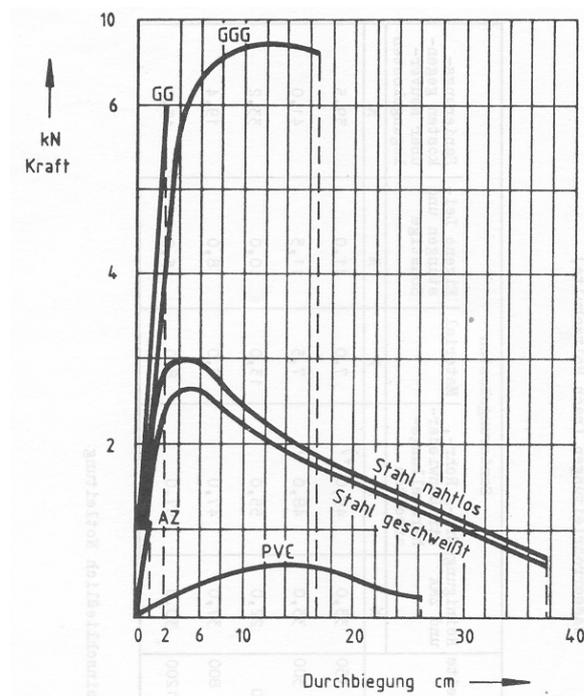
Rohrmaterial	BRD <sup>2)</sup> 1970 %	BRD <sup>2)</sup> 1980 %	BRD <sup>2)</sup> 1990 %	BRD <sup>1)</sup> 1987 %	DDR <sup>3)</sup> 1988 %
Guss	63,8	57,7	53,5	55,0	41,0
Stahl	9,0	6,3	5,1	5,7	21,9
AZ/Beton	9,5	11,5	11,1	11,1	25,3
Kunststoff	17,5	24,0	30,1	28,2	11,8
Sonstige	0,2	0,5	1,2		
Länge	159600 km	255800 km	304300 km	287000 km	91000 km

<sup>1)</sup>GWF 130 (1989) 1, S. 33-39 (Stand 1987)

<sup>2)</sup>GWF 132 (1991) 12, S. 660-670)

<sup>3)</sup>Datenbank Netze Wasserversorgungsnetze (Stand 1988)

Es gibt Rohrwerkstoffe mit geringer plastischer Verformbarkeit, z.B. Asbestzement, Beton, Grauguss, und Rohrwerkstoffe mit größerer plastischer Verformbarkeit, z. B. Stahl und duktiler Gusseisen. In Abb. 3.2 (Kottmann A., 1978) ist das Bruchverhalten in recht anschaulicher Weise in einem Kraft-Durchbiegungsdiagramm dargestellt. Gut zu erkennen ist, dass Rohre aus Werkstoffen mit geringem Arbeitsvermögen bei Überlastung eher zum Brechen neigen.



**Abb. 3.2 Kraft-Durchbiegungslinien von Rohren DN 100 aus verschiedenen Werkstoffen (nach Kottmann)**

PVC-Rohre zeigen gute mechanische Festigkeitswerte, sie stellen jedoch an Verlegung und Nutzung besondere Anforderungen. Wechselnde Zug-Druck-

Spannungen führen zu Ermüdungsbrüchen. Während der Verlegung ist besonders darauf zu achten, dass keine Kratzer oder Einkerbungen das Rohr schädigen. PE-Rohre weisen diese Probleme nicht auf (Roscher H. et al., 2004).

Ein günstiges Bruchverhalten, aber ungünstiges Korrosionsverhalten liegt beim Stahlrohr vor. Dies ist besonders gefährdet und wird deshalb mit einem Rohraußenschutz und innen mit einer Zementmörtelauskleidung versehen. Grauguss ist selbst in stark aggressiven Böden ein korrosionsbeständiger Werkstoff. Örtliche Durchrostungen sind bei Grauguss selten, großflächige Graphitierung (Spongiose) tritt häufiger auf.

Korrosionen an Asbestzement- und Stahlbetonrohren sind sehr selten.

Duktiler Gusseisen wurde mit dem Ziel entwickelt die plastische Verformbarkeit des Stahls und die Korrosionseigenschaften des Graugusses in einem Material zu vereinigen. Aber auch dieser Werkstoff hat sich als nicht so korrosionsbeständig herausgestellt, wie man es ursprünglich erhoffte, so dass beim duktilen Gusseisen ebenfalls Korrosionsschutzmaßnahmen ergriffen werden müssen (Beyer K., 1985).

### ***3.2 Definition der Rahmenbedingungen (externen Einflüsse)***

Unter den Rahmenbedingungen für die mittelfristige Rehabilitationsplanung sind in dieser Arbeit alle Wechselwirkungen und Einflüsse zu verstehen, die sich zwischen dem Wasserversorgungsnetz und der Umwelt ergeben und die Einfluss auf den Rehabilitationszeitpunkt nehmen können. Sie sind die Summe aller auf das Trinkwassernetz wirkenden externen Einflüsse.

Um den optimalen Rehabilitationszeitpunkt zu finden, muss eine ganzheitliche Betrachtung durchgeführt werden, die die Rahmenbedingungen berücksichtigt. Außer dem Wasserversorgungsnetz selbst werden auch die beeinflusste Umgebung sowie mögliche Fremdbaumaßnahmen zukünftig in die Entscheidungsfindung miteinbezogen.

Schäden durch Wasseraustritt etwa verursachen oft große Folgeschäden, die ein Vielfaches des Primärschadens ausmachen. Die Schäden sind nach ÖVGW W63 (1993) meist auf Korrosion, Rohrbrüche und undichte Rohrverbindungen zurückzuführen.

### 3.3 Externe Einflüsse als Schadenverursacher

Externe Einflüsse wirken als aktive Belastungen auf die Wasserleitungen. Durch ihre Einwirkungen verringern sie die Lebensdauer der Rohrleitungen, und machen somit vorzeitig Rehabilitationsmaßnahmen erforderlich.

Einfluss auf die Haltbarkeit der Leitungen nehmen, wie in Abb. 3.3 zu sehen ist,

- Bodenverhältnisse
- Streustrom
- erhöhte Verkehrsbelastungen
- Straßen-, Tief- und Rohrleitungsbaumaßnahmen

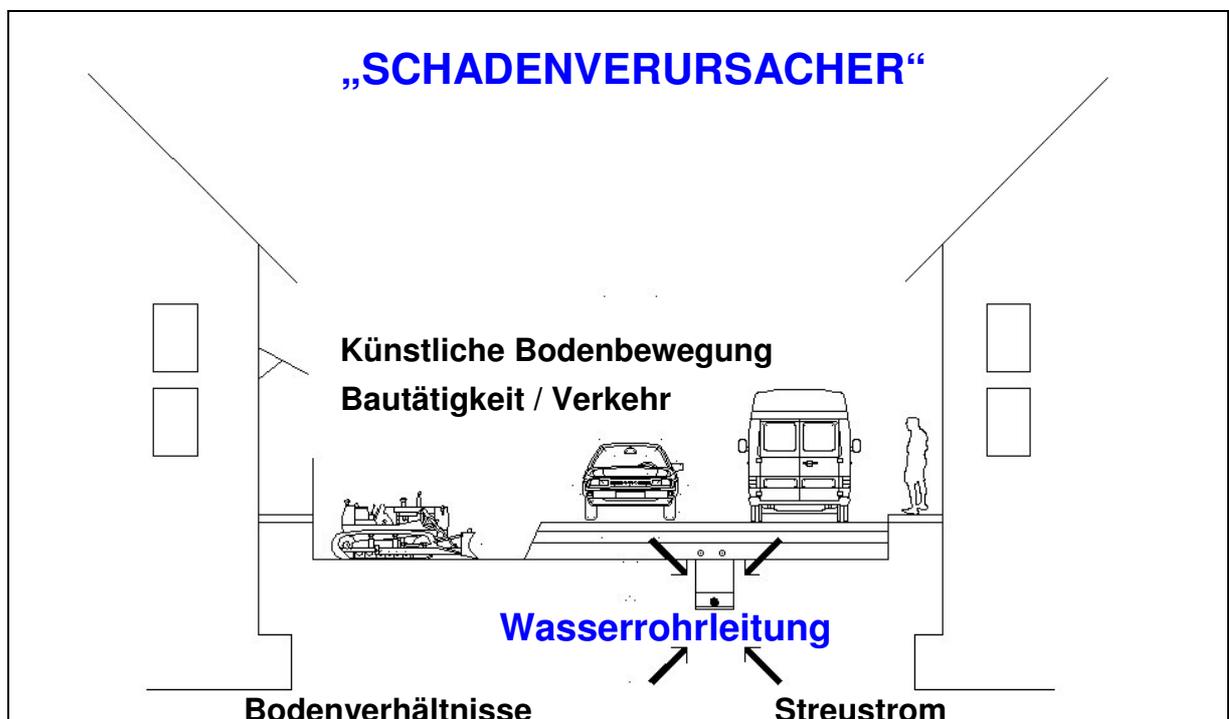


Abb. 3.3 Externe Einflüsse wirken als Schadenverursacher

#### 3.3.1 Bodenverhältnisse

Von besonderer Bedeutung für die Größe der Wasserverluste ist die im Versorgungsnetz vorkommende Bodenart. Innerhalb der Bodenarten sind drei Parameter, die sich überlagern können, wesentlich (ÖVGW W63, April 1993).

- Korrosion (die Bodenaggressivität nimmt im Allgemeinen von nicht bindigen Böden zu bindigen Böden zu)
- Bewegungsvorgänge im Boden (bindige Böden neigen bei wechselndem Wassergehalt stärker zu Bodenbewegungen als nicht bindige Böden)

- Mögliche Erkennbarkeit von Leckstellen (die Erkennbarkeit von Schäden an der Bodenoberfläche in Kies und klüftigem Fels ist gegenüber den anderen Bodenarten deutlich erschwert).

Bodenbewegungen wirken sich besonders auf Rohre aus sprödebruchgefährdeten Materialien negativ aus. Diese Materialien mit geringem Arbeitsvermögen (siehe Abb. 3.2), sind nicht in der Lage Verformungen mitzumachen, und brechen daher (siehe auch Kapitel 3.3.1.2).

#### **3.3.1.1 Korrosion von metallischen Werkstoffen im Boden**

Unter Korrosion versteht man die Reaktion eines metallischen Werkstoffes mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffes bewirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion eines metallischen Bauteils oder eines ganzen Systems führen kann. In den meisten Fällen ist diese Reaktion elektrochemischer Natur, in einigen Fällen kann sie jedoch auch chemischer oder metallphysikalischer Natur sein (Beneke H., 2000).

Prinzipiell erfolgt eine Untergliederung der Korrosionsarten, entsprechend ihrer Ursachen, in chemische und elektrochemische Korrosion.

##### **Chemische Korrosion:**

Die chemische Korrosion beruht auf der direkten Reaktion von so genannten korrosiven Agenzien mit dem metallischen Werkstoff. Korrodierende Wirkung haben vorwiegend Sauerstoff, Wasser, Säuren, Basen und Salze. Sauerstoff allein kann sehr unedle Metalle (Natrium, Aluminium) angreifen. Wasser verstärkt die oxidierende Wirkung von Sauerstoff.

Unter Normalbedingungen werden alle unedlen Elemente durch Säuren angegriffen. In der Realität ist die Säurestärke und Säurekonzentration von ausschlaggebender Wirkung. Daneben werden auch edle Metalle durch oxidierende Säuren bzw. Säuregemische aufgelöst, wie z.B. Gold durch Königswasser.

Metalle, deren Oxide sowohl Säuren als auch Basen bilden können, werden auch durch Laugen angegriffen.

Salzlösungen bewirken ebenfalls eine Metallkorrosion, sofern die Ausbildung einer dichten, gut haftenden Schutzschicht ausbleibt (Cammenga H. et al., 1996).

#### **Elektrochemische Korrosion:**

Bei der elektrochemischen Korrosion wird ein Metall von der Oberfläche her durch elektrochemische Reaktionen zerstört. Für die Praxis ist dieser Korrosionstyp von weitaus größerer Bedeutung als die rein chemische Korrosion.

Die elektrochemische Korrosion findet immer dann statt, wenn zwei Metallphasen mit unterschiedlichem Potential leitend miteinander verbunden werden und ein benetzender Elektrolyt (z.B. Wasser) vorhanden ist. Zum einen kann dies bei unterschiedlichen Metallen vorliegen; in diesem Fall bezeichnet man den Vorgang als Kontaktkorrosion. Zum andern können Potentialdifferenzen auch bei ein und demselben Metall auftreten, wenn dieses zum Beispiel eine uneinheitliche Oberfläche besitzt (Cammenga H. et al., 1996).

#### **Erdbodenkorrosion und Bodenaggressivität:**

Die Korrosion von im Erdreich verlegten Metallen wird durch die Aggressivität des Erdbodens hervorgerufen, bedingt auch durch ihre chemische Zusammensetzung, als auch durch den physikalischen Aufbau des Bodens.

Die Bodenaggressivität ist die Gesamtheit aller Einflussgrößen des Bodens, welche die freie Korrosion von im Boden eingebauten Bauteilen beeinflussen.

Maßgebend für die Aggressivität des Bodens ist nicht die Bodenzusammensetzung als solche, sondern sein Wasser-, Elektrolyt- und Sauerstoffgehalt. Von diesen Parametern hängt auch die Wasserstoffionenkonzentration (pH-Wert) des Bodens und sein Redox-Potential ab.

Das Redox-Potential ist das Potential, welches von einer Elektrolytlösung einer Elektrode aufgezwungen wird, die sich aber mit ihrer chemischen Substanz nicht an der Reaktion beteiligt.

Weiterhin ist der elektrische Zustand (Streuströme, Bildung von Konzentrationselementen, Langstreckenströme) von ausschlaggebender Bedeutung (Beneke H., 2000).

#### **Beurteilung der Bodenaggressivität:**

Die Beurteilung der Bodenaggressivität kann durch Beobachtung des Pflanzenwuchses erfolgen, da die einzelnen Pflanzen in verschiedener Weise auf bestimmte Umweltbedingungen angewiesen sind. Im Allgemeinen gilt für Stahl ein stark saurer Boden (pH 4,5) als aggressiv, ein alkalischer Boden dagegen nicht. Eine sehr wichtige Kenngröße der Bodenaggressivität, die sich zudem leicht messen lässt, ist der spezifische Bodenwiderstand. Denn der Bodenwiderstand gibt Aufschluss über die Leitfähigkeit des Bodens (Tab.3.2).

Der Bodenwiderstand hängt wiederum vom Dispersionsgrad der Sedimente ab, der seinerseits die Durchlässigkeit der Böden für Luft und Wasser beeinflusst.

Aus dem spezifischen Bodenwiderstand lässt sich eine Aussage machen über die Korrosion nach dem Sauerstofftyp (Beneke H., 2000).

Dabei wird die Außenkorrosion von Rohrleitungen durch die unterschiedliche Belüftung der Böden verursacht. Ton, Moor und Schlick sind unbelüftete Böden, während Sand und Kies gut belüftet sind. An den Rohrleitungen und Behältern, die im Boden verlegt sind, bilden sich in den unbelüfteten Bereichen die Anoden und in den belüfteten Bereichen die Kathoden aus. Beim Belüftungselement werden also die anodischen und die kathodischen Bereiche medienseitig durch unterschiedliche Belüftung gebildet. Die Entfernung zwischen den anodischen und den kathodischen Bereichen kann zwischen einigen Zentimetern und einigen Kilometern liegen (<http://www.itc-leipzig.de/corrosiontypes.html>).

Der spezifische Bodenwiderstand ist der spezifische elektrische Widerstand des Erdbodens unter der Annahme, dass der Erdboden sich wie eine homogene Elektrolytlösung verhält (Beneke H., 2000).

**Tab. 3.2 Bodenwiderstand verschiedener Bodenarten (Beneke H., 2000)**

Grundwasserführende Bodenart	Spez. Widerstand $\Omega$ cm
kolloiddisperser Ton	300-1000
Schluff oder feindisperser Sand	1000-10000
mitteldisperser Sand	10000-40000
grobdisperse Kiese und Schotter	40000-170000

Um die Bodenaggressivität genauer bestimmen zu können, ist zusätzlich zur Bodenart noch die Kenntnis folgender Faktoren notwendig

- pH-Wert
- Redox-Potential
- Wassergehalt und Trockensubstanz
- Wasserkapazität
- Gesamtacidität bzw. Gesamtalkalität
- Bestimmung der Kalkanteile
- Bestimmung des Bodenwiderstandes
- Bestimmung der im wässrigen Bodenauszug gelösten Bestandteile

Zur Ermittlung der Bodenaggressivität findet man in der DVGW-GW 9 (1986) einen Bewertungskatalog Tab. 3.3 sowie ein Beurteilungsschema Tab. 3.4 und Tab. 3.5.

### 3 Rahmenbedingungen für die Rehabilitationsplanung von Trinkwassernetzen

**Tab. 3.3 Angaben zur Beurteilung von Erdböden (DVGW-GW 9, 1986)**

Nr.	Merkmal und Messgröße	Einheit	Messwertbereiche	Bewertungszahl
<b>a) Beurteilung einer Bodenprobe</b>				
1	<b>Bodenart</b> a) Bindigkeit: Anteil an abschlämmbaren Bestandteilen	Massenanteile in %	≤10 >10 bis 30 >30 bis 50 >50 bis 80 >80	Z <sub>1</sub> +4 +2 0 -2 -4
	b) Torf-, Moor-, Schlick- und Marschböden, organischer Kohlenstoff	Massenanteile in %	>5	-12
	c) stark verunreinigte Böden Verunreinigung durch Brennstoffasche, Schlacke, Kohlestücke, Koks, Müll, Schutt, Abwässer			-12
2	<b>Spezifischer Bodenwiderstand</b>	Ohm cm	> 50 000 >20 000 – 50 000 > 5 000 – 20 000 > 2 000 – 5 000 1 000 – 2 000 <1 000	Z <sub>2</sub> +4 +2 0 -2 -4 -6
3	<b>Wassergehalt</b>	Massenanteile in %	≤20 >20	Z <sub>3</sub> 0 -1
4	<b>pH-Wert</b>		>9 >5,5 – 9 4 – 5,5 <4	Z <sub>4</sub> +2 0 -1 -3
5	<b>Pufferkapazität</b> Säurekapazität bis pH 4,3 (Alkalität K <sub>S 4,3</sub> )	mmol/kg	>1 000 200 – 1 000 <200	Z <sub>5</sub> +3 +1 0
	Basekapazität bis pH 7,0 (Acidität K <sub>B 7,0</sub> )		<2,5 2,5 – 5 >5 – 10 >10 – 20 >20 – 30 >30	0 -2 -4 -6 -8 -10
6	<b>Sulfid (S<sup>2-</sup>)</b>	mg/kg	<5 5 – 10 >10	Z <sub>6</sub> 0 -3 -6
7	<b>Neutralsalze (wässriger Auszug)</b> c(C1 <sup>-</sup> ) + 2c(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mmol/kg	<3 3 -10 >10 – 30 >30 – 10 >100	Z <sub>7</sub> 0 -1 -2 -3 -4

### 3 Rahmenbedingungen für die Rehabilitationsplanung von Trinkwassernetzen

8	<b>Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, salzsaurer Auszug)</b>	mmol/kg	<2 2 -5 >5 - 10 >10	Z <sub>8</sub>
				0 -1 -2 -3

#### b) Beurteilung aufgrund örtlicher Gegebenheiten

9	<b>Lage des Objekts zum Grundwasser</b>	Grundwasser nicht vorhanden Grundwasser vorhanden Grundwasser wechselt zeitlich	Z <sub>9</sub>
			0 -1 -2
10	<b>Bodenhomogenität, horizontal</b> Bodenwiderstandsprofil: ermittelt werden Änderungen von Z <sub>2</sub> (nach Nr. 2) Von benachbarten Bodenbereichen: ΔZ <sub>2</sub> (Bei dieser Bewertung werden alle positiven Z <sub>2</sub> -Werte gleich „+1“ gesetzt)	ΔZ <sub>2</sub>   <2 2 ≤  ΔZ <sub>2</sub>   ≤3  ΔZ <sub>2</sub>   >3	Z <sub>10</sub>
			0 -2 -4
11	<b>Bodenhomogenität, vertikal</b> a) Boden in unmittelbarer Umgebung	homogene Einbettung mit artgleichem Erdboden oder Sand  Inhomogene Einbettung mit bodenfremden Bestandteilen, z.B. Holz, Wurzeln und dergleichen, sowie mit stark artverschiedenen korrosiven Böden	Z <sub>11</sub>
			0  -6
	b) <b>Schichtung unterschiedlicher Böden</b> mit verschiedenen Z <sub>2</sub> -Werten; Ermittlung von Z <sub>2</sub> entsprechend Nr. 10	2 ≤  ΔZ <sub>2</sub>   ≤3  ΔZ <sub>2</sub>   >3	-1 -2
12	<b>Objekt/Boden-Potential U<sub>Cu/CuSO<sub>4</sub></sub></b> (zur Feststellung von Fremdkathoden) Ist eine Potentialmessung nicht möglich, z.B. bei der Beurteilung eines Bodens ohne Objekt, ist Z <sub>12</sub> = -10 zu setzen, wenn Kohlestücke oder Koks vorhanden sind	V	Z <sub>12</sub>
			0,5 bis -0,4 >-0,4 bis -0,3 >-0,3 -3 -8 -10

Bei der Beurteilung nach Nr. 1 und Nr. 1 ist jeweils nur eine, und zwar die negativste Bewertungszahl einzusetzen

**Tab. 3.4 Bodenklasse, Bodenaggressivität und Korrosionswahrscheinlichkeit nach DVGW-GW 9, 1986**

B <sub>0</sub> - bzw. B <sub>1</sub> - Werte	Bodenklasse (aufgrund der B <sub>0</sub> - Werte)	Bodenaggressivität	Korrosionswahrscheinlichkeit (aufgrund der B <sub>1</sub> - Werte)	
			Mulden- und Lochkorrosion	Flächenkorrosion
>0	Ia	nicht aggressiv	sehr gering	sehr gering
-1 bis -4	Ib	schwach aggressiv	gering	sehr gering
-5 bis -10	II	aggressiv	mittel	gering
<-10	III	stark aggressiv	hoch	mittel

$$B_0 = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8 + Z_9$$

$$B_1 = B_0 + Z_{10} + Z_{11}$$

**Tab. 3.5 Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit bei Elementbildung mit Fremdkathoden (DVGW-GW 9, 1986)**

B <sub>E</sub> - Werte	Korrosionswahrscheinlichkeit für	
	Loch- und Muldenkorrosion	Flächenkorrosion
≥0	gering	sehr gering
-1 bis -4	mittel	sehr gering
-5 bis -8	hoch	mittel
<-8	sehr hoch	erhöht

$$B_E = B_0 - (Z_3 + Z_9) + Z_{12}$$

Aufgrund ihrer Entstehung werden künstliche und natürliche Böden unterschieden. Künstliche Böden entstehen durch Aufschüttungen von Müll, Bauschutt, usw.

Nach ihrem kolloid-chemischen Verhalten wird zwischen bindigen und nicht bindigen Böden unterschieden. Nicht bindige Böden gestatten das Eindiffundieren von Luftsauerstoff und werden daher als aerobe Böden bezeichnet, während bindige Böden, insbesondere bei hohem Wassergehalt, luftundurchlässig sind und daher als anaerobe Böden bezeichnet werden. Bei solchen anaeroben Böden tritt bei gleichzeitiger Anwesenheit von Sulfationen, organischer Nährsubstanz und sulfatreduzierenden Bakterien bei eisernen Werkstoffen anaerobe Korrosion auf. Sulfatreduzierenden Bakterien sind anaerob lebende Bakterien, deren Stoffwechselprodukte auf Metalle korrosiv wirken (Beneke H., 2000).

#### 3.3.1.2 Betonkorrosion

Beton ist unter normalen Umständen weitgehend beständig. Besondere angreifende Stoffe können aber zu Schädigungen führen. Schadstoffe können dabei von außen zugeführt werden, Schäden können aber auch durch Bestandteile des Betons verursacht werden. Ein Angriff findet immer auf die schwächste Komponente des Betons statt. In der folgenden Bewertung der Leitungsstränge wird auf Betonkorrosion, aufgrund der guten Beständigkeit von Beton gegen Korrosionsangriffe, nicht weiter eingegangen (Cammenga H. et al., 1996).

#### Reaktion des Zementsteins:

Eine Reaktion von Betoninhaltsstoffen und betonangreifenden Verbindungen kann lösenden oder treibenden Charakter haben (Cammenga H. et al., 1996).

##### ○ Lösender Angriff

Beim lösenden Angriff entstehen wasserlösliche Produkte aus schwerlöslichen Verbindungen an der Oberfläche. Diese werden im Laufe der Zeit ausgewaschen. Da hierdurch Bindemittel verloren geht, kommt es zum Ausbrechen von Zuschlag.

Verursacht wird ein lösender Angriff durch Säuren, starke Basen, organische Fette und Öle, austauschfähige Salze, weiches Wasser, ...

- **Treibender Angriff**

Beim treibenden Angriff entstehen im Betoninneren schwerlösliche, voluminöse Reaktionsprodukte. Im bereits erhärteten Beton treten so Spannungen auf, die beim Überschreiten der Betonfestigkeit zu Rissen und Abplatzungen an der Oberfläche führen.

Treibender Angriff entsteht durch Sulfattreiben, Magnesium-Salze, Kalk-Magnesiatreiben, Chloride, ...

**Reaktion des Zuschlags:**

Kalkstein und Dolomit können von Säuren angegriffen und aufgelöst werden, silicatisch gebundener Zuschlag ist beständig.

**Korrosion der Bewehrung:**

Wird Stahl als Bewehrung verwendet, ist der Bewehrungsstahl chemisch gesehen das schwächste Glied. Seine Korrosion muss unbedingt verhindert werden. Bei der Hydratation des Zements wird der Zementstein stark alkalisch, er weist einen pH-Wert von etwa 12,6 auf. In diesem alkalischen Milieu ist der Stahl korrosionsgeschützt.

Bei der Carbonatisierung nimmt der pH-Wert ab, und somit ist der Stahl nicht mehr korrosionsgeschützt (Cammenga H. et al., 1996).

#### **3.3.1.3 Einteilung der Bodenart in nicht bindige und bindige Böden**

Boden besteht aus fester Masse (den Körnern der Minerale), Wasser und Hohlräumen. Von der Form, der Größe und den Oberflächeneigenschaften der Körner hängen die Bodeneigenschaften (Plastizität, Kapillarität, Durchlässigkeit, Beiwert der inneren Reibung) ab.

Die Körner der Kiese und Sande verändern sich im Wasser nicht, Rohton hingegen quillt bei Wasseraufnahme und schrumpft bei Wasserabgabe. Bei kleinen Körnern (<0,06 mm) treten durch die Berührung mit Wasser Oberflächenkräfte auf. Diese Kräfte wachsen mit der Kornfeinheit und bewirken Bindungen (Kohäsion), die für die Beurteilung von Böden so entscheidend ist, dass man in bindige und nicht bindige Böden unterteilt.

#### **Grobeinteilung** (Graßhoff H. et al., 1982)

Nicht bindig             $D < 0,06 \text{ mm}$     $< 15 \%$

Bindig                     $D < 0,06 \text{ mm}$     $> 40\%$

#### **Nicht bindige, rollige Böden:**

Die Körner der Kiese und Sande bilden ein loses Einzelkorngefüge. An den Berührflächen wirken nur Reibungskräfte.

Nicht bindige Böden bestehen aus Gesteinstrümmern verschiedenartiger Größe. Der mineralische Aufbau entspricht demjenigen des verwitterten Gesteins. Vorwiegend bestehen die Gesteinstrümmern aus dem sehr harten Mineral Quarz. Häufig kommt noch Feldspat vor. Die Benennung erfolgt nach der Korngröße.

#### **Bindige Böden:**

Sie haben je nach Wassergehalt und chemischer Zusammensetzung plastische Eigenschaften. An den Berührflächen wirken Reibungskräfte und Kohäsionskräfte. Bindige Böden verändern ihre physikalischen Eigenschaften mit der Veränderung ihres Wassergehaltes.

Bindige Böden werden in schwach bindige und stark bindige Böden unterteilt.

#### **Schwach bindige Böden:**

Hauptvertreter der schwach bindigen Böden ist der Schluff. Reiner Schluff ist feiner Staubboden, der im wassergesättigten Zustand sehr stark zum Fließen neigt. Die meisten Schluffe enthalten mehr oder weniger große Anteile von Ton, so dass sie fast immer eine schwache Bindigkeit aufweisen. Sie sind meist aus Quarz, Silikaten und teilweise aus Glimmer und Kalk zusammengesetzt. Mischungen aus Ton, Lehm und Mergel mit Sand werden gleichfalls als schwach bindige Böden bezeichnet. Löß setzt sich aus, durch Kalk verkitteten, Quarz- und Feldspatkörnern zusammen und besitzt daher hohe Standfestigkeit. Durch Auswaschung des Kalkes und Zersetzung des Feldspates zu Tonmineralen entstehen die Verwitterungsböden des Lößes, die Lößlehme (Grasshof H. et. al., 1962).

#### **Stark bindige Böden:**

Ton ist der Hauptvertreter der stark bindigen Böden. Er ist ein Gemenge von Verwitterungsprodukten aluminiumhaltiger Minerale mit feinstem Staub mechanisch zerriebener Minerale (z.B. Quarz, Glimmer, usw.). Haupttonminerale sind Kaolinit, Montmorillonit und Halloysit. Je nach dem Vorherrschen des einen oder anderen Tonminerals ist das Verhalten der Tonböden unterschiedlich.

Lehm ist ein kalkfreier Tonboden mit einem Schluff- und Feinsandgehalt zwischen 30 und 70 %. Die gelblich bis bräunliche Färbung wird durch Beimengungen von Eisenhydroxid verursacht.

Mergel ist ein stark kalkhaltiger Ton. Der Kalkgehalt liegt etwa bei 25 bis 40 %. Als Geschiebemergel werden Gletscherablagerungen bezeichnet, die sich aus Gesteinstrümmern aller Korngrößen einschließlich Schluff und Ton zusammensetzen (Grasshof H. et al., 1962).

#### **3.3.1.4 Bodenklassifikation nach ÖNORM B 4400 (1978)**

Die Einordnung einer Bodenart in eine Bodengruppe wird hier allein nach der stofflichen Zusammensetzung, unabhängig von Wassergehalt und Dichte des Bodens vorgenommen. Sie hängt nach ÖNORM B 4400 (1978) im Wesentlichen von Korngrößenbereich, Korngrößenverteilung, plastischen Eigenschaften und organischen Bestandteilen ab.

#### **Korngrößenbereiche:**

Jede Bodenart ist ein Gemisch von Einzelbestandteilen unterschiedlicher Korngrößen, die nach DIN 4022 Teil 1 in nachstehende Korngrößenbereiche eingeteilt werden:

Feinstkorn oder Ton	kleiner	als	0,002 mm
Schluff	über	0,002 mm	bis 0,06 mm
Sand	über	0,06 mm	bis 2 mm
Kies	über	2 mm	bis 63 mm
Steine und Blöcke	größer	als	63 mm

#### **Kornverteilung:**

Die Kornverteilung (Summenkurve) bildet einen grundlegenden Bestandteil der Bodenbeschreibung und ist ein wichtiger Parameter für Tragfähigkeit, Verformungsverhalten, Verdichtbarkeit, Durchlässigkeit, ... (Straßenwesenskriptum 2003/2004, TU Graz)

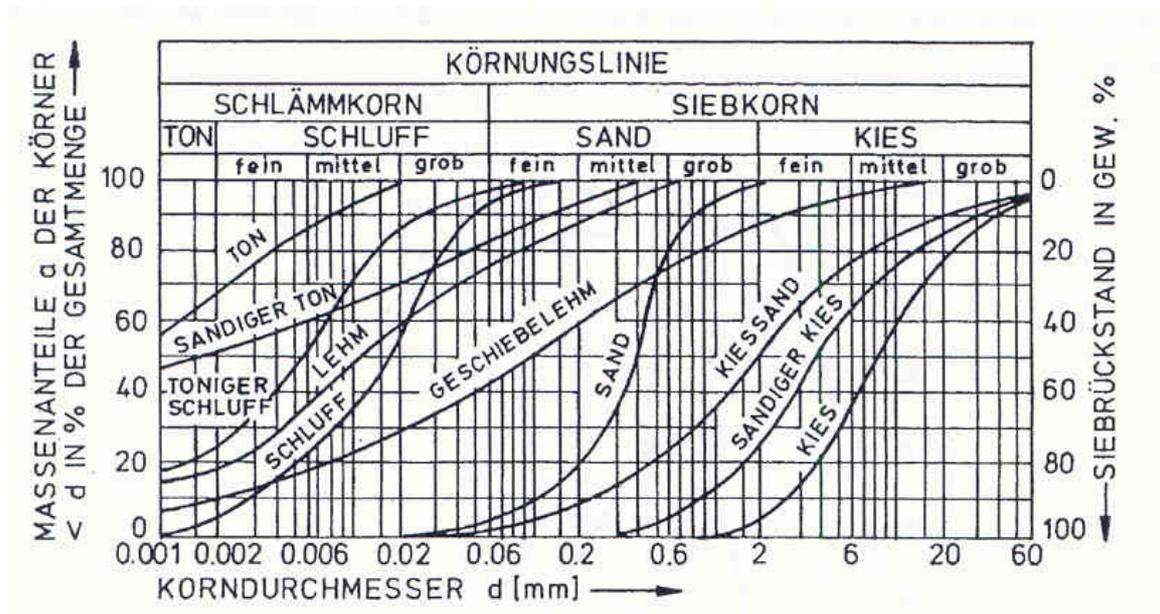


Abb. 3.4 Kornverteilungslinie (Sieblinien verschiedener Lockerböden)

Ungleichförmigkeitszahl:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Krümmungszahl:

$$CC = \frac{d_{30}^2}{d_{10} * d_{60}}$$

**Plastische Eigenschaften:**

Die Atterbergschen Grenzen dienen zur Klassifikation von bindigen Böden. Das entscheidende Merkmal dieser Böden besteht darin, dass auftretende Schwankungen des Wassergehaltes erhebliche Veränderungen der physikalisch-mechanischen Eigenschaften dieser Böden bewirken (ÖNORM B 4400, 1978).

Tab. 3.6 Atterberg'sche Konsistenzgrenzen(ÖNORM B4411, 1974)

Zustand	Grenze
flüssig	Fließgrenze $w_f$
	Ausrollgrenze $w_a$
bildsam-plastisch	(Bildsamkeitsgrenze)
nicht bildsam-halbfest	Schrumpfgrenze $w_s$
fest	

Plastizitätszahl  $W_{fa} = w_f - w_a$



**Tab. 3.7 Übersicht über mineralische Böden (vereinfachte Darstellung) nach ÖNORM B 4400 (1978)**

	Bodengruppe	Kornanteile ≤0,063 Gew.-%	Kornanteile > 2 mm Gew.-%	Kurzzeichen	Merkmale	
Grobkörnige Böden	Kies	≤ 5	> 40	GE GW GI	enggestuft; steile Körnungslinie weitgestuft, kontinuierlich flache Körnungslinie intermittierend, treppenartige Körnungslinie	
	Sand	≤ 5	≤ 40	SE SW SI	enggestuft weitgestuft intermittierend	
Gemischtkörnige Böden	Kies-Schluff- Gemisch	5-15 15-40	> 40	GU GÜ	weit oder intermittierend gestuftes Material mit schluffigem Feinkornanteil	
	Kies-Ton- Gemisch	5-15 15-40	> 40	GT GT̄	weit oder intermittierend gestuftes Material mit tonigem Feinkornanteil	
	Sand-Schluff- Gemisch	5-15 15-40	≤ 40	SU SÜ	weit oder intermittierend gestuftes Material mit schluffigem Feinkornanteil	
	Sand-Ton- Gemisch	5-15 15-40	≤ 40	ST ST̄	weit oder intermittierend gestuftes Material mit tonigem Feinkornanteil	
Feinkörnige Böden	Schluff	> 40		UL  UM	leicht plastisch; w <sub>L</sub> ≤ 35 Gew.-% mittel plastisch w <sub>L</sub> = 35-50 Gew.-%	Ip ≤ 4 Gew.-% und unterhalb der A-Linie des Plastizitätsdiagramms
	Ton	> 40		TL  TM  TA	leicht plastisch; w <sub>L</sub> ≤ 35 Gew.-% mittel plastisch w <sub>L</sub> = 35-50 Gew.-% stark plastisch w <sub>L</sub> > 50 Gew.-%	Ip ≥ 7 Gew.-% und oberhalb der A-Linie des Plastizitätsdiagramms

G = Kies, S = Sand, U = Schluff, T = Ton, Ü, T̄ = hoher Feinkornanteil Schluff bzw. Ton, L = leicht, M = mittel, A = ausgeprägt plastisches Verhalten

### 3.3.1.5 Übersicht wichtiger Bodenkennziffern

Die Bodenkennziffern geben einen zahlenmäßigen Überblick über die Eigenschaften verschiedener Bodenarten.

In der Abbildung 3.6 ist eine Auswahl wichtiger Bodenkennziffern zu sehen.

Das unterschiedliche Wasseraufnahmevermögen verschiedener Tonminerale		Mittlere natürliche Wassergehalte	
Tonminerale	$w_{max}$ [%]	Bodenart	$w_n$ [%]
Quarzmehl	50	Erdfeuchter Sand	2 – 10
Kalkspat	70	Geschiebemergel	10 – 20
Feldspat	60	Löß	20 – 30
Glimmer	250	Lehm	20 – 40
Kaolin Ca	100	Ton	20 – 60
Kaolin Na	150	Organ. Böden	50 – 800
Bentonit Ca	300		
Bentonit Na	700		

Verdichtungsgrade		Durchlässigkeitsziffern verschiedener Bodenarten	
Lagerung	D	Bodenart	$k$ [m/sec]
sehr locker	<0,15	grober Flußkies	$10^{-2}$
locker	0,15 – 0,30	Sand	$10^{-3} – 10^{-4}$
mittelfest	0,30 – 0,50	Feinsand	$10^{-4} – 10^{-7}$
fest	>0,50	schluffiger Ton; Ton	$10^{-7} – 10^{-11}$

Mittlere Hohlraumgehalte verschiedener Bodenarten		
Bodenart	n	e
Faulschlamm	0,70 – 0,90	2,33 – 9,00
Geolog. sehr junge Tonablagerungen	0,60 – 0,90	1,50 – 9,00
Weiche Tone	0,50 – 0,70	1,00 – 2,33
Steife Tone	0,35 – 0,50	0,54 – 1,00
Feste Tone	0,20 – 0,35	0,25 – 0,54
Lehm und Geschiebemergel	0,25 – 0,30	0,33 – 0,43
Gleichförmige Sande	0,30 – 0,50	0,43 – 1,00
Ungleichförmige Sande und Kiese	0,25 – 0,35	0,33 – 0,54

Die unterschiedliche Bildsamkeit der wichtigsten Böden (nach Kögler-Scheidig)					
Erdstoffe	Bezeichnung	Fließgrenze z.B.	Rollgrenze z.B.	Bildsamkeit	
				(hier)	Grenzen
Sand	unplastisch	20%	20%	0	0
Schluff, Löß	schwach plastisch	25%	20%	5	2 – 10
Lehm, magerer Ton	gut plastisch	40%	25%	15	10 – 25
fetter Ton	hochplastisch	80%	30%	50	25 – 75
Organ. Erdstoffe	zum Teil plastisch	250%*	150%*	100*	--

\*) Ziffern infolge niedriger spezifischer Gewichte so hoch

Abb. 3.6 Übersicht wichtiger Bodenkennziffern (Loos et al.)

### 3.3.1.6 Örtliche Standsicherheit (Suffosion und Erosion) bei Sickerwasserströmungen

#### **Strukturänderungen bei nicht bindigen Lockergesteinen:**

Die durch Sickerwasserströmungen transportierten feinen Lockergesteinsteile bewirken eine Umlagerung in der Skelettfüllung. Kommt es zur Zerstörung des Korngerüstes, also zum Grundbruch, spricht man von Erosion. Bleibt das Korngerüst erhalten, handelt es sich um Suffosion. Die Strukturänderungen bewirken Porositätserhöhung, Vergrößerung des Durchlässigkeitsbeiwertes und der Sickergeschwindigkeit sowie Abnahme der Dichte (Azzam R. et al., 1995).

#### **Beständigkeit bindiger Lockergesteine gegenüber Sickerwasserströmungen:**

Lockergesteine mit  $d_{10} < 0,002$  mm werden als bindig eingestuft. Die Kornverteilung hat hier nicht so große Bedeutung wie bei nicht bindigen Böden. Auch die Geometrie der Porenkanäle besitzt keine Bedeutung. Mögliche Strukturänderungen bei Wasseraufnahme treten an unbelasteten Oberflächen auf, wo der bindige Boden bis zur Fließgrenze aufweicht und zerfällt (Azzam R. et al., 1995).

### 3.3.2 Streustrom

Nach Küpfmüller (1955) ist Streustrom ein in Elektrolytlösungen (Boden, Wasser) fließender Strom, der von in diesen Medien liegenden metallischen Leitern stammt und von elektrischen Anlagen geliefert wird. Es kann sich hierbei um Gleichstrom oder um Wechselstrom, vorwiegend mit einer Frequenz von  $16 \frac{2}{3}$  Hz (Bahn-Versorgung) handeln.

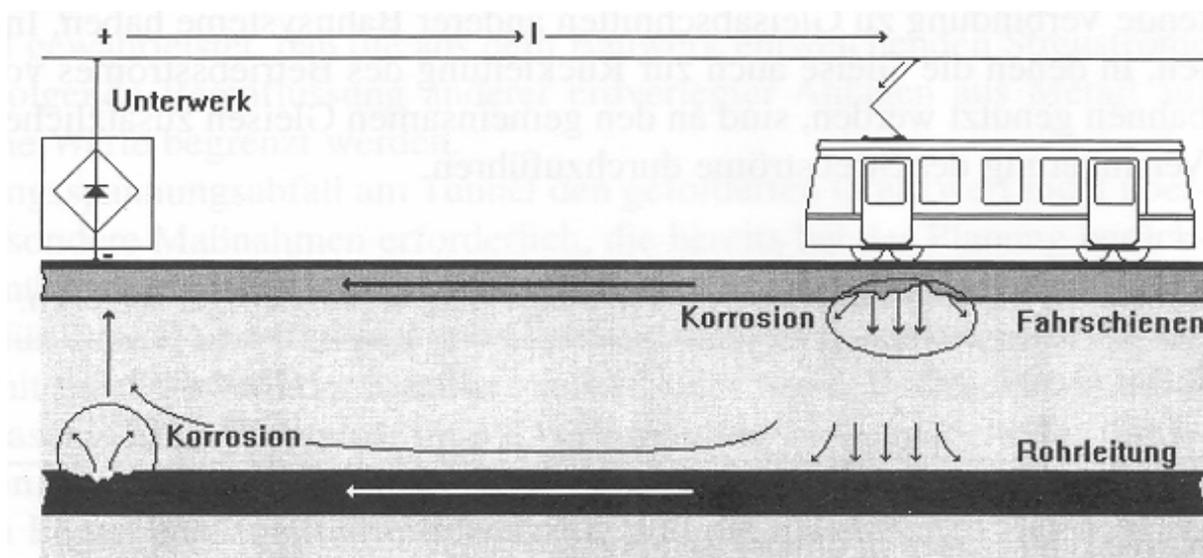
Verursacher für Streustrom sind

- Streuströme aus fremden Gleichstromanlagen,
  - mit Gleichstrom betriebene Bahnen, welche die Fahrschienen zum Leiten des Stromes benutzen,
  - Oberleitung-Omnibus-Anlagen, bei denen mehr als eine leitende Verbindung eines Pols mit der Erde besteht,
  - Gleichstromfernmeldenetze,
  - kathodische Korrosionsschutz-Anlagen,
  - Bauwerke aus Stahlbeton (Tiefgaragen),...
  
- Streuströme aus fremden Wechselstromanlagen.

Durch Wechselstromkorrosion gefährdet sind Rohrleitungen, die parallel zu Hochspannungsleitungen oder mit Wechselstrom betriebenen Bahnanlagen verlaufen.

Vorwiegend werden Streuströme von elektrischen Gleichstrombahnen verursacht. In Großstädten mit Straßenbahnen ist daher ein großer Teil der Korrosionen darauf zurückzuführen. Der Strom fließt vom Pluspol des speisenden Unterwerks über den Fahrdrabt zum Wagenmotor und wird über die Schienen zum Minuspol des Unterwerks zurückgeführt. Dabei tritt an den Schienen zwischen ihren Endpunkten und am Rückspeisepunkt am Unterwerk ein ohmscher Spannungsabfall auf. Da die Schienen in der Praxis nur schlecht gegen die Erde isoliert werden können, bildet der Erdboden einen Parallelwiderstand zum Schienennetz. Ein Teil des in den Schienen fließenden Stromes geht als Streustrom in den Erdboden über. Er wird von einer sich in der Nähe befindlichen Rohrleitung aufgenommen, über diese weitergeleitet und tritt in der Nähe des Rückspeisepunktes aus der Rohrleitung wieder aus (siehe Abb. 3.7).

Das letztlich den Streustrom verursachende elektrische Feld wird wesentlich durch seinen Verursacher und kaum durch das beeinflusste Objekt bestimmt. Streuströme verursachen beim Austritt vom Objekt in den Erdboden anodische Korrosion. In einem geringen Maß wirkt auch Wechselstrom korrosionsfördernd. Hierbei ist zu beachten, dass das Ausmaß der Wechselstromkorrosion von der Art des Werkstoffes abhängt (Baeckmann W. w. et al., 1999).



**Abb. 3.7 Streustromkorrosion bei Gleichstrombahnen**

Im Gegensatz zu einer Gleichstrombeeinflussung wurde in der bisherigen Praxis die Wechselstromkorrosion als wenig korrosionsfördernd angesehen, da nur geringe Anteile der anodischen Amplituden zur Korrosion beitragen. Aus diesen ist abzuleiten, dass eine Ausbeute von etwa 1 % zur anodischen Korrosion führt.

Demnach ist nur bei sehr hohen Wechselstromdichten mit einer Korrosionsgefährdung zu rechnen (<http://www.itc-leipzig.de/corrosiontypes.html>). Streustrom im Boden führt zu frühzeitiger Korrosion von ungeschützten Leitungen aus Stahl und duktilem Gusseisen, Grauguss dagegen weist eine gute Korrosionsbeständigkeit auf.

Stahlrohre, die bis etwa 1940 verwendet wurden, sind überhaupt nicht korrosionsgeschützt, und daher besonders gefährdet. Aber auch Stahlrohre, die vor 1980 verwendet wurden, sind nicht ausreichend sicher gegen Korrosionen. Erst Rohre der neuesten Generation sind ausreichend geschützt.

Rohre aus duktilem Gusseisen wurden zu Beginn ihres Einsatzes bezüglich Korrosionsbeständigkeit weit überschätzt. Seit sie jedoch mit den notwendigen Schutzmaßnahmen versehen werden, ist ihre Korrosionsbeständigkeit sehr gut.

#### **3.3.3 Künstliche Bodenbewegungen durch Baumaßnahmen im Bereich der Rohrleitungen und erhöhter Verkehrsbelastung**

Rohrleitungen können in ihrem Bestand durch Baumaßnahmen gefährdet werden, wenn im Bereich der Einflusszone Bauarbeiten durchgeführt werden. Größe und Geometrie der Einflusszone sind unter anderem abhängig von den Abständen zu den Ausschachtungen, Baugruben, Fundamenten und der Baustelleneinrichtung.

Werden Aufgrabungen im Bereich von Rohrleitungen durchgeführt, muss eine Grabungsmeldung beim Leitungsträger gemacht werden. Je nach Wichtigkeit der Leitung wird dann ein Grabungskontrolleur entsandt, der diese Bauarbeiten überwacht. Dies ist vor allem bei Arbeiten direkt neben Hauptleitungen der Fall.

Auftretende Schäden werden aber im Bauzustand rasch erkannt. Hierbei ist auch die Frage der Haftung geklärt, da der Grundsatz gilt: Wer Schäden verursacht, haftet für diese. Grundlage hierfür ist § 823 Abs. 1 BGB. Das ausführende Unternehmen hat zur Einhaltung der Schadenverhütungspflicht die Schutzpflicht und damit die Erkundungspflicht. Der Betreiber von Leitungen hat die Auskunftspflicht (Kröfges W., 2002).

Zu größeren Problemen können Spätfolgen der Baumaßnahmen führen, wie z.B. Nachsetzen des umliegenden Erdreiches in den neu verfüllten Künettenkörper und dadurch hervorgerufene Rohrgebreechen. Da diese Schäden zeitlich verzögert zu den Baumaßnahmen auftreten, ist der Zusammenhang zwischen Schaden und möglichem Verursacher oft nur schwer herzustellen.

Ein weiterer Verursacher von künstlichen Bodenbewegungen ist der Verkehr. Höhere Achslasten und eine größere Anzahl von Lastübergängen verursachen Erschütterungen im Boden. Aufgrund der Verlegetiefe (ca. 1,5m) der Wasserrohre sind Schäden infolge erhöhten Verkehrsaufkommens aber sehr selten.

Von den Auswirkungen der künstlichen Bodenbewegungen sind insbesondere Rohre aus sprödebruchgefährdeten Materialien betroffen (siehe Abb. 3.2).

#### **3.4 Externe Einflüsse als Auswirkungen des Schadens**

Ist ein Schadensfall eingetreten, sind die Auswirkungen des Wasseraustrittes von vielen Faktoren abhängig.

Entscheidend ist die Austrittsmenge an Wasser, wie auch die vorherrschenden Bodenverhältnisse. Bei kiesig-sandigen Böden können große Wassermengen in tiefere Schichten abgeführt werden. Das hat den Vorteil, dass sich keine Wasseransammlung bildet. Der Nachteil ist, dass Schäden in solchen Böden schwerer festgestellt werden können, da das Leckwasser unbemerkt entweicht. Die Auswirkungen sind aber gering, da die Kosten des Wasserverlustes klein gegenüber möglichen Folgeschäden sind.

Enthält der Boden jedoch einen großen Feinkornanteil (schluffig-toniger Boden), kann das Wasser nicht oder nur sehr langsam versickern. Der Boden weicht auf und verliert an Tragfähigkeit. Es besteht die Gefahr, dass Schäden an Straßen auftreten, aber auch an Häusern infolge durchfeuchteter Wände.

Abb. 3.8 zeigt die möglichen Auswirkungen eines Rohrschadens.

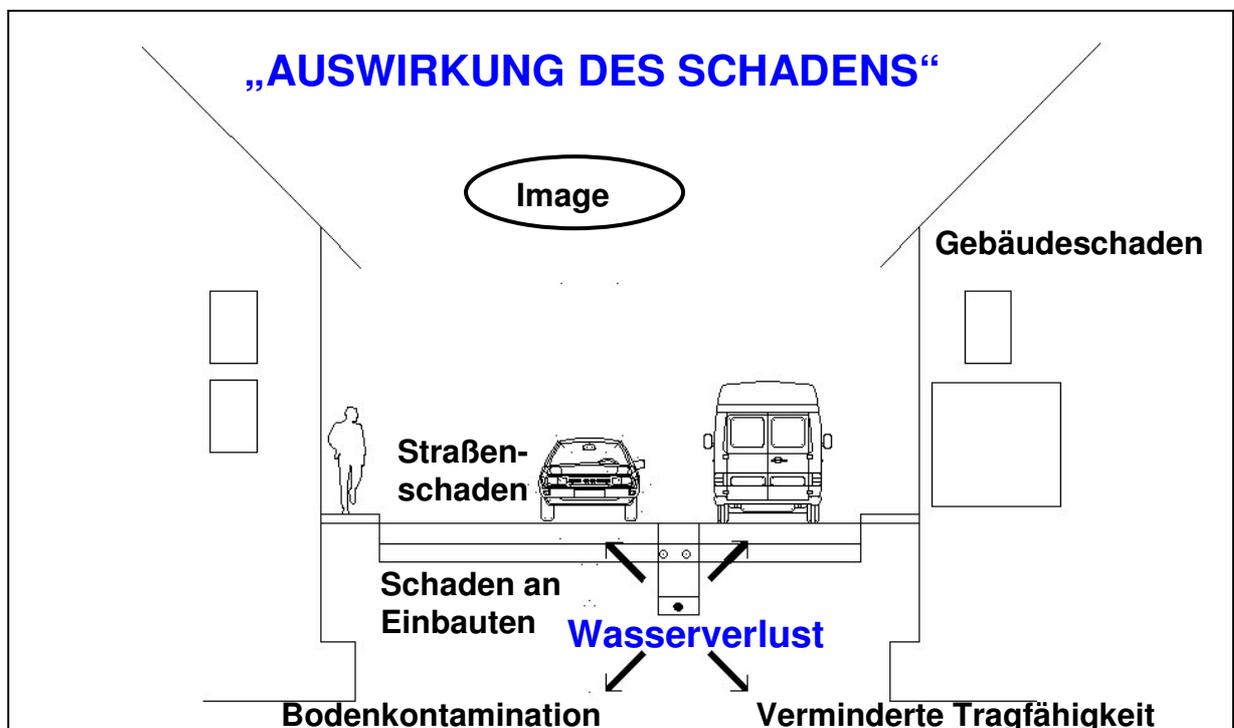


Abb. 3.8 Auswirkungen des Schadens

#### **3.4.1 Schäden an der Straße**

Der Straßenaufbau und die Dimensionierung des Oberbaus sind in der RVS 3.63 geregelt und hinsichtlich der Verkehrsbelastung in sechs Lastklassen eingeteilt.

Durch vermehrten Wasserzutritt kann es zur Durchnässung des Bodens kommen. Dies führt zu einer mehr oder weniger großen Verminderung der Tragfähigkeit.

Die Folge davon sind Verformungen des Untergrundes, die zur Bildung von Netzrissen und Spurrillen in der Straßendecke führen können.

Weiters kann es zu Frost- bzw. Tauschäden kommen. Das Risiko eines Frostschadens hängt sehr stark von der maximalen Frosteindringtiefe ab.

Im Winter gefriert das im Boden vorhandene Wasser. Durch nichthomogenes Gefrieren bilden sich Eislinsen. Dies führt zu einer beträchtlichen Volumsvergrößerung (ca. 9%). Daraus resultierende ungleichmäßige Hebungen führen zu Zugspannungen und in weiterer Folge zu Längsrissen in der Straßenbefestigung und lokalen Frostbeulen. Während der Tauperiode kommt es zur Durchfeuchtung des Bodens.

Ein Bodenmaterial ist frostsicher, wenn der Bodenfrost keine Eislinsen bilden kann und die Tragfähigkeitsverminderung zur Zeit des Auftauens nicht bedeutend ist (Straßenwesenskriptum 2003/2004, TU Graz).

**Tab. 3.8 Klassifikation der Frostempfindlichkeit von Bodenarten (Straßenwesenskriptum 2003/2004, TU Graz)**

Klasse	Frostempfindlichkeit	Bodenart
F1	Nicht frostempfindlich	Kies, Sand
F2	Gering bis mittel frostempfindlich	Ton, Kies und Sand mit Schluff und Ton
F3	Sehr frostempfindlich	Schluffe mit organischen Beimengungen

Die Beeinträchtigung des Oberbaues und der Straßenoberfläche führt zu einer Verschlechterung des Straßenzustandes. Daher sind Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungsarbeiten schon nach kürzeren Abständen notwendig.

Weiters ergibt sich aus der verminderten Tragfähigkeit eine eingeschränkte Befahrbarkeit, das heißt Geschwindigkeits- und Gewichtsbeschränkungen können notwendig sein.

Leider können keine allgemein gültigen Aussagen über den Zusammenhang des Alters der Straße und der Anfälligkeit des Ober- und Unterbaues bezüglich Durchnässung und verminderter Tragfähigkeit getroffen werden. Natürlich verschlechtert sich der Zustand der Straßen mit zunehmendem Alter, der Grad der

Verschlechterung kann jedoch nicht im Vorhinein prognostiziert werden. Ein Grund ist, dass viele Straßen des untergeordneten Straßennetzes nicht den neuesten Standards hinsichtlich des Straßenaufbaus und der eingesetzten Materialien entsprechen und somit mit neueren Straßen nicht vergleichbar sind. Ein weiterer Grund sind auch die unterschiedlichen Belastungen der Straßen. Die Einwirkungen auf Straßen sind vielfältig und daher ist auch ein einzelner Verursacher für einen Schaden nur in seltenen Fällen auszumachen.

Die Beurteilung der Straßen erfolgt ausschließlich zustandsorientiert. Das heißt, verschlechtert sich die Qualität der Straße über ein gewisses Maß, kommt es zu Instandsetzungsmaßnahmen.

#### **3.4.2 Schäden an der Straßenbahntrasse**

Befindet sich eine Straßenbahntrasse auf der Straße, gelten für die Verdichtung des Unterbaus/Frostschuttschicht die technischen Anforderungen der RVS.

In Straßen mit Gleisanlagen (Schienenstraßen) sollten längs der Gleisanlage verlaufende Einbauten außerhalb der Böschungsfäche, gebildet durch den natürlichen Reibungswinkel des anstehenden Bodens, verlegt werden, wobei jedoch der näher liegende Künnettenrand mindestens 1,20 m von der Außenkante der nächstliegenden Schiene entfernt sein muss.

Die Grazer Verkehrsbetriebe wenden als Oberbau eine Schienenverankerung mittels Rahmenstücken oder Altschienenstücken auf einer unbewehrten ca.25/26 cm starken Betonfundamentplatte an.

Die Betonplatte reicht 50 cm vom Schienenkopf seitlich hinaus. (C25/30 B7).

Aufgrund des massiven Aufbaues sind Schäden infolge Setzungen des Unterbaues, verursacht durch Ausspülungen und Verminderung der Tragfähigkeit bei Durchnässung des Bodens, an Gleisanlagen nicht zu erwarten.

Laut den Grazer Verkehrsbetrieben, Abteilung für Bahnerhaltung, sind keine Schäden am Gleiskörper, verursacht durch Rohrbrüche, bekannt.

#### **3.4.3 Schäden an Einbauten**

Wasserleitungen sind im städtischen Bereich in der Regel in der Fahrbahn zu situieren. Es ist anzustreben die Einbauten parallel zur Straßenachse zu verlegen. Sie müssen eine Mindestüberdeckung von 1,5 m aufweisen, um gegen Temperatureinflüsse geschützt zu sein. Geringere Überdeckungen sind nur dann zulässig, wenn die Gefahr des Einfrierens oder der mechanischen Beschädigung nicht besteht. Die Wasserversorgungsleitungen sollen höher als die

Abwasserkanäle geführt werden, da sonst die Gefahr besteht, dass aussickerndes Abwasser in die Leitung eindringt (ÖNORM B 2533, 2003).

Im städtischen Bereich befindet sich außer Wasserversorgungsleitungen noch eine Vielzahl an Einbauten im Straßenkörper.

Dazu zählen nach ÖNORM B 2533 (2003):

- Telekommunikationsanlagen  
Unter Telekommunikationsanlagen wird die Gesamtheit aller Anlagen verstanden, die den technischen Vorgang des Aussendens, Übermittels und Empfangens von Nachrichten jeglicher Art in der Form von Zeichen, Sprache, Bildern oder Tönen mittels dazu dienender technischer Einrichtungen ermöglichen.
- Erdungsanlagen  
Erdungsanlagen dienen als Betriebserdung, Schutzerdung oder Blitzschutzerdung.
- Energiekabelanlagen  
Unter Energiekabelanlagen versteht man die Gesamtheit aller verlegten Kabel, die der Übertragung und Verteilung elektrischer Energie dienen.
- Verkehrslichtanlagen  
Einbauten für die Verkehrserfassung bzw. –steuerung: Solche Einbauten sind Sensoren, Induktionsschleifen u. dgl., welche in der Fahrbahndecke ca. 0,1 m tief eingebaut werden.
- Öffentliche Straßenbeleuchtung  
Einbauten für öffentliche Straßenbeleuchtung sind z.B. Fundierungen für Maste.
- Gasversorgungsanlagen  
Gasversorgungsanlagen bestehen im Wesentlichen aus Gasrohrleitungen, darin eingebauten Armaturen und sonstigen Einbauten und dienen der Fortleitung brennbarer Gase.
- Fernwärmeleitungen  
Fernwärmeleitungen dienen zum Transport von Heißwasser oder Dampf zwischen den Erzeugungsanlagen und den Endverbrauchern.

- Abwasserentsorgungsanlagen

Als Abwasserentsorgungsanlage ist die Gesamtheit der technisch zusammenhängenden Anlagen eines Abwasserentsorgungsunternehmens von der Abwasseranfallstelle bis zur Kläranlage bzw. zum Vorfluter zu verstehen.

Die horizontalen und vertikalen lichten Mindestabstände zwischen den Einbauten sind in der ÖNORM B 2533 (2003) geregelt.

In Abb. 3.9 wird ein Verlegekorridor dargestellt, in welchem es möglich ist, Leitungen zu verlegen. Im Bereich von 0,70 m Einbautiefe überschneidet sich der Verlegekorridor von Gas-, Energie- und Fernmeldeleitung. Können diese Abstände nicht eingehalten werden, besteht die Möglichkeit, unter Festlegung geeigneter Schutzmaßnahmen, diesen Verlegekorridor zu überschreiten.

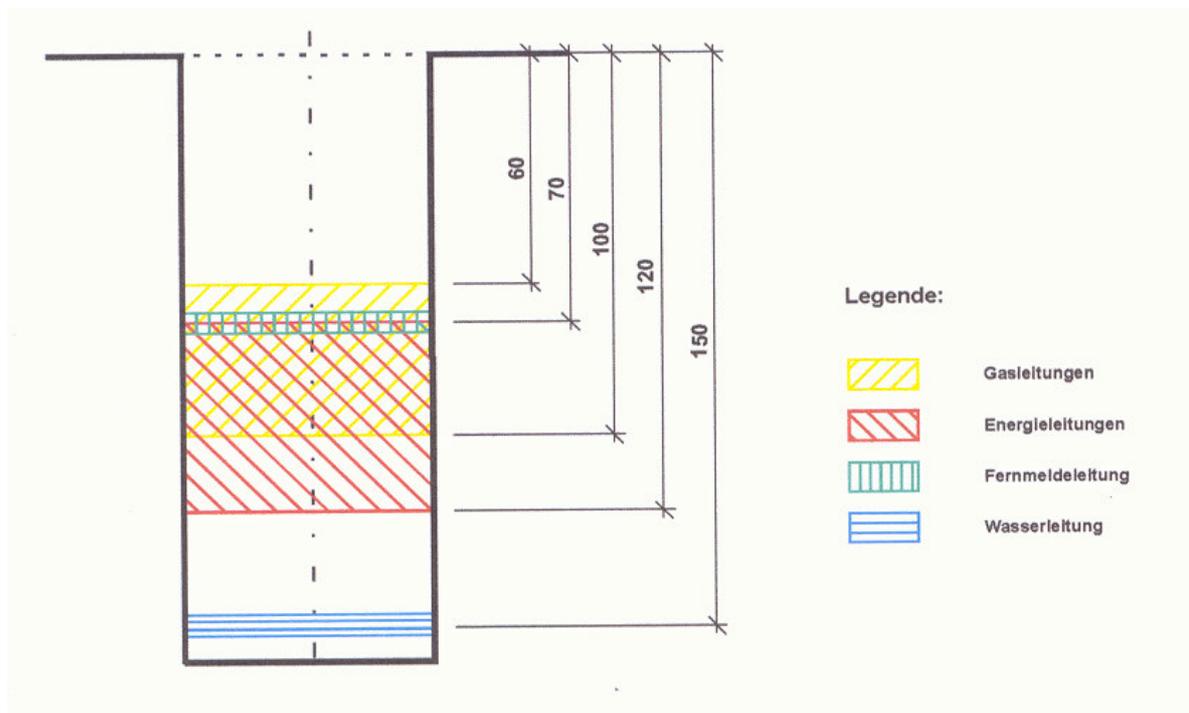


Abb. 3.9 Verlegekorridor (ÖNORM B 2533, 2003)

Durch Leckwasser kann es zur Ausspülung der Leitungsbettung benachbarter Einbauten z. B. Kanal kommen. Dies führt zu einer ungünstigen Auflagersituation und zu einer verminderten Lebensdauer.

Weiters kann austretendes Wasser in den Kanal eindringen. Der Kanal wirkt dann wie eine Drainage und führt das Leckwasser ab. Es kommt jedoch zu einer Mehrbelastung der Kläranlage.

Schäden an Einbauten infolge Leckwasser stellen aber nur ein untergeordnetes Problem dar und werden daher im Kriterienkatalog der externen Einflüsse nicht

berücksichtigt. Die Mindestabstände zwischen den Einbauten, die in der ÖNORM B 2533 (2003) geregelt sind, schaffen eine Schutzzone für die jeweilige Leitung. Die Berücksichtigung der Einbauten würde auch ein Bewertungsproblem darstellen, da es nicht wirklich möglich ist, den verursachten Schaden an Einbauten festzustellen und zu bewerten.

#### **3.4.4 Schäden an Gebäuden**

Die Verminderung der Tragfähigkeit des Bodens durch Aufweichung und Unterspülung verursacht Setzungen. Diese zeigen sich durch Rissbildungen.

Das unter Druck ausströmende Wasser führt zu einer geänderten Beanspruchungsart der Abdichtung. Es kommt zum Lastfall „aufstauendes Sickerwasser“.

Bei Gebäuden sind die verschiedenen Beanspruchungsarten der Feuchtigkeit nach DIN 18195 (2000) in Lastfälle eingeteilt (siehe Abb. 3.10).

#### **Bodenfeuchte**

Bodenfeuchtigkeit ist kapillar gebundenes Wasser. Eine Belastung durch Bodenfeuchtigkeit ist immer vorhanden, genauso wie das von Niederschlägen verursachte und nicht stauende Wasser (Sickerwasser).

Mit diesem Lastfall darf nur gerechnet werden, wenn das Baugelände sowie das Verfüllmaterial bis unter der Fundamentsohle aus nicht bindigen Böden bestehen. Der Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_{fm}$ ) des Bodens muss mindestens  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s betragen.

#### **Nicht stauendes (nicht drückendes) Wasser**

Nicht stauendes Wasser ist Oberflächen-, Sicker- oder Schichtenwasser, welches keinen hydrostatischen Druck auf Wandflächen aufbaut. Bei bindigen Böden sowie bei Hanglagen ist in der Regel nicht stauendes Wasser anzunehmen und dieser Lastfall durch Drainagemaßnahmen nach DIN 4095 sicherzustellen.

Die Ausführungen der Abdichtung im Lastfall Bodenfeuchtigkeit und nicht stauendes Wasser werden oft gleichgesetzt, da die Belastungsunterschiede gering sind.

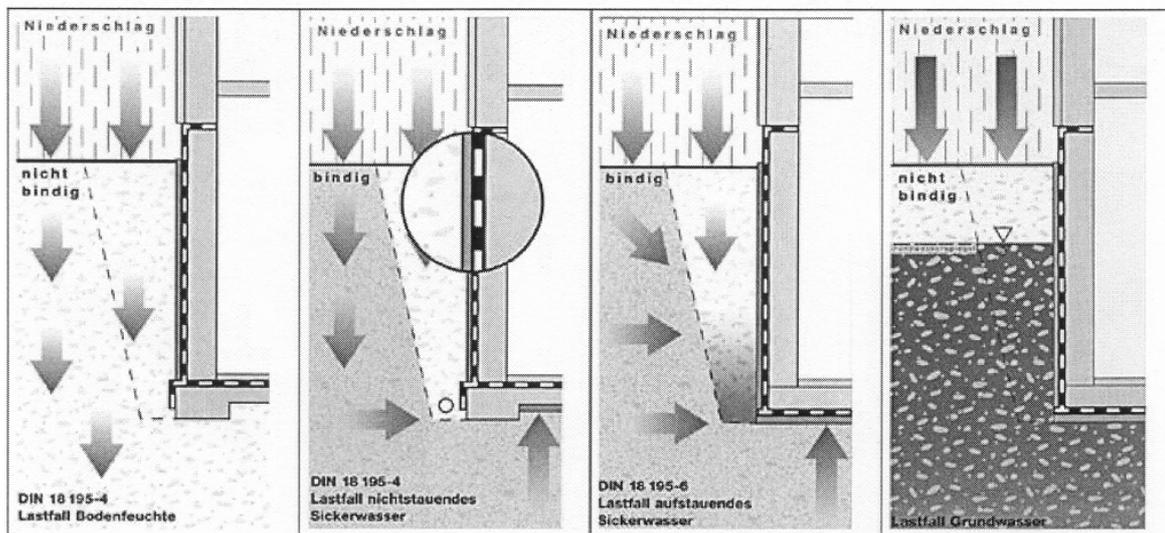
#### **Stauendes (drückendes) Wasser**

Stauendes Wasser liegt vor, wenn sich Stau-, Schichten- oder Oberflächenwasser aufstaut und hydrostatischen Druck ausübt, oder wenn das Bauwerk im Grundwasser steht. Der Lastfall drückendes Wasser von außen wird wie folgt unterteilt:

- 1) Drückendes Wasser als Stau-, oder Schichtenwasser, das nicht dauernd ansteht, oder bei bindigen Böden und Hanglagen, wo Drainagemaßnahmen nicht möglich sind.
- 2) Drückendes Wasser als Schichten- und Grundwasser. Hydrostatischer Druck wird dauernd ausgeübt. Ab einer gewissen Eintauchtiefe des Fundaments im Grundwasser sind Sonderkonstruktionen notwendig.

Für diese Situation sind vor allem die Altbauten nicht gerüstet. Es kommt zur Befeuchtung und Durchfeuchtung des Mauerwerks.

Die Folgen sind Schimmelbefall, Ablösung des Putzes bis hin zu Wasser im Keller und feuchten Wohnräumen.



**Abb. 3.10** Die verschiedenen Beanspruchungsarten der Feuchtigkeit (WAPENHANS et Jäckel, 2004)

Schäden an Gebäuden, bzw. generell Schäden, die Dritten durch eine defekte Wasserrohrleitung entstehen, sind durch Haftpflichtversicherungen abgedeckt.

Die Höhe der Versicherungsprämie hängt von der Inanspruchnahme der Versicherungsleistungen ab.

Die meisten Schäden sind allerdings keine Haftpflichtschäden, weil die Geschädigten ihre Ansprüche nicht geltend machen können.

#### **3.4.5 Ausspülung von Schadstoffen**

Die Gefahr der Ausspülung von Schadstoffen und anderen Altlasten durch unkontrolliertes Ausfließen besteht vor allem im Bereich von Industrieanlagen und alten Deponien.

Bei der Bewertung der Gefährdung für das Schutzgut Grundwasser sind folgende Beurteilungskriterien zu berücksichtigen (ÖNORM S 2088-1, 2004):

- Das Schadstoffpotential (chemisch, physikalisch, biologisch)  
In der ÖNORM S 2088-1 (2004) sind Orientierungswerte verschiedener Parameter angeführt, bei deren Überschreitung weitere Untersuchungen notwendig sind, bzw. eine Gefahr für das Grundwasser gegeben ist.
- Die hydrologischen, geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten  
Aufgrund eines räumlichen Modells der Standortverhältnisse und unter Beachtung der in der ÖNORM S 2088-1 (2004) angeführten Kriterien ist darzustellen, welche Möglichkeiten zur Ausbreitung von Schadstoffen im Untergrund gegeben sind.
- Die Schadstoffausbreitung im Grundwasser  
Grundwasseruntersuchungen sind dahingehend zu beurteilen, ob und in welchem Ausmaß eine Veränderung der Beschaffenheit des Grundwassers durch eine Altablagerung verursacht wird.

Auf die Bewertung von möglichen Schäden infolge Schadstoffausspülungen wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter eingegangen. Dieser Punkt wird daher im Kriterienkatalog nicht berücksichtigt.

Ein Grund dafür ist, dass es keine genauen Informationen über Art und Lage der vorhandenen Giftstoffe gibt. Deshalb ist es nicht möglich, im Zuge der Rehabilitationsplanung die Gefahr von Schadstoffausspülungen zu quantifizieren.

#### **3.4.6 Imageschaden**

Beurteilungskriterien für das Versorgungsimage sind Auswertungen über Anzahl und Tendenz von Kundenreklamationen. Wobei Beeinträchtigung der Wasserqualität und ein zu geringer Versorgungsdruck sehr häufige Reklamationspunkte sind.

Ein sehr wichtiger Punkt ist die Häufigkeit und Dauer von Versorgungsunterbrechungen (Roscher H. et al, 2004).

Probleme bereiten auch häufige oder sehr erschwerte Aufgrabungen in besonderen Bereichen (z.B. Fußgängerzone, Fernverkehrsstraße). Durch wiederholt erforderliche punktuelle Lecksanierungen in sensiblen Bereichen kommt es zu einer erheblichen Störung der Bevölkerung. Durch die Auffälligkeit der Sanierungsmaßnahmen entsteht der subjektive Eindruck, dass ständig kaputte Leitungen ausgebessert werden.

Obwohl Trinkwasserversorgungsunternehmen durch ihre monopolähnliche Stellung in ihren Versorgungsgebieten nicht primär auf ein gutes Image angewiesen sind, sind sie dennoch um ein positives Image bemüht.

Bauliche Maßnahmen, die sich auf das Image auswirken werden in dieser Diplomarbeit im Kapitel 3.5.6 Auswirkungen auf die Umgebung berücksichtigt.

So wird z.B. bei Instandsetzungsmaßnahmen an Leitungen, die unter stark befahrenen Straßen liegen, rund um die Uhr gearbeitet, um die Auswirkungen auf den Verkehr in Grenzen zu halten. Dies verursacht erhebliche Mehrkosten durch anfallende Überstunden und Nachtarbeit.

### **3.5 Externe Einflüsse auf die Durchführung der Rehabilitationsmaßnahmen**

Darunter versteht man örtliche und organisatorische Randbedingungen, unter denen die erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen durchzuführen sind.

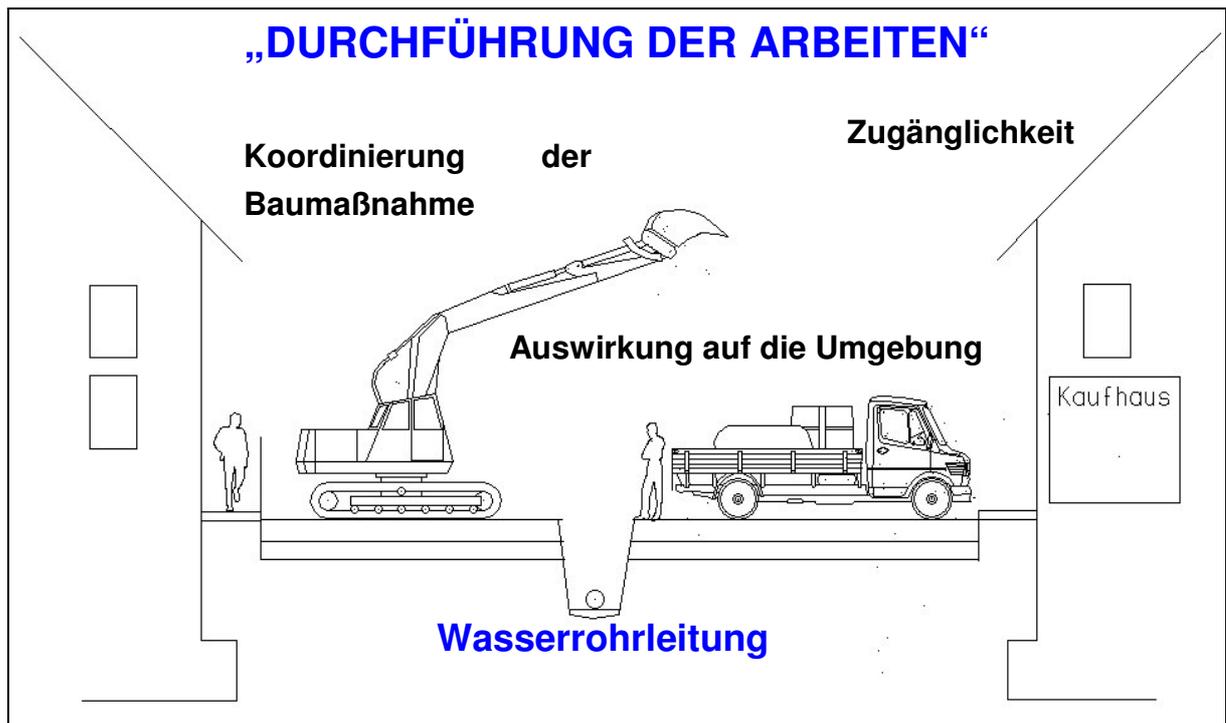
Bei der Planung von Rehabilitationsmaßnahmen sind Überlegungen hinsichtlich Zugänglichkeit und Lage der Leitung erforderlich.

Sind beengte Platzverhältnisse zu erwarten, bzw. befindet sich die Leitung auf öffentlichem oder privatem Grund?

In Abb. 3.11 sind die externen Einflüsse auf die Durchführung von Rehabilitationsmaßnahmen dargestellt.

Aufgrund besonderer Lage eines Rohrleitungsabschnitts (z.B. Hauptstraße, Hauptplatz) sind etwa Reparaturmaßnahmen nur erschwert möglich. Unter diesen Umständen ist es sinnvoll, Rehabilitationsmaßnahmen durchzuführen, selbst wenn die Schadensrate nicht den unternehmensspezifischen Richtwert übersteigt.

Bei der Durchführung von Rehabilitationsmaßnahmen bietet sich die Möglichkeit an, die Baumaßnahme mit anderen Ver-/Entsorgungsunternehmen zu koordinieren. Straßensanierungen und Verlegungen von Gasleitungen und Kanal sind Baumaßnahmen, die sich gut mit Rehabilitationsmaßnahmen des Rohrnetzes verbinden lassen.



**Abb. 3.11 Externe Einflüsse auf die Durchführung von Rehabilitationsmaßnahmen**

Eine gemeinsame Bauabwicklung senkt die Kosten und mindert die Belastung für die Umgebung, denn infolge des Baubetriebes kommt es zu umfassenden Störungen der Anrainer und des Verkehrs, wie auch des Handels und des Gewerbes.

#### **3.5.1 Lage der Leitung**

Die Lage der Leitung beschreibt die Nutzung der Fläche, die sich direkt oberhalb der Trinkwasserleitung befindet. Eine Grobeinteilung der Flächen erfolgt in

- Straßen,
- Plätze und
- Grünland.

#### **Straßen**

Die Einteilung städtischer Straßen nach RVS 3.931 (2001) ist in Tab. 3.9 dargestellt.

Je hochrangiger die Straße ist, desto teurer wird die Durchführung von Instandsetzungsmaßnahmen. Mehrere Gründe sind dafür verantwortlich.

Tab. 3.9 Funktionelle Gliederung der Straße nach RVS 3.931,1/2001 (vereinfachte Darstellung)

	Anliegerstraße	Sammelstraße	Hauptstraße	Hochleistungsstraße	
	räumliche Funktion				
Nutzung	Erschließen	Sammeln Erschließen	Verbinden Sammeln Erschließen	Durchleiten Verbinden	
Wohnen Erholen	alle Verkehrs- und Fahrzeugarten (bei Wohnnutzung)  max. 2 Fahrstreifen  V=30 km/h mit Gehsteig V= Schrittgeschwindigkeit ohne Gehsteig  ÖPNV nur in Ausnahmefällen	großer Baufluchtlinienabstand  alle Verkehrs- und Fahrzeugarten (Beschränkung möglich)  2 Fahrstreifen  V= 50 km/h: Trennung Fahrbahn /Radweg V= 30 km/h: Mischung mot. IV /Radfahrer  ÖPNV nur ausnahmsweise	großer Baufluchtlinienabstand  alle Verkehrs- und Fahrzeugarten (Beschränkung möglich)  mind. 2 Fahrstreifen  V= 50 km/h, abschnittsweise 30 km/h  ÖPNV	In verbaubtem Bereich mit Wohnnutzung, Handel, Dienstleistung und Verwaltung nur mit Umweltschutzmaßnahmen	großer Baufluchtlinienabstand  alle Verkehrs- und Fahrzeugarten  mind. 2 Fahrstreifen  V= 50 bis 80 km/h  ÖPNV
Handel Dienstleistung Verwaltung		alle Verkehrs- und Fahrzeugarten  V= 30 bis 50 km/h  ÖPNV	alle Verkehrs- und Fahrzeugarten  mind. 2 Fahrstreifen  V= 50 bis 70 km/h  ÖPNV		
Gewerbe Industrie					

Ein wichtiger Kostenfaktor ist die Wiederherstellung der Fahrbahnoberfläche. Bei hochrangigen Straßen ist der Straßenaufbau für hohe Lasten ausgelegt (siehe RVS 3.63, 1998) und daher auch in seiner Herstellung teuer. Dazu kommt, dass bei Haupt- und Hochleistungsstraßen die Aufbringung der Asphaltdecke maschinell erfolgen muss, und ein großer Abschnitt erneuert wird um eine gewisse Fahrbahnqualität zu erreichen.

Außerdem wird zusätzlich in Nachtschichten gearbeitet, um die Baudauer zu verkürzen.

Je stärker die Straße befahren ist, desto mehr kommt es zu einer Behinderung des Verkehrsflusses. Zusätzlich verschärft wird dieses Problem, wenn auf der Straße eine Straßenbahntrasse geführt wird. Die Platzverhältnisse werden stark beengt, da die Straßenbahngleise frei bleiben müssen.

### **Öffentlicher Platz, Fußgängerzone**

Die Plätze sind nach der Art ihrer Funktion eingeteilt.

- Grünfläche  
Grünflächen sind unbebaute Flächen wie Parkanlagen, Wiesen, Spielplätze
- Verkehrsfläche  
Die Einteilung erfolgt analog zur Straßeneinteilung
- Gewerbliche Fläche  
Gewerbliche Fläche sind Einkaufsstraßen, Fußgängerzonen und andere vergleichbar genutzte Flächen.
- Übergeordnete Funktion  
Unter übergeordneter Funktion versteht man Funktionen mit überregionaler Bedeutung (z.B. Verkehrsknotenpunkt), sowie das Stadtbild prägende Anlagen (z.B. Hauptplatz).

### **Grünland**

Unter Grünland sind landwirtschaftlich genutzte und andere unbebaute Flächen zu verstehen.

### **3.5.2 Zugänglichkeit**

Die Haupt- und Versorgungsleitungen sind im innerstädtischen Bereich meist entlang von Straßen und öffentlichen Flächen verlegt. Teilweise verlaufen sie aber auch auf privaten Grundstücken.

Ist dies der Fall, ist das Wasserversorgungsunternehmen bestrebt, die Zugänglichkeit zur Leitung sicherzustellen.

Dazu werden Dienstbarkeitsverträge verwendet. Das sind unbefristete Verträge, die zwischen Wasserversorgungsunternehmer und Grundstücksbesitzer abgeschlossen werden, und die den Zutritt zum Zwecke der Instandhaltung sicherstellen. Bei Abschluss des Dienstbarkeitsvertrages wird dem Grundstücksbesitzer einmalig eine Aufwandsentschädigung bezahlt. Die Gültigkeit des Dienstbarkeitsvertrages endet, wenn die Rohrleitung stillgelegt bzw. ausgebaut wird.

Ist die Zugänglichkeit und die Lage der Leitung rechtlich abgesichert, gilt die Lage als gesichert. Ist dies nicht der Fall, wird die Lage als ungesichert eingestuft. In speziellen Fällen kommt es zu einer Umlegungsforderung.

### **3.5.3 Koordinierung der Bautätigkeit mit Fremdbaumaßnahmen**

Bei der mittelfristigen Rehabilitationsplanung ist die Möglichkeit gegeben, die Netzrehabilitation auch auf Fremdbaumaßnahmen abzustimmen.

Daraus resultieren sowohl eine gemeinsame Nutzung des Baustellenbereiches, wie auch die Organisation der Baustelle.

Im Zuge von Bauarbeiten sind oft Straßensperren und Umleitungen sowie Schienenersatzverkehr für Straßenbahn und Schutzmaßnahmen für Anrainer notwendig.

Für gemeinsame Bautätigkeit eignen sich besonders

- Straßenbaumaßnahmen,
- Verlegung von Kanal,
- Verlegung von Gasleitungen.

Im Falle der LINZ AG ist das Rehabilitationsprogramm für Trinkwasserleitungen großteils auf das Straßenbauprogramm der Stadt Linz aufgebaut. Das bringt den Vorteil, dass ein wichtiger Kostenfaktor, die Wiederherstellung der Asphaltoberfläche, entfällt.

Eine zweite Möglichkeit bietet die gemeinsame Verlegung mit Kanal und Gasleitungen, da sie, wie die Trinkwasserleitungen, in der Straßenmitte situiert sind.

Dabei erfolgt die Verlegung schrittweise. Zuerst wird die Leitung mit der größten Einbautiefe verlegt und die Künette wieder verfüllt. Im nächsten Schritt erfolgt die Leitung mit der zweitgrößten Einbautiefe, danach die dritte Leitung. Die Kosten der Wiederherstellung der ursprünglichen Oberfläche werden geteilt.

Die Arbeiten für Kanal, Wasserversorgung und Gasleitung werden gemeinsam ausgeschrieben. Die Kanalarbeiten sind der Hauptpunkt der Ausschreibung, da diese das größte Auftragsvolumen haben. Der Kanal erfordert die breiteste Künette und die größte Verlegetiefe (>1,8 m) der drei genannten Leitungen. Daraus resultieren eine große Menge an Aushubmaterial aber auch ein günstiger Einheitspreis pro Kubikmeter Aushub.

Die Arbeiten für Gas- und Wasserleitungen werden als Zusatz an die Ausschreibung für den Kanal angehängt.

Der Aushub für Wasserversorgungsleitungen ist am teuersten, da die erforderliche Künette eine Tiefe von etwa 1,5 m aufweist und schmal ausgeführt wird. Ab einer Tiefe von 1,25 m muss die Künette gepölzt werden und Querungen mit anderen Einbauten stören den Arbeitsfortschritt. Die geringe Breite führt zu einer geringen Aushubmenge.

Das Verlegen der Gasleitung ist wiederum billiger, da aufgrund der geringen Künettentiefe nicht gepölzt werden muss und auch weniger Querungen mit anderen Einbauten zu überwinden sind.

Infolge der gemeinsamen Ausschreibung kann laut Ing. Gurtner (LINZ AG) der Einheitspreis pro Kubikmeter Aushub um etwa 20 bis 40% gesenkt werden.

Die Koordination von Baumaßnahmen und deren gemeinsame Durchführung senken die Kosten und minimieren die Auswirkungen auf das Umfeld (Anrainer, Verkehr).

#### ***3.5.4 Einsparung / Kosten durch Verschiebung der Sanierung nach vorne / hinten bezüglich Abschreibungen , Investitionskosten***

Investitionen in Rohrnetze verursachen sehr hohe einmalige Ausgaben bei der Anschaffung. Die Kosten für den Betrieb und die Instandhaltung sind im Vergleich dazu gering. Erst mit zunehmendem Alter der Rohrstränge steigen die Kosten für die Instandhaltung aufgrund der häufiger werdenden Rohrschäden wieder an.

Die Berechnung des optimalen Rehabilitationszeitpunktes auf der Grundlage von Abschreibungen und Investitionskosten wird im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht weiter behandelt.

#### ***3.5.5 Interne Kosten der Baumaßnahme***

Interne Kosten sind nach Kolator (1998) jene Kosten, die bei der Nutzung eines Gutes dem Nutzer zufallen, z.B. Lohnkosten für eine Arbeitskraft.

Werden Rehabilitationsarbeiten durchgeführt, sind die internen Kosten des Bauvorhabens die Kosten, die der Bauherr aus der Planung und Errichtung des Bauwerkes zu tragen hat.

Sie werden in diesem Absatz erwähnt, da sie natürlich ein entscheidendes Kriterium hinsichtlich der Rehabilitationsplanung sind, und von externen Einflüssen mitbestimmt werden. Sie sind jedoch kein Teil dieser Diplomarbeit.

Diese Ausgaben sind unumgänglich und nicht wirklich beeinflussbar, da die Leistungen ausgeschrieben und nach dem Bestbieterprinzip vergeben werden.

Nach Herz (1995) spielen die Erneuerungskosten aber eine wichtige Rolle bei Berechnungen des optimalen Rehabilitationszeitpunktes. Je teurer die Rehabilitationsmaßnahme angesetzt wird, umso später sollte sie erfolgen, da sie den Kosten für Wartung und mögliche Schäden bei der Berechnung des Gesamtkostenminimums gegenübergestellt wird.

### 3.5.6 Auswirkungen der Baumaßnahme auf die Umgebung

Während des Baustellenbetriebes kommt es zu Störungen des Baustellenumfeldes. Betroffen sind vor allem die Anrainer, aber auch Verkehrsteilnehmer, Handel und Gewerbe, sowie die Umwelt. Diese Beeinträchtigungen, z.B. Lärm, Schmutz, Ausfälle im Einzelhandel, usw. sind für das Wasserversorgungsunternehmen nicht kostenwirksam. Vielmehr besteht ein gesellschaftlicher und politischer Druck, die Behinderungen für die betroffenen Personen zu minimieren.

Die folgende Abbildung 3.11 von Kolator (1998) zeigt die Gliederung der Auswirkungen nach betroffenen Bereichen, wobei die Auswirkungen auf die Umgebung hier externe Effekte genannt werden.

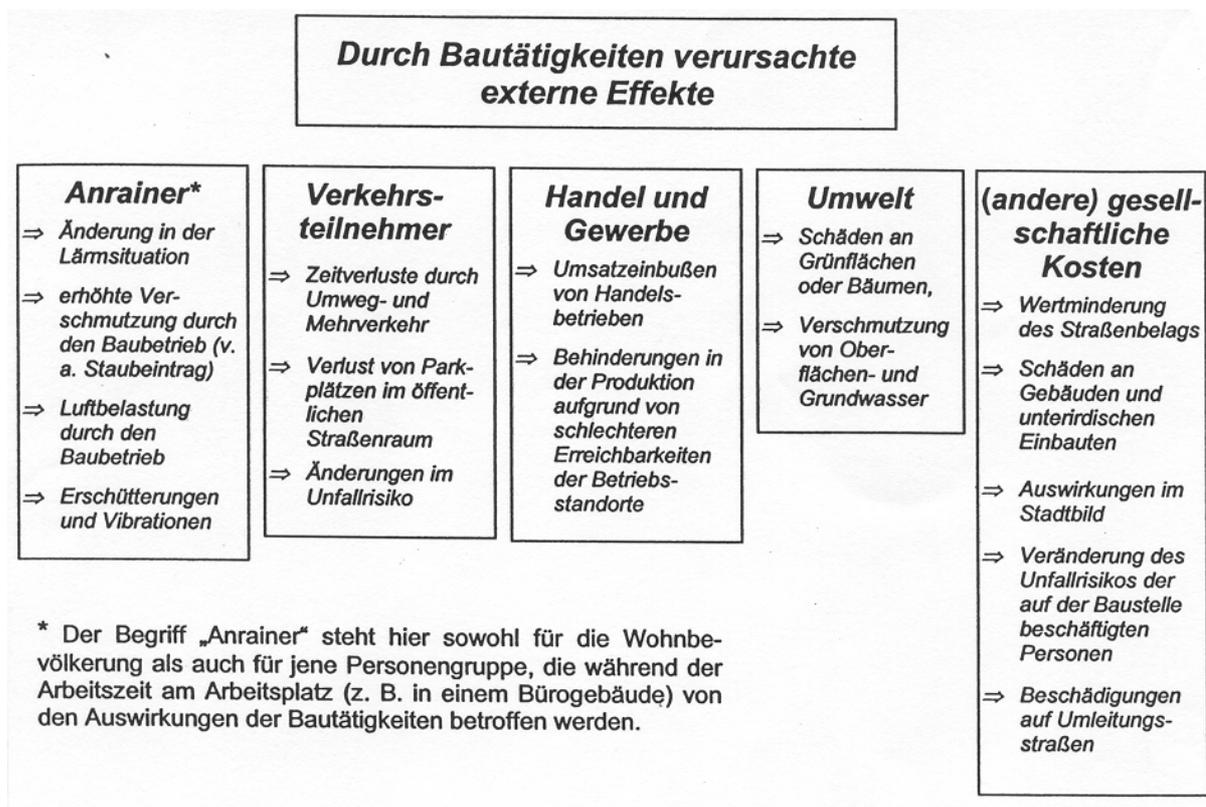


Abb. 3.12 Überblick und Einteilung zu den Auswirkungen im städtischen Leitungsbau (Kolator R., 1998)

Ein Faktor für das Ausmaß der Auswirkung ist die Art der Nutzung und die Dichte der Bebauung des betroffenen Gebietes.

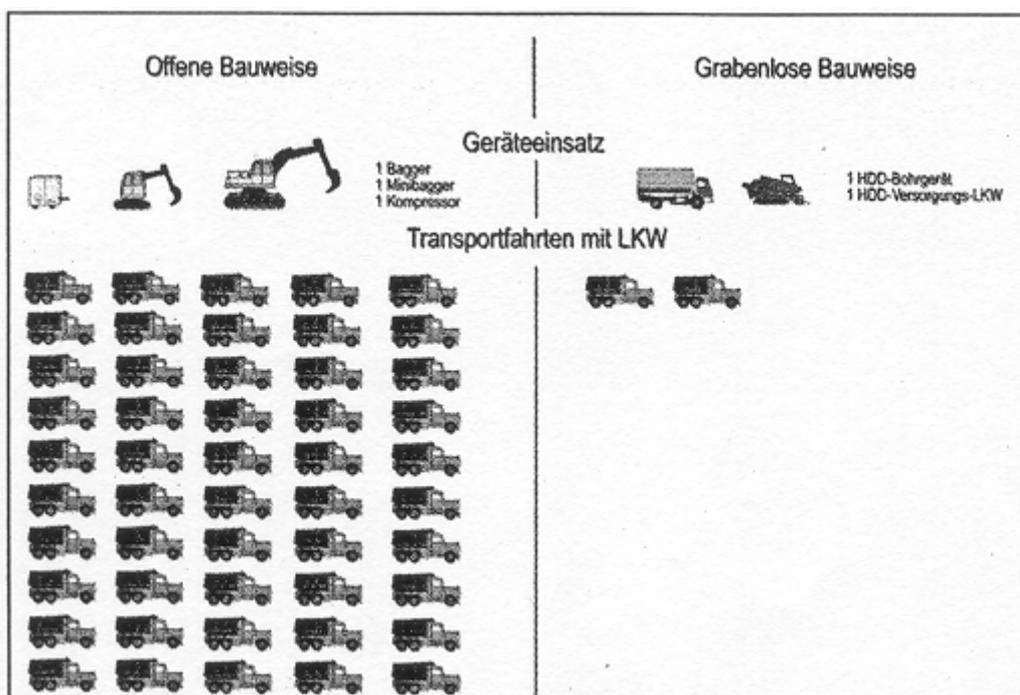
Ein stark beeinträchtigter Leidtragender von Baustellen ist naturgemäß der Handel.

Da ein Großteil der Leitungen entlang von Straßenzügen verlegt ist, ist die Größe des Verkehrsaufkommens mit zusätzlichem öffentlichem Verkehr (Straßenbahn) ein weiteres wichtiges Kriterium.

Die Auswirkungen sind auch von der angewandten Technik abhängig. Im städtischen Bereich herrschen häufig beengte Platzverhältnisse, hierfür bieten sich alternative Bauverfahren an.

Bei grabenloser Bauweise sind die Auswirkungen auf die Umgebung viel geringer. Markante Unterschiede sind der Geräteeinsatz und die notwendigen Transportfahrten, siehe Abb. 3.12 (Bayer H., 2004).

Wird grabenloser Tiefbau ausgeführt, beansprucht man weniger Verkehrsfläche, geringere Mengen an Baustoffen und weniger Deponieraum. Natürlich sind auch die Oberflächen-Folgekosten (Reparaturkosten des Straßenbelages) infolge der nur punktuell notwendigen Aufgrabungen geringer.



**Abb. 3.13 Vergleich Leitungsbau: 1000 m 110 mm Durchmesser PE-HD offene Bauweise und grabenlose Bauweise in Bezug auf Geräteeinsatz (Bayer, 2004)**

Das Hauptproblem der grabenlosen Bauweise ist, dass sie genau dort, wo ihre Vorteile am wirksamsten sind, in dicht bebauten Bereichen, nicht oder nur bedingt einsetzbar ist.

Die vielen zu erwartenden Querungen mit anderen Einbauten machen die Anwendung der grabenlosen Bauweise problematisch.

Weiters erfordert die Häufigkeit der Anschlüsse das Freilegen der Leitung an sehr vielen Stellen, was die Wirtschaftlichkeit und die Sinnhaftigkeit der Bauweise in diesen Bereichen beeinträchtigt.

## 4 Erarbeitung eines Bewertungsschemas

### 4.1 Allgemeines

Um die Rahmenbedingungen in der mittelfristigen Rehabilitationsplanung berücksichtigen zu können, müssen sie zwei Kriterien erfüllen.

#### **Die Erfassbarkeit der Rahmenbedingungen**

Es gibt eine Vielzahl an Einwirkungen, denen erdverlegte Rohrleitungen ausgesetzt sind. Um bestimmte externe Einflüsse als Rehabilitationskriterien verwenden zu können, müssen sie als solche identifiziert werden und einer bestimmten Auswirkung zuordenbar sein.

#### **Die Beurteilbarkeit der Auswirkung der Rahmenbedingungen**

Wird eine durch externe Einflüsse verursachte Auswirkung festgestellt, muss die resultierende Schadenswirkung größenmäßig beurteilbar sein.

Die Quantifizierung kann und muss nicht in absoluten Zahlen oder Geldwerten erfolgen. Es wäre eine detaillierte Dokumentation der herrschenden Rahmenbedingungen, beginnend bei der Herstellung der Leitung bis hin zur notwendigen Rehabilitation, erforderlich. Selbst dann ist eine exakte Zuteilung der Schadenswirkung zu einem bestimmten Einfluss nicht immer möglich.

Weiters fehlen Schadensstatistiken und Unterlagen über Schadensabwicklungen von entstandenen Folgeschäden. Ein Grund dafür ist, dass durch Wasseraustritt verursachte Schäden von Haftpflichtversicherungen abgedeckt werden. Für die Wasserversorgungsunternehmen fallen an Kosten nur die Versicherungsprämien an.

Bei vielen Schäden jedoch, die nicht zwingend auf den Verursacher schließen lassen, können die Ansprüche nicht geltend gemacht werden. Diese so genannten sozialen Kosten werden von unbeteiligten Dritten getragen.

Sinnvoll ist eine relative Beurteilung innerhalb eines Systems mit Hilfe von Punkten. Externe Einflüsse werden als Bewertungskriterien definiert, und je nach Bedeutung mit Punkten versehen. Daraus resultiert eine größenordnungsmäßige Quantifizierung. Diese neuen Kriterien, verknüpft mit bereits bestehenden technischen und wirtschaftlichen Kriterien, bilden eine ausreichend genaue Grundlage für die mittelfristige Rehabilitationsplanung.

Es gilt jedoch zu bedenken, dass, je mehr Kriterien im System berücksichtigt werden, desto aufwendiger die Ermittlung der erforderlichen Daten und ihre Bewertung wird. Da es bis jetzt keine Einbeziehung externer Einflüsse in die Rehabilitationsplanung gibt, ist das notwendige Datenmaterial, wenn überhaupt,

nicht vollständig vorhanden. Das heißt, die Erarbeitung der Datengrundlage erfordert viel Zeit und Geld. Es kann daher zweckmäßig sein, mit Hilfe der A-B-C Analyse (Pareto-Prinzip) Rehabilitationskriterien, die den größten Einfluss nehmen, herauszufiltern und vorrangig zu behandeln.

Das Ziel der ABC-Analyse ist es also, herauszufinden, welchem Bereich besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte. Mit der ABC-Analyse ist es somit möglich, das Wesentliche vom Unwesentlichen zu trennen.

### **4.2 Einteilung der externen Einflüsse**

#### **4.2.1 Positive Wirkung externer Einflüsse**

Die Instandsetzungsarbeiten mit Baumaßnahmen anderer Unternehmen zu koordinieren, bietet die Chance, die anfallenden Kosten zu minimieren.

Dabei handelt es sich meist um Straßenbaumaßnahmen oder Maßnahmen anderer Ver-/Entsorgungssparten. Wie groß der wirtschaftliche Vorteil ist, hängt von der Lage der Leitung ab und inwieweit sich die Bauvorhaben ähnlich sind. Können die Leitungen in gemeinsamer Trasse verlegt werden, oder ist eine separate Trassenführung notwendig? Bei Straßenarbeiten unterscheidet man, ob nur die Deckschicht erneuert wird oder ob auch der Unterbau saniert wird.

#### **4.2.2 Negative Wirkung externer Einflüsse**

Direkten Einfluss auf die zu erwartende Lebensdauer der Wasserleitungen nehmen die Bodenverhältnisse und das Auftreten von Streuströmen. Verursacher der Außenkorrosion sind die Streuströme der Straßenbahnen und aus Stahlbetonbauten.

Besonders gefährdet durch Streustromeinflüsse sind nicht geschützte bzw. ungenügend isolierte metallische Leitungen.

Die Bodenverhältnisse wirken auf alle erdverlegten Rohre, und sind daher grundsätzlich nicht als negative Wirkung auf die Haltbarkeit der Leitungen zu sehen. Es ist jedoch festzustellen, dass gewisse Bodenverhältnisse die Schadenswahrscheinlichkeit erhöhen.

Ein Grund dafür sind Bewegungsvorgänge im Boden. Die Schadenhäufigkeit ist nach Kottmann (1984) in bindigen Böden höher als in nicht bindigen Böden; bindige Böden neigen bei wechselndem Wassergehalt stärker zu Bodenbewegungen als nicht bindige Böden.

In speziellen Fällen, z.B. einem Rutschhang, kommt es zu starken Bodenbewegungen.

Auch die Bodenaggressivität hinsichtlich Korrosionswirkung nimmt im Allgemeinen von nicht bindigen Böden zu bindigen Böden zu.

Weiters gilt es, das Schadenspotential aus möglichen Folgeschäden, verursacht durch Leckwasser, zu erwähnen. Diese sind Schäden an Häusern durch Durchfeuchtung der Wände, Rissbildungen bei Straßen durch Aufweichung des Unterbaues sowie Ausspülungen von Schadstoffen und negative Beeinflussung von Einbauten, wobei Schäden an Straßen am häufigsten auftreten.

Speziell bei Böden mit einem großen Feinkornanteil (schluffig-toniger Boden) ist die Gefahr der Verminderung der Tragfähigkeit durch Aufweichen des Bodens gegeben, da das Leckwasser oft nicht schnell genug versickern kann und sich Wasseransammlungen bilden.

Es ist daher anzustreben, Leitungsstränge, die diesbezüglich ein hohes Schadenspotential aufweisen, vorrangig zu rehabilitieren.

Das Image eines Wasserversorgungsunternehmens leidet nicht nur durch Versorgungsunterbrechungen, sondern auch durch die notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen, wenn dadurch Personen gestört werden. Der Geräteeinsatz durch die Baggerarbeiten, Asphalt-schneide- und -aufbrucharbeiten und die LKW-Fahrten verursacht eine beträchtliche Lärm- und Staubentwicklung. Bei Aufgrabungen von stark befahrenen Straßen kommt es zusätzlich zu Behinderungen des Verkehrs, bedingt durch notwendige Umleitungen oder Sperren.

Diese Auswirkungen auf die Umgebung sind zahlenmäßig schwer zu erfassen, da sie zumeist keine Kosten für das Wasserversorgungsunternehmen verursachen.

Aufgrund des gesellschaftlichen Drucks ist man dennoch bestrebt, die Störungen infolge von Baumaßnahmen so klein wie möglich zu halten.

### **4.3 Kriterienkatalog**

Alle Rahmenbedingungen, die den zu beurteilenden Leitungsstrang betreffen, werden im nachfolgenden Kriterienkatalog zusammengefasst.

Der Kriterienkatalog dient als Grundlage der objektiven Beschreibung der vorhandenen Rahmenbedingungen, ohne dass es zu einer Bewertung der einzelnen Einflüsse kommt.

	Kriterien	Zutreffendes markieren
1.	<b>Art der Leitung</b>  Anschlussleitung Versorgungsleitung Hauptleitung	
2.	<b>Rohrleitungsmaterial</b>  Korrosionsgefährdet Gering korrosionsgefährdet Nicht korrosionsgefährdet Sprödbruchanfällig Nicht sprödbruchanfällig	
3.	<b>Bodenverhältnisse</b>  Grobkörniger Boden Gemischtkörniger Boden Feinkörniger Boden  <b>Starke natürliche Bodenbewegungen</b> Z.B. Rutschhang  <b>Bodenaggressivität</b> Korrosionsgefährdung metallische Werkstoffe  Nicht aggressiv Schwach aggressiv Aggressiv Stark aggressiv	

4.	<p><b>Lage der Leitung</b></p> <p><b>Straße</b></p> <p>Gehweg, Gehsteig, Geh- und Radweg  Wohnstraße  Anliegerstraße (lokaler Verkehr)  Sammelstraße (örtlicher Verkehr)  Hauptstraße (regionaler Verkehr)  Hochleistungsstraße (überregionaler Verkehr)</p> <p>Zusätzlich öffentlicher Verkehr (Straßenbahn)</p> <p><b>Öffentlicher Platz, Fußgängerzone</b></p> <p>Grünfläche  Verkehrsfläche (wie Straße)  Gewerbliche Fläche  Übergeordnete Funktion</p> <p><b>Grünland</b></p>	
5.	<p><b>Bebauung</b></p> <p><b>Direkt durch mögliche Schäden betroffen</b></p> <p>Wohnanlagen  Dichte Bebauung  Mäßig dichte Bebauung  Geringe Bebauung</p> <p>Industrieanlagen  Dichte Bebauung  Mäßig dichte Bebauung  Geringe Bebauung</p> <p>Gewerbliche Bebauung  Dichte Bebauung  Mäßig dichte Bebauung  Geringe Bebauung</p> <p>Historische (denkmalgeschützte) Bebauung</p>	

	<p><b>Durch Rehabilitationsmaßnahmen betroffen</b></p> <p>Wohnanlagen  Dichte Bebauung  Mäßig dichte Bebauung  Geringe Bebauung</p> <p>Industrieanlagen  Dichte Bebauung  Mäßig dichte Bebauung  Geringe Bebauung</p> <p>Gewerbliche Bebauung  Dichte Bebauung  Mäßig dichte Bebauung  Geringe Bebauung</p> <p>Historische Bebauung (denkmalgeschützt)</p>	
6.	<p><b>Zugänglichkeit</b></p> <p>Öffentliches Grundstück</p> <p>Gesicherte Lage in Fremdgrund  Ungesicherte Leitungslage in Fremdgrund  Mit Umlegungsforderung  Ohne Umlegungsforderung</p>	
7.	<p><b>Streustrom vorhanden</b></p>	
8.	<p><b>Gemeinsame Baumaßnahme</b></p> <p>Maßnahmen anderer Ver-/Entsorgungssparten  In der gleichen Trasse (gemeinsame Verlegung)  In anderer Trasse</p> <p>Straßenbaumaßnahmen  Erneuerung des Unterbaus  Erneuerung der Deckschicht</p>	
9.	<p><b>Image</b></p> <p>häufige und evtl. steigende Anzahl von berechtigten Kundenreklamation</p>	
10.	<p><b>Gefahr von Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahmen</b></p>	

### **Erläuterungen zu den Bewertungskriterien:**

Zu 1.

Die Einteilung bezüglich Art der Leitung erfolgt gemäß Kapitel 2.2.2 (Definition nach ÖNORM EN 805).

Zu 2.

Die Leitungsmaterialien werden nach ihren Eigenschaften hinsichtlich Sprödebrüchanfälligkeit und Korrosionsanfälligkeit eingeteilt (siehe Kapitel 3.1.2).

Zu 3.

Zur Einteilung der Bodenverhältnisse wird Tab. 3.6: Übersicht über mineralische Böden (vereinfachte Darstellung) nach ÖNORM B 4400 (1978), verwendet (siehe Kapitel 3.3.1.4).

Bewegungsvorgänge im Boden:

Unter starken natürlichen Bodenbewegungen sind ein Rutschhang oder ähnlich starke Bewegungen zu verstehen, die weit über übliche Bodenbewegungen, z.B. Bewegungsvorgänge bindiger Böden bei schwankendem Wassergehalt, hinausgehen.

Die Bodenaggressivität und die daraus resultierende Korrosionsgefährdung von metallischen Werkstoffen wird nach Tab. 3.3: Angaben zur Beurteilung von Erdböden (DVGW-GW 9, 1986) und Tab. 3.4: Bodenklasse, Bodenaggressivität und Korrosionswahrscheinlichkeit nach DVGW-GW 9, 1986 (siehe Kapitel 3.3.1.1) bewertet.

Zu 4.

Die Lage der Leitung beschreibt, was sich direkt über der Rohrleitung befindet; Straße, Platz oder Grünland (siehe Kapitel 3.5.1).

Die Straßen werden nach der Größe des Verkehrsaufkommens unterteilt.

Die Plätze sind nach der Art ihrer Funktion eingeteilt.

Unter übergeordnete Funktion versteht man Funktionen mit überregionaler Bedeutung (z.B. Verkehrsknotenpunkt, Hauptplatz).

Zu 5.

Im Punkt Bebauung wird beurteilt, welche Gebäude sich entlang der Leitungstrasse befinden und wie die Gebäude genützt werden.

Unterschieden wird, ob sich die Bebauung direkt an der Trasse befindet und so möglichen Folgeschäden eines Wasseraustrittes, siehe Kapitel 3.4.4, ausgesetzt ist.

Befindet sich die Bebauung in einem größeren räumlichen Abstand zur Trasse, treten diese Folgeschäden nicht auf. Es kommt nur zu einer Beeinträchtigung der Nutzung der Gebäude für den Zeitraum, in dem Rehabilitationsmaßnahmen durchgeführt werden.

Eine generelle Angabe, wie groß der räumliche Abstand zum Wasserrohr sein muss, damit Folgeschäden am Gebäude nicht auftreten, kann nicht gemacht werden. Dieser Punkt wird individuell für jeden Leitungsabschnitt festgelegt.

Zu 6.

Ein Großteil der Leitungen befindet sich auf öffentlichem Grund.

Führt die Leitungstrasse über Fremdgrund, wird eingeteilt, ob die Lage der Leitung als gesichert oder ungesichert gilt (siehe Kapitel 3.5.2).

Zu 7.

Besteht die Gefahr von Streuströmen (siehe Kapitel 3.3.2).

Zu 8.

Die Koordinierung der eigenen Rehabilitationsmaßnahmen mit Bautätigkeiten anderer Ver-/ Entsorgungsunternehmen, siehe Kapitel 3.5.2, schafft die Möglichkeit einer Kostensenkung durch gemeinsame Nutzung der Baustelleninfrastruktur und der Aufgrabungen.

Je mehr Bauabläufe sich gleichen und somit doppelt genutzt werden können, desto größer ist die mögliche Kostenersparnis.

Zu 9

Das Image des Wasserversorgungsunternehmens wird durch viele Punkte, siehe Kapitel 3.4.6, beeinflusst.

Die Auswertung der Häufigkeit und Tendenz von Kundenreklamationen stellt eine Möglichkeit dar, Rückschlüsse auf die Zufriedenheit der Kunden zu ziehen.

Zu 10.

Werden Bauarbeiten in unmittelbarer Nähe der Leitungstrasse durchgeführt, besteht die Gefahr, dass die Wasserrohre beschädigt werden (siehe Kapitel 3.3.3).

## 4.4 Bewertungsverfahren

Die mit Hilfe des Kriterienkataloges erfassten Daten werden in weiterer Folge einer Bewertung unterzogen. Um eine möglichst objektive Bewertung zu erreichen, werden zwei unterschiedliche Bewertungsmethoden angewandt.

Bei der direkten Bewertung (Kapitel 4.4.1) werden den Kriterien des Kriterienkataloges Punkte zugewiesen.

Das zweite Bewertungsschema (Kapitel 4.4.1) ist ein mehrstufiges Verfahren. Dabei werden Kriterien, die gemeinsam einen externen Einfluss (z.B. Schaden an Straße) bilden, zusammengefasst und miteinander multipliziert. Danach werden die externen Einflüsse mit einem Faktor versehen, um eine Gewichtung zu erreichen, die der Bedeutung der Auswirkung des externen Einflusses entspricht.

### 4.4.1 Direkte Bewertung der Kriterien

Bei der direkten Bewertung werden, wie schon zuvor erklärt, die Kriterien mit Punkten bewertet. Tab. 4.1 zeigt das Punkteschema der Bewertung. Die Kriterien entsprechen dem Kriterienkatalog von Kapitel 4.3.

Tab. 4.1 Punkteverteilungsschema der direkten Bewertung

	Kriterien	Bewertungspunkte
1	Art der Leitung	
	Anschlussleitung	0
	Versorgungsleitung	1
	Hauptleitung	2
2a	Rohrmaterial/ Korrosion	
	Korrosionsgefährdet	2
	Gering korrosionsgefährdet	1
	Nicht korrosionsgefährdet	0
2b	Rohrmaterial/ Bruchanfälligkeit	
	Sprödbuchanfällig	2
	Nicht sprödbuchanfällig	0
3a	Bodenverhältnisse/ Bodenbewegung	
	Grobkörniger Boden	0
	Gemischtkörniger Boden	2
	Feinkörniger Boden	3
	Rutschhang	4

## 4 Erarbeitung eines Bewertungsschemas

<b>3b</b>	Bodenverhältnisse/ Korrosionswirkung	
	Nicht aggressiv	0
	Schwach aggressiv	1
	Aggressiv	2
	Stark aggressiv	3

<b>4</b>	Lage der Leitung	
	Gehweg, Gehsteig, Geh- und Radweg	1
	Wohnstraße	2
	Anliegerstraße (lokaler Verkehr)	2,5
	Sammelstraße (örtlicher Verkehr)	3
	Hauptstraße (regionaler Verkehr)	3,5
	Hochleistungsstraße (überregionaler Verkehr)	4
	Grünfläche	0
	Verkehrsfläche	
	Gewerbliche Fläche	2,5
	Übergeordnete Funktion	4
	Grünland	0
	zusätzlich öffentlicher Verkehr (Straßenbahn)	+0,5 (gesamt maximal 4 Punkte)

<b>5</b>	Bebauung	
	Wohnanlage dicht	2
	Wohnanlage mäßig	1
	Wohnanlage gering	0
	Industrie dicht	2
	Industrie mäßig	1
	Industrie gering	0
	Gewerblich dicht	2
	Gewerblich mäßig	1
	Gewerblich gering	0
	Historische Bebauung	2

<b>6</b>	Zugänglichkeit	
	Öffentliches Grundstück	0
	Gesicherte Lage in Fremdgrund	0,5
	Ungesicherte Leitungslage in Fremdgrund ohne Umlegungsforderung	1
	Ungesicherte Leitungslage im Fremdgrund mit Umlegungsforderung	2

<b>7</b>	Streustrom vorhanden	
	Streustrom	3
	Kein Streustrom	0

<b>8</b>	Gemeinsame Baumaßnahme	
	Keine gemeinsame Baumaßnahme	0
	In der gleichen Trasse (gemeinsame Verlegung)	8
	In anderer Trasse	3
	Erneuerung des Unterbaus	6
	Erneuerung der Deckschicht	4

9	Image	
	Kundenreklamation	3
	Keine Kundenreklamationen	0

10	Gefahr von Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme	
	Bodenbewegungen	2
	Keine Bodenbewegungen	0

**Bewertung:**

Die Beurteilung erfolgt durch Summierung der Bewertungspunkte der einzelnen Kriterien. Je mehr Bewertungspunkte durch den zu betrachtenden Leitungsabschnitt erreicht werden, desto höher ist die Rehabilitationspriorität.

Die maximale Punktezahl, die erreicht werden kann, sind 37 Punkte.

Ab einer Gesamtpunktezahl von 12 Punkten kann angenommen werden, dass sich die Rahmenbedingungen auf die Rehabilitationsplanung des Trinkwassernetzes auswirken. Daher wird mit 12 Punkten ein Grenzwert gesetzt, ab dem die externen Einflüsse besonders berücksichtigt werden müssen. Dieser Grenzwert soll nur als eine größenmäßige Orientierungshilfe dienen und stellt keine definitive Grenze dar. Anzumerken ist, dass erst eine Differenz von 3 bis 5 Bewertungspunkten zwischen verschiedenen Leitungsabschnitten eine Aussage ermöglicht, die eine Verschiebung der Rehabilitationspriorität begründet.

**4.4.2 Bewertung der externen Einflüsse**

Bei diesem Bewertungsverfahren werden nicht die einzelnen Kriterien, wie sie im Kriterienkatalog dargestellt sind, bewertet, sondern die Wirkung definierter externer Einflüsse beurteilt. In Kapitel 3 sind die externen Einflüsse (=Rahmenbedingungen) erläutert.

Dieses Bewertungsverfahren ist ein zweistufiges Verfahren.

**4.4.2.1 Verknüpfung der Bewertungskriterien**

Viele der externen Einflüsse sind ein Ergebnis aus dem Zusammenwirken mehrerer Faktoren und können daher nicht direkt durch ein Kriterium beschrieben und beurteilt werden. Es bedarf oft mehrerer Kriterien, um die Wirkung eines bestimmten Einflusses zu beschreiben. Daher werden einzelne Kriterien, die gemeinsam einen externen Einfluss bilden, miteinander verknüpft.

In Abb. 4.1 sind die Verknüpfungen der einzelnen Kriterien in einem Organigramm abgebildet. Die Gliederung der Rahmenbedingungen erfolgt nach der Wirkung der externen Einflüsse in

- Schadenverursacher (blau),
- Auswirkungen des Schadens (rot) und
- Einfluss auf die Durchführung von Rehabilitationsmaßnahmen (grün).

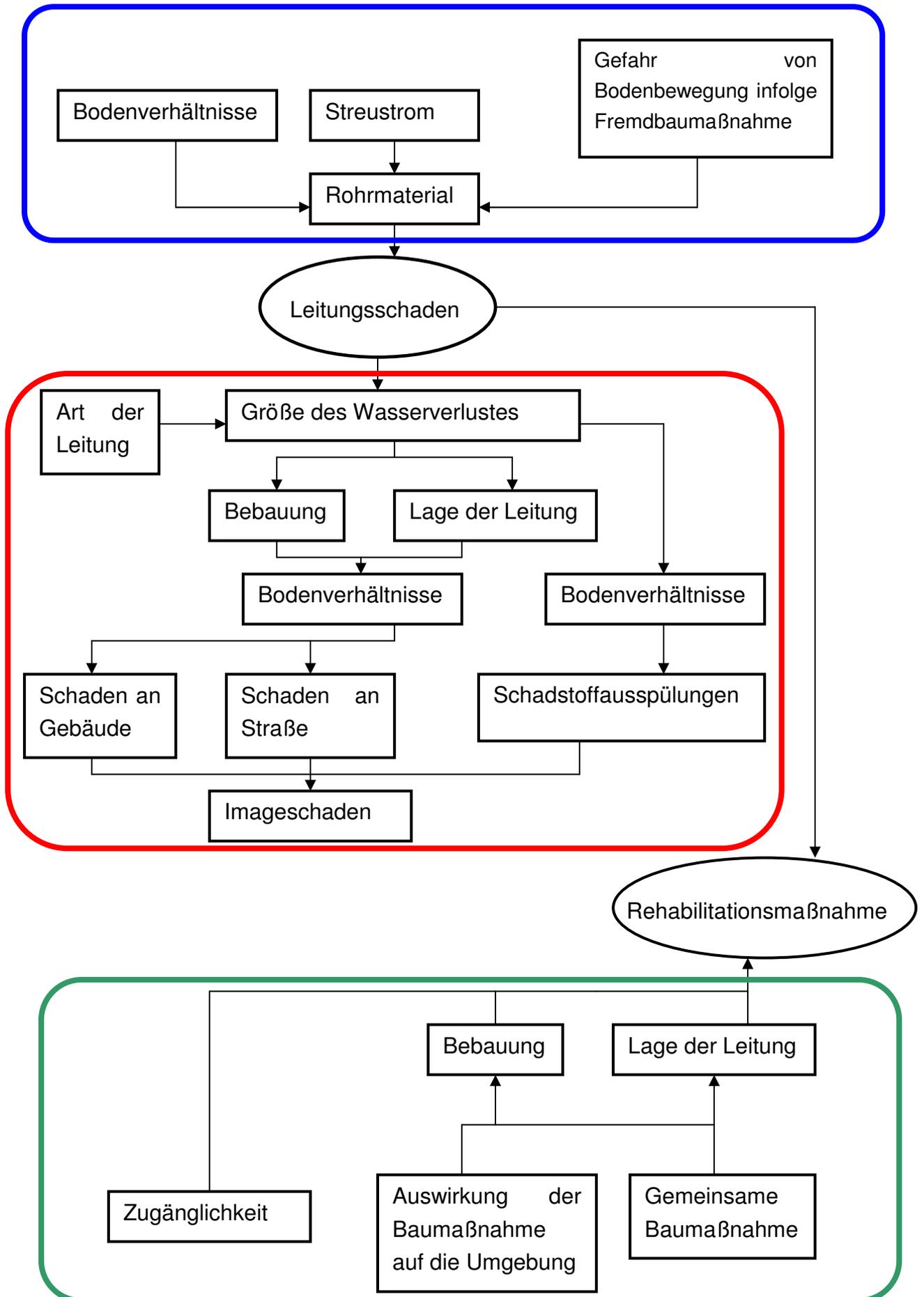


Abb. 4.1 Verknüpfungen der externen Einflüsse

In Tab. 4.2 sind die externen Einflüsse dargestellt, sowie die einzelnen Bewertungskriterien, durch die die externen Einflüsse beschrieben werden.

In dieser Diplomarbeit werden die Rahmenbedingungen, denen das Wasserversorgungsnetz ausgesetzt ist, durch zehn externe Einflüsse beschrieben.

**Tab. 4.2 Aufzählung der im Bewertungssystem berücksichtigten externen Einflüsse**

Externe Einflüsse		Bewertungskriterien		
1	Streustrom	Streustrom vorhanden	Bodenverhältnisse	Rohrmaterial
2	Korrosionsgefährdung infolge Bodenaggressivität	Bodenverhältnisse	Rohrmaterial	
3	Natürliche Bodenbewegung	Bodenverhältnisse	Rohrmaterial	
4	Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme	Gefahr von Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme	Rohrmaterial	
5	Schaden an Straße	Lage der Leitung	Art der Leitung	Bodenverhältnisse
6	Schaden an Gebäude	Bebauung	Art der Leitung	Bodenverhältnisse
7	Zugänglichkeit	Zugänglichkeit		
8	Image	Image		
9	Auswirkung der Baumaßnahme auf die Umgebung	Lage der Leitung	Bebauung	
10	Koordinierung der Bautätigkeit mit Fremdbaumaßnahmen	Gemeinsame Baumaßnahme	Bebauung	Lage der Leitung

Viele externe Einflüsse werden durch mehrere Bewertungskriterien beschrieben. Dabei muss im Bewertungssystem berücksichtigt werden, dass sich nicht jedes dieser Kriterien gleich stark auf einen externen Einfluss auswirkt. Daher werden die einzelnen Kriterien je nach Stellenwert mit einem Bewertungsbereich versehen, innerhalb dessen die Punkteverteilung stattfindet. Je geringer die tatsächliche Wirkung eines Teilkriteriums auf einen externen Einfluss ist, desto enger wird der Bereich definiert. So wird erreicht, dass sich minder wichtige Kriterien nur gering auf das Ergebnis auswirken.

Durch Multiplikation der Punkte der Teilkriterien erhält man einen Punktwert für den jeweiligen externen Einfluss.

In Tab. 4.3 sind die Bewertungsbereiche der einzelnen Kriterien, die gemeinsam einen bestimmten externen Einfluss ausmachen, dargestellt.

Kriterien, die den Bereich 0-1 zugewiesen bekommen, sind grundlegende Kriterien, so genannte „Killerkriterien“. Das heißt, ist eines dieser Kriterien nicht vorhanden, ist der externe Einfluss, den es betrifft, mit null Punkten zu bewerten.

Dies ist der Fall, da die einzelnen Kriterien eines externen Einflusses miteinander multipliziert werden. Ist ein Multiplikationsfaktor null ist auch das Produkt der Faktoren null.

Für unwichtigere Kriterien ist der Bewertungsbereich dementsprechend kleiner.

Einige Beispiele für Bewertungsbereiche:

„Killerkriterium“	Bereich 0 -1	0 bis 1 Punkte,
bedeutendes Kriterium	Bereich 0,2-1	0,2 bis 1 Punkte,
unbedeutendes Kriterium	Bereich 0,8-1	0,8 bis 1 Punkte,...

Kriterien, die einen kleineren Variationsbereich zugewiesen bekommen, haben nicht diese ausschließende Wirkung, da sie immer mit mehr als 0 Punkten bewertet werden.

**Tab. 4.3 Darstellung der Bewertungsbereiche**

Externe Einflüsse		Gewichtung der Kriterien					
1	Streustrom	Streustrom vorhanden	0-1	Bodenverhältnisse	0,7-1	Rohrmaterial	0-1
2	Korrosionsgefährdung infolge Bodenaggressivität	Bodenverhältnisse	0-1	Rohrmaterial	0-1		
3	Natürliche Bodenbewegung	Bodenverhältnisse	0-1	Rohrmaterial	0,2-1		
4	Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme	Gefahr von Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme	0-1	Rohrmaterial	0,2-1		
5	Schaden an Straße	Lage der Leitung	0-1	Art der Leitung	0,4-1	Bodenverhältnisse	0,2-1
6	Schaden an Gebäude	Bebauung	0-1	Art der Leitung	0,4-1	Bodenverhältnisse	0,2-1
7	Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	0-1				
8	Image	Image	0,1				
9	Auswirkung der Baumaßnahme auf die Umgebung	Lage der Leitung	0-1	Bebauung	0,4-1		
10	Koordinierung der Bautätigkeit mit Fremdbaumaßnahmen	Gemeinsame Baumaßnahme	0-1	Bebauung	0,8-1	Lage der Leitung	0,6-1

In Tab. 4.4 ist die Punkteverteilung der einzelnen Kriterien dargestellt.

Diese Punkteverteilung und die Multiplikation der Punkte der einzelnen Kriterien, die gemeinsam einen externen Einfluss bilden, stellen die erste Stufe dieses zweistufigen Bewertungsverfahrens dar.

Als Ergebnis dieses Bewertungsschemas erhält man für jeden der zehn externen Einflüsse einen Wert, der zwischen 0 und 1 liegt.

Tab. 4.4 Punkteverteilung und Ermittlung des Produkts der einzelnen Kriterien

Externe Einflüsse		Kriterien				Produkt der Faktoren		
1	Streustrom	Streustrom vorhanden		Bodenverhältnisse		Rohrmaterial		
		Streustrom	1	Grobkörniger Boden	0,7	Korrosionsgefährdet	1	
		Kein Streustrom	0	Gemischtkörniger Boden	0,9	Gering korrosionsgefährdet	0,3	
				Feinkörniger Boden	1	Nicht korrosionsgefährdet	0	
2	Korrosionsgefährdung infolge Bodenaggressivität	Bodenverhältnisse		Rohrmaterial				
		Nicht aggressiv	0	Korrosionsgefährdet	1			
		Schwach aggressiv	0,4	Gering korrosionsgefährdet	0,3			
		Aggressiv	0,7	Nicht korrosionsgefährdet	0			
		Stark aggressiv	1					
3	Natürliche Bodenbewegung	Bodenverhältnisse		Rohrmaterial				
		Grobkörniger Boden	0	Sprödbuchanfällig	1			
		Gemischtkörniger Boden	0,4	Nicht sprödbuchanfällig	0,2			
		Feinkörniger Boden	0,6					
		Rutschhang	1					
4	Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme	Gefahr von Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme		Rohrmaterial				
		Bodenbewegungen	1	Sprödbuchanfällig	1			
		Keine Bodenbewegungen	0	Nicht sprödbuchanfällig	0,2			
5	Schaden an Straße	Lage der Leitung		Art der Leitung		Bodenverhältnisse		
		Gehweg, Gehsteig, Geh- und Radweg	0,2	Anschlussleitung	0,4	Grobkörniger Boden	0,2	
		Wohnstraße	0,4	Versorgungsleitung	0,8	Gemischtkörniger Boden	0,5	
		Anliegerstraße (lokaler Verkehr)	0,6	Hauptleitung	1	Feinkörniger Boden	1	
		Sammelstraße (örtlicher Verkehr)	0,7					
		Hauptstraße (regionaler Verkehr)	0,9					
		Hochleistungsstraße (überregionaler Verkehr)	1					
		Grünfläche	0					
		Verkehrsfläche						
		Gewerbliche Fläche	0,9					
		Übergeordnete Funktion	1					
		Grünland	0					
		Zusätzlich öffentlicher Verkehr (Straßenbahn)	+0,1	(gesamt max. 1 Punkt)				

## 4 Erarbeitung eines Bewertungsschemas

Externe Einflüsse		Kriterien						Produkt der Faktoren
6	<b>Schaden an Gebäude</b>	Bebauung		Art der Leitung		Bodenverhältnisse		
		Wohnanlage dicht	0,9	Anschlussleitung	0,4	Grobkörniger Boden	0,2	
		Wohnanlage mäßig	0,6	Versorgungsleitung	0,8	Gemischtkörniger Boden	0,5	
		Wohnanlage gering	0,3	Hauptleitung	1	Feinkörniger Boden	1	
		Industrie dicht	0,9					
		Industrie mäßig	0,6					
		Industrie gering	0,3					
		Gewerblich dicht	0,9					
		Gewerblich mäßig	0,6					
		Gewerblich gering	0,3					
		Historische Bebauung	1					
7	<b>Zugänglichkeit</b>	Zugänglichkeit						
		Öffentliches Grundstück	0					
		Gesicherte Lage in Fremdgrund	0,2					
		Ungesicherte Leitungslage in Fremdgrund ohne Umlegungsforderung	0,4					
		Ungesicherte Leitungslage im Fremdgrund mit Umlegungsforderung	1					
8	<b>Image</b>	Image						
		Kundenreklamation	1					
		Keine Kundenreklamationen	0					
9	<b>Auswirkung der Baumaßnahme auf die Umgebung</b>	Bebauung		Lage der Leitung				
		Wohnanlage dicht	0,8	Gehweg, Gehsteig, Geh- und Radweg	0,2			
		Wohnanlage mäßig	0,6	Wohnstraße	0,2			
		Wohnanlage gering	0,4	Anliegerstraße (lokaler Verkehr)	0,4			
		Industrie dicht	0,8	Sammelstraße (örtlicher Verkehr)	0,6			
		Industrie mäßig	0,6	Hauptstraße (regionaler Verkehr)	0,9			
		Industrie gering	0,4	Hochleistungsstraße (überregionaler Verkehr)	1			
		Gewerblich dicht	1	Grünfläche	0			
		Gewerblich mäßig	0,7	Verkehrsfläche				
		Gewerblich gering	0,5	Gewerbliche Fläche	0,9			
		Historische Bebauung	1	Übergeordnete Funktion	1			
				Grünland	0			
				zusätzlich öffentlicher Verkehr (Straßenbahn)	+0,1	(gesamt max. 1 Punkt)		

Externe Einflüsse		Kriterien						Produkt der Faktoren
10	Koordinierung der Bautätigkeit mit Fremdbaumaßnahmen	Gemeinsame Baumaßnahme		Bebauung		Lage der Leitung		
		Keine gemeinsame Baumaßnahme	0	Wohnanlage dicht	1	Gehweg, Gehsteig, Geh- und Radweg	0,7	
		In der gleichen Trasse (gemeinsame Verlegung)	1	Wohnanlage mäßig	0,9	Wohnstraße	0,8	
		In anderer Trasse	0,4	Wohnanlage gering	0,8	Anliegerstraße (lokaler Verkehr)	0,9	
		Erneuerung des Unterbaus	0,8	Industrie dicht	1	Sammelstraße (örtlicher Verkehr)	0,9	
		Erneuerung der Deckschicht	0,5	Industrie mäßig	0,9	Hauptstraße (regionaler Verkehr)	1	
				Industrie gering	0,8	Hochleistungsstraße (überregionaler Verkehr)	1	
				Gewerblich dicht	1	Grünfläche	0,6	
				Gewerblich mäßig	0,9	Verkehrsfläche		
				Gewerblich gering	0,8	Gewerbliche Fläche	1	
		Historische Bebauung	1	Übergeordnete Funktion	1			
				Grünland	0,6			
				zusätzlich öffentlicher Verkehr (Straßenbahn) (gesamt max. 1 Punkte)	+0,1			

**Erläuterungen zu den Verknüpfungen der Teilkriterien:**

1. Streustrom

Um Gefährdung eines Leitungsabschnittes durch Streustrom zu haben, müssen Streuströme im Boden vorhanden sein und das Rohrmaterial muss korrosionsanfällig sein. Ist einer dieser beiden Punkte nicht erfüllt, kann man diesen Punkt vernachlässigen. Eine Rolle spielen auch die Bodenverhältnisse. Grobkörniger Boden ist ein schlechter Stromleiter. Daher ist der Einfluss von Streuströmen in diesen Böden geringer als in feinkörnigen, bindigen Böden.

2. Korrosionsgefährdung infolge Bodenaggressivität

Die Korrosionsgefährdung hängt von der Aggressivität des Bodens sowie vom verwendeten Rohrmaterial ab. Leitungen aus PE-HD und PVC sind korrosionsunempfindlich, hingegen sind ungeschützte metallische Leitungen sehr korrosionsanfällig.

3. Natürliche Bodenbewegung

Die Bodenverhältnisse bestimmen die Größe der natürlichen Bodenbewegungen.

Bindige Böden neigen bei wechselndem Wassergehalt stärker zu Bodenbewegungen als nicht bindige Böden. Zu Schäden kommt es vor allem dann, wenn die eingesetzten Rohrmaterialien sprödbrochenfällig sind.

### 4. Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme

Die Grundbedingung ist, dass in unmittelbarer Nähe der Leitungstrasse Tiefbauarbeiten durchgeführt werden. Zu Schäden kommt es vor allem bei Leitungen, wo sprödbrochenfällige Rohre verlegt sind, da diese infolge von Bodenbewegungen leicht brechen.

### 5. Schaden an Straße

Ob die Gefahr eines Folgeschadens verursacht durch Wasseraustritt besteht, hängt von mehreren Faktoren ab.

Liegt die Leitung überhaupt unterhalb einer Straße? Wie groß ist die Menge des austretenden Leckwassers? Im Voraus kann dieser Punkt nicht beantwortet werden. Es kann jedoch aufgrund des Transportvolumens der Wasserleitung qualitativ auf eine mögliche Austrittsmenge geschlossen werden. Das heißt, bei einer Gleichartigkeit des Rohrschadens tritt bei einer Hauptleitung erheblich mehr Wasser aus als bei einer Anschlussleitung.

Als weiterer Punkt müssen die Bodenverhältnisse bewertet werden. Bei grobkörnigem Boden kann das austretende Wasser schnell versickern. Bei bindigen Böden staut sich das Wasser, und es kann zu Tragfähigkeitsproblemen des Bodens kommen.

### 6. Schaden an Gebäude

Hier muss wiederum beurteilt werden, welchen Abstand die Bebauung zur Leitungstrasse hat. Bezüglich Art der Leitung und Bodenverhältnisse gleicht die Einteilung Punkt 5 (Schaden an Straße).

### 7. Zugänglichkeit

Ein Großteil der Leitungen befindet sich auf öffentlichem Grund.

Führt die Leitungstrasse über Fremdgrund, wird eingeteilt, ob die Lage der Leitung als gesichert oder ungesichert gilt.

### 8. Image

Zu Imageverlusten führen vor allem Qualitätsprobleme und Versorgungsunterbrechungen.

Die Tatsache, dass vermehrte Aufgrabungen, vor allem wenn dadurch Anrainer und Verkehrsteilnehmer gestört werden, zu einem negativen Image führen, wird in Punkt 10 berücksichtigt.

Der Imageverlust, der durch Folgeschäden an Häusern und Straßen entsteht, wird nicht berücksichtigt.

#### 9. Auswirkung der Baumaßnahme auf die Umgebung

Im städtischen Bereich ist vor allem die Behinderung des Verkehrs ein Problem. Die Auswirkungen einer Baumaßnahme treffen auch Anrainer und direkt im Baustellenbereich liegende Gewerbebetriebe (siehe Kapitel 3.5.4.2). Je dichter die Bebauung und je stärker das Verkehrsaufkommen ist, desto größer ist die Auswirkung der Baumaßnahme

#### 10. Gemeinsame Baumaßnahme

Ob man sich für eine gemeinsame Baumaßnahme mit einem anderen Unternehmen entscheidet, hängt stark davon ab, inwieweit sich die Bauarbeiten und Bauabläufe gleichen. Es wird aber auch berücksichtigt, in welcher Lage sich die Leitung befindet. Je exponierter die Lage der Baustelle, desto mehr spricht für eine gemeinsame Baumaßnahme.

#### 4.4.2.2 Gewichtung der externen Einflüsse

Um den Stellenwert der einzelnen externen Einflüsse bezüglich ihrer Wichtigkeit für die mittelfristige Rehabilitationsplanung zu berücksichtigen, werden diese mit einem Multiplikator versehen.

Tab. 4.5 zeigt die externen Einflüsse mit der jeweils zugewiesenen Gewichtung.

**Tab. 4.5 Gewichtung der externen Einflüsse**

Externe Einflüsse		Gewichtung
1	Streustrom	3
2	Korrosionsgefährdung infolge Bodenaggressivität	4
3	Natürliche Bodenbewegung	6
4	Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme	2
5	Schaden an Straße	3
6	Schaden an Gebäude	2
7	Zugänglichkeit	2
8	Image	3
9	Auswirkung der Baumaßnahme auf die Umgebung	4
10	Koordinierung der Bautätigkeit mit Fremdbaumaßnahmen	8

Die Größe des Multiplikators wird durch die Bedeutung der externen Einflüsse auf das Wasserversorgungsnetz bzw. auf die Rehabilitationsplanung bestimmt. Das Ergebnis der Bewertung der externen Einflüsse nach Tab 4.4, das, wie bereits

erwähnt, immer einen Wert zwischen 0 und 1 darstellt, wird in der zweiten Bewertungsstufe mit dem je nach externem Einfluss zugewiesenen Gewichtungsfaktor multipliziert.

In Tab 4.6 ist das Schema zur Ermittlung der Gesamtpunktezahl dargestellt.

Die Bewertungspunkte der einzelnen externen Einflüsse werden im letzten Schritt aufsummiert und so die Endpunktezahl ermittelt

**Tab. 4.6 Ermittlung der Gesamtpunktezahl**

Externe Einflüsse	Gewichtungs- faktor		Produkt der Faktoren	=	Bewertungspunkte
Streustrom	3	*		=	
Korrosionsgefährdung infolge Bodenaggressivität	4	*		=	
Natürliche Bodenbewegung	6	*		=	
Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme	2	*		=	
Schaden an Straße	3	*		=	
Schaden an Gebäude	2	*		=	
Zugänglichkeit	2	*		=	
Image	3	*		=	
Auswirkung der Baumaßnahme auf die Umgebung	4	*		=	
Koordinierung der Bautätigkeit mit Fremdbaumaßnahmen	8	*		=	

<b>Summe der Bewertungspunkte</b>	
-----------------------------------	--

### **Bewertung:**

Die Beurteilung erfolgt durch Summierung der Bewertungspunkte der einzelnen externen Einflüsse. Je mehr Bewertungspunkte durch den zu betrachtenden Leitungsabschnitt erreicht werden, desto höher ist die Rehabilitationspriorität.

Die maximale Punktezahl, die erreicht werden kann, sind 37 Punkte.

Ab einer Gesamtpunktezahl von 7 Punkten kann angenommen werden, dass sich die Rahmenbedingen auf die Rehabilitationsplanung des Trinkwassernetzes auswirken. Daher wird mit 7 Punkten ein Grenzwert gesetzt, ab dem die externen Einflüsse besonders berücksichtigt werden müssen. Dieser Grenzwert soll nur als eine größenmäßige Orientierungshilfe dienen und stellt keine definitive Grenze dar. Anzumerken gilt, dass erst eine Differenz von 3 bis 5 Bewertungspunkten zwischen verschiedenen Leitungsabschnitten eine Aussage ermöglicht, die eine Verschiebung der Rehabilitationspriorität begründet.

## **4.5 Analyse der Bewertung**

### **4.5.1 Allgemeines**

Natürlich wirken noch eine Vielzahl anderer externer Einflüsse auf das Trinkwasserversorgungsnetz, die jedoch nicht berücksichtigt werden. Ein Grund ist, dass diese Einflüsse nur in Ausnahmefällen auftreten. In diesem Fall sind ungeplante Sondermaßnahmen notwendig, die unverzüglich durchzuführen sind.

Ein weiterer Grund ist, dass die externen Einflüsse zwar vorhanden sind, jedoch nur kleine Auswirkungen auf das Wasserversorgungsnetz zeigen, die vernachlässigbar sind.

Man muss sich bewusst sein, dass das Resultat, dass durch die Bewertung der externen Einflüsse erreicht wird, kein exaktes Ergebnis ist. Das Resultat kann nur eine qualitative Bewertung im Vergleich mehrerer Leitungsabschnitte mit vergleichbaren Rahmenbedingungen sein.

Die Qualität des Ergebnisses ist abhängig von der Richtigkeit der Eingabeparameter. Daher ist es zielführender, wenige wichtige Kriterien gründlich zu bearbeiten, anstatt alle auftretenden Einflüsse oberflächlich zu berücksichtigen.

Nur auf der Grundlage der Beurteilung der Rahmenbedingungen kann keine Aussage über den Rehabilitationsbedarf eines Leitungsabschnittes getroffen werden.

Durch die Verknüpfung mit technischen und wirtschaftlichen Kriterien wird ein Gesamtbild des zu betrachtenden Leitungsabschnittes dargestellt, auf dessen Grundlage die mittelfristige Rehabilitationsplanung erstellt wird.

Die Bewertung der Rahmenbedingungen ist also ein Teil der Gesamtbeurteilung, die bei Leitungsabschnitten mit ähnlichen technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen eine objektive Entscheidung bezüglich der Rehabilitationspriorität ermöglicht.

### **4.5.2 Analyse der Bewertungsverfahren**

Grundlage für beide Bewertungssysteme ist der Kriterienkatalog aus Kapitel 4.3. Dies garantiert eine objektive Ausgangssituation für beide Systeme. Die Gewichtung der externen Einflüsse im verknüpften System entspricht der Punkteuteilung der einzelnen Kriterien der direkten Kriterienbewertung. Vergleicht man nun die Ergebnisse der beiden Bewertungssysteme, so erhält man Resultate, die tendenziell gleich sind. Die Begründung dafür ist, dass Kriterien, die sich negativ auswirken, sich natürlich auf beide Systeme negativ (hohe Punktzahl) auswirken.

Zu größeren Unterschieden der Resultate kommt es, wenn sich die Verknüpfungen des zweistufigen Systems stark auswirken. Das ist z.B. der Fall, wenn Kunststoffrohre in Verbindung mit Streustrom auftreten. Im verknüpften System resultieren daraus 0 Punkte, da sich Streustrom auf Kunststoffrohre nicht auswirkt. Bei der direkten Bewertung ergeben sich sehr wohl Punkte für das Kriterium Streustrom.

Darin liegt auch die Schwäche der direkten Bewertung. Zusammenhänge werden nicht ausreichend berücksichtigt.

**Bewertungsbeispiel:**

**Datengrundlage**

**Musterstraße1**

Art der Leitung		Versorgungsleitung
Rohrmaterial	GG	sprödbbruchgefährdet gering korrosionsgefährdet
Bodenverhältnisse	Bodeneinteilung	grobkörniger Boden
	Bodenaggressivität/ Metallkorrosion	nicht aggressiv
Lage der Leitung	Hauptstraße	regionaler Verkehr
	öffentlicher Verkehr	Buslinie
Bebauung	direkt durch mögliche Folgeschäden betroffen	Wohnlage dicht bebaut
Zugänglichkeit		öffentliches Grundstück
Streustrom vorhanden	Streustrom	Obus-Oberleitung
Gemeinsame Baumaßnahme		keine Baumaßnahme
Image	Anzahl der Kundenreklamationen	keine Reklamationen
Gefahr von Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahmen		nein

**Musterstraße2 wie Musterstraße1, außer**

Bodenverhältnisse	Bodeneinteilung	feinkörniger Boden
	Bodenaggressivität/ Metallkorrosion	aggressiv

**Musterstraße3 wie Musterstraße1, außer**

Rohrmaterial	PE-HD	nicht sprödbbruchgefährdet nicht korrosionsgefährdet
--------------	-------	---

**Musterstraße5 wie Musterstraße1, außer**

Bodenverhältnisse	Bodeneinteilung	feinkörniger Boden
	Bodenaggressivität/ Metallkorrosion	aggressiv
Rohrmaterial	PE-HD	nicht sprödbbruchgefährdet nicht korrosionsgefährdet

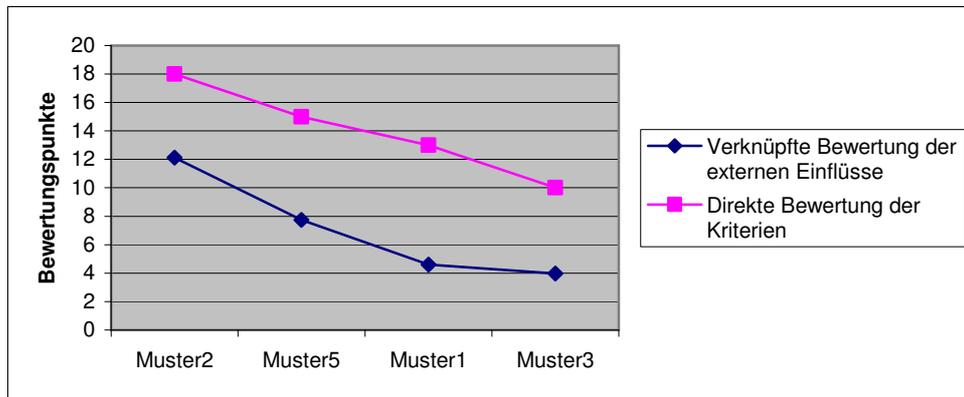
**Musterstraße1s, 2s, 3s, 5s**  
**Musterstraße 1w, 2w, 3w, 5w**

**wie Musterstraße1, 2, 3, 5, aber ohne Streustrom**  
**wie Musterstraße1s, 2s, 3s, 5s, aber Wohnstraße statt Hauptstraße mit öffentlichem Verkehr**

**Auswertung**

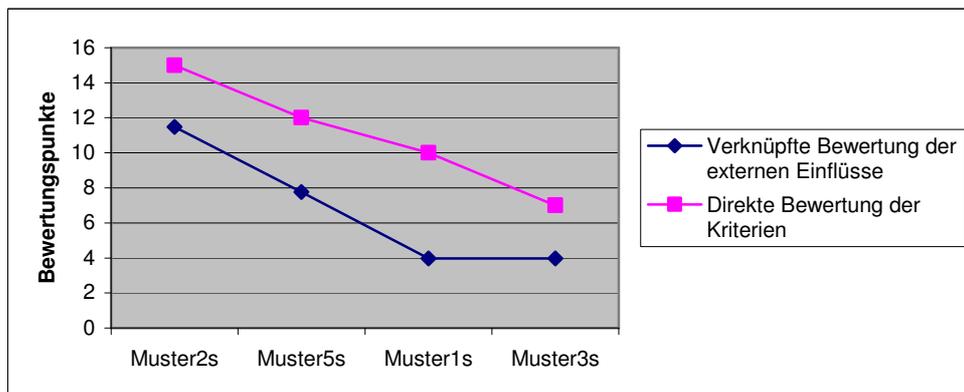
In der Abb. 4.2 sind die Ergebnisse der beiden Bewertungsverfahren für die Leitungsabschnitte Musterstraße 1, 2, 3 und 5 dargestellt.

Wie man erkennen kann, zeigen die Ergebnisse die gleiche Reihung hinsichtlich Rehabilitationspriorität.



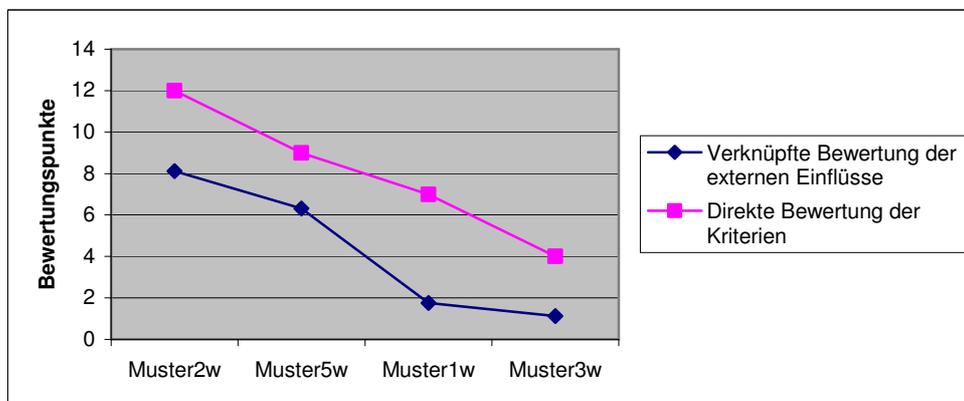
**Abb. 4.2 Bewertung Musterstraße 1, 2, 3, 5**

In Abb. 4.3 werden dieselben vier Leitungsabschnitte bewertet, jedoch ohne den Einfluss von Streustrom. Auch in diesem Fall ergibt sich die gleiche Reihung.



**Abb. 4.3 Bewertung Musterstraße 1s, 2s, 3s, 5s**

Abb. 4.4 zeigt die Bewertungsergebnisse für Leitungsabschnitte mit einer geänderten Lage der Leitung. Anstatt unter einer Hauptstraße mit zusätzlich öffentlichem Verkehr liegen die Leitungen unter einer Wohnstraße. Auch hier ergibt sich die gleiche Reihung.



**Abb. 4.4 Bewertung Musterstraße 1w, 2w, 3w, 5w**

Vergleicht man jedoch alle Leitungsabschnitte in einem gemeinsamen Diagramm (Abb. 4.5), so zeigen sich Unterschiede.

Das heißt, bei ähnlichen Leitungen sind auch die Ergebnisse der zwei verschiedenen Bewertungsverfahren sehr ähnlich.

Werden jedoch Leitungen mit verschiedensten Rahmenbedingungen verglichen, zeigen sich Unterschiede. Diese Unterschiede begründen sich auf die Auswirkungen der verknüpften Kriterien.

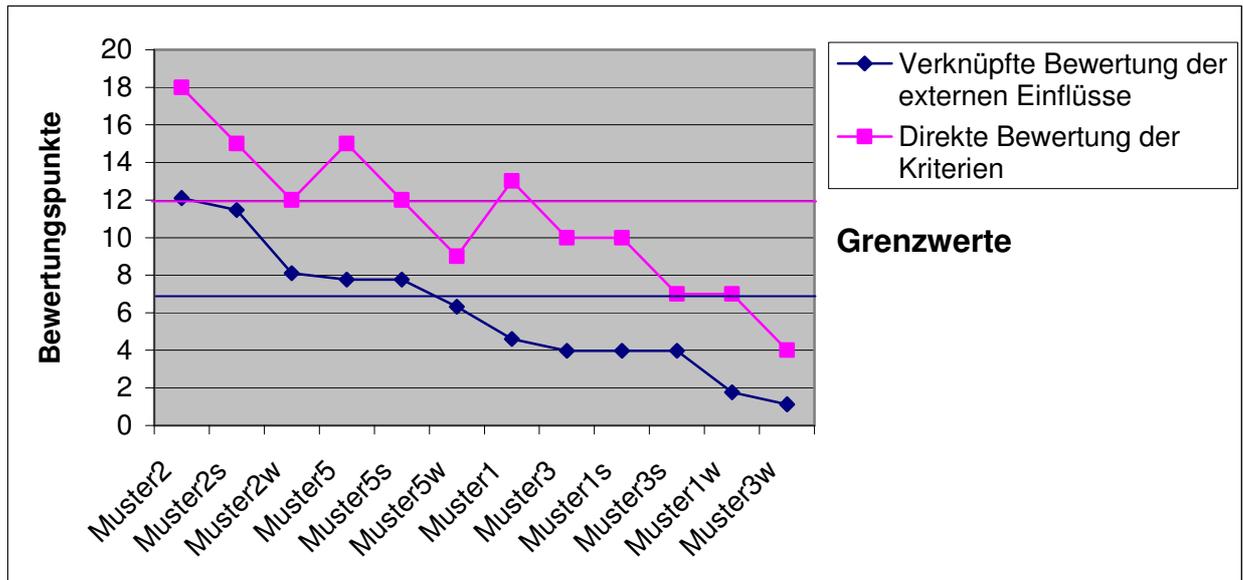


Abb. 4.5 Gesamtübersicht der Bewertung mit Grenzwerten

Auffällig ist, dass der Leitungsabschnitt Musterstraße 1 bei der direkten Bewertung über dem Grenzwert liegt, und bei der verknüpften Bewertung unterhalb. Dieser Grenzwert stellt jedoch keine definitive Grenze dar, sondern dient nur als Richtwert, ab dem die Rahmenbedingungen stärkeren Einfluss auf das Trinkwassernetz nehmen.

## 5 Bewertung von Leitungsabschnitten

Mit den in Kapitel 4 vorgestellten Verfahren werden drei Leitungsabschnitte bewertet und die Ergebnisse verglichen. Wie in Abb. 5.1 zu sehen ist, befinden sich die untersuchten Leitungen in Linz. Die Daten zu den Rahmenbedingungen wurden von der LINZ AG (Ing. Gurtner) zur Verfügung gestellt.

Die Leitungsabschnitte werden nach den Straßen benannt, unter denen sie verlaufen.

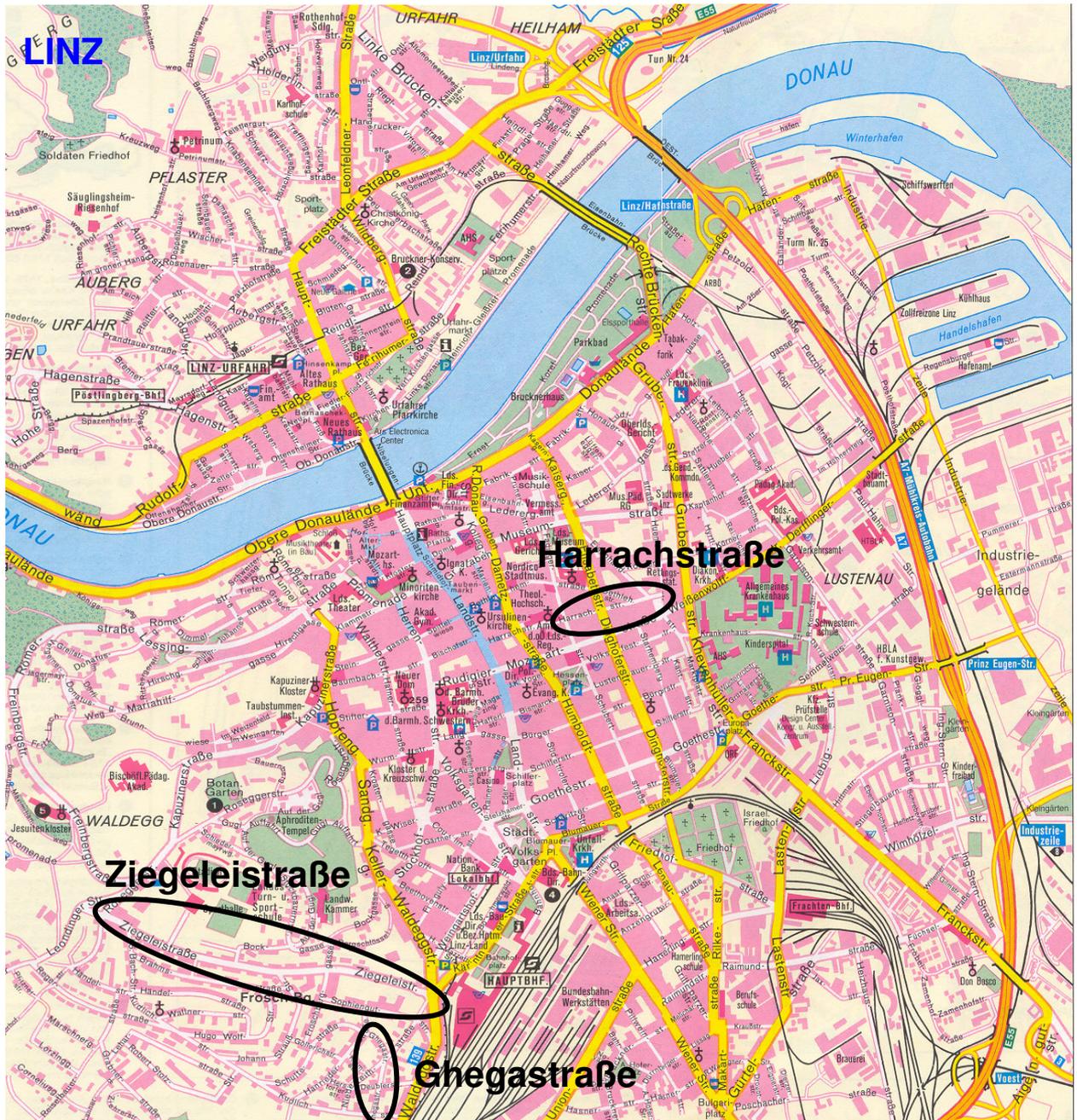


Abb. 5.1 Lageplan der Leitungsabschnitte

Anzumerken gilt, dass alle drei Leitungsabschnitte bereits erneuert worden sind. Dies erfolgte in Anlehnung an das Straßenbauprogramm der Stadt Linz.

Dies war auch der Grund, weshalb diese Leitungsabschnitte ausgewählt wurden. Erstens sind durch die erst kürzlich durchgeführten Rehabilitationsmaßnahmen sehr gute Informationen über die Rahmenbedingungen vorhanden.

Der zweite Punkt ist, dass die Möglichkeit einer nachträglichen Analyse der Rehabilitationsentscheidung unter Einbeziehung der Bewertung der Rahmenbedingungen gegeben ist.

Das heißt, es wird überprüft, ob sich die Reihung der Rehabilitationspriorität der Leitungsabschnitte durch die Verknüpfung der technischen und wirtschaftlichen Kriterien mit der Bewertung der externen Einflüsse ändert.

Dies wird im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht mehr durchgeführt.

### 5.1 Erfassung der Daten

Die Daten werden mit Hilfe des Kriterienkataloges aus Kapitel 4.3 ermittelt. Auf Basis dieser Informationen werden nachfolgend die beiden Bewertungsverfahren angewandt.

#### Ziegeleistraße:

Länge des Leitungsabschnittes		597 m DN 125 GG 315 m DN 80 GG
Art der Leitung		Versorgungsleitung
Rohrmaterial	GG	spröbruchgefährdet gering korrosionsgefährdet
Bodenverhältnisse	Bodeneinteilung	feinkörniger Boden leichte Hanglage
	Bodenaggressivität/ Metallkorrosion	aggressiv
Lage der Leitung	Hauptstraße	regionaler Verkehr
	öffentlicher Verkehr	Buslinie
Bebauung	direkt durch mögliche Folgeschäden betroffen	Wohnlage dicht bebaut
Zugänglichkeit		öffentliches Grundstück
Streustrom vorhanden	Streustrom	Obus-Oberleitung
Gemeinsame Baumaßnahme	Straßenbaumaßnahmen	Erneuerung der Deckschicht
Image	Anzahl der Kundenreklamationen	3
Gefahr von Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahmen		nein

**Ghegastraße:**

Länge des Leitungsabschnittes		239 m DN 80 GG
Art der Leitung		Versorgungsleitung
Rohrmaterial	DN 80 GG	sprödbbruchgefährdet gering korrosionsgefährdet
Bodenverhältnisse	Bodeneinteilung	feinkörniger Boden
	Bodenaggressivität/ Metallkorrosion	aggressiv
Lage der Leitung	Anliegerstraße	lokaler Verkehr
Bebauung	direkt durch mögliche Folgeschäden betroffen	Wohnlage mäßig dicht bebaut
Zugänglichkeit		öffentliches Grundstück
Streustrom vorhanden		kein Streustrom
Gemeinsame Baumaßnahme	Straßenbaumaßnahmen	Erneuerung der Deckschicht
Image	Anzahl der Kundenreklamationen	0
Gefahr von Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahmen		nein

**Harrachstraße:**

Länge des Leitungsabschnittes		130 m DN 80 GG
Art der Leitung		Versorgungsleitung
Rohrmaterial	GG	sprödbbruchgefährdet gering korrosionsgefährdet
Bodenverhältnisse	Bodeneinteilung	gemischtkörniger Boden
	Bodenaggressivität/ Metallkorrosion	schwach aggressiv
Lage der Leitung	Sammelstraße	örtlicher Verkehr
Bebauung	direkt durch mögliche Folgeschäden betroffen	Wohnlage dicht bebaut
Zugänglichkeit		öffentliches Grundstück
Streustrom vorhanden		kein Streustrom
Gemeinsame Baumaßnahme	Straßenbaumaßnahmen	Erneuerung der Deckschicht
Image	Anzahl der Kundenreklamationen	0
Gefahr von Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahmen		nein

## **5.2 Ergebnisse der direkten Bewertung der Kriterien aus dem Kriterienkatalog**

Dieses Bewertungsverfahren wird in Kapitel 4.4.1 vorgestellt. 35 Punkte können maximal erreicht werden. Mit 12 Punkten wird ein Grenzwert gesetzt, ab dem die Wirkung der Rahmenbedingungen besonders berücksichtigt werden müssen.

Erst eine Differenz von 3 bis 5 Bewertungspunkten zwischen den Ergebnissen ermöglicht eine Aussage, die eine Verschiebung der Rehabilitationspriorität begründet.

**Ziegeleistraße:**

Kriterien	Bewertungspunkte
Art der Leitung	1
Rohrmaterial/ Korrosion	1
Rohrmaterial/ Bruchanfälligkeit	2
Bodenverhältnisse/ Bodenbewegung	3
Bodenverhältnisse/ Korrosionswirkung	2
Lage der Leitung	4
Bebauung	2
Zugänglichkeit	0
Streustrom vorhanden	3
Gemeinsame Baumaßnahme	4
Image	3
Gefahr von Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme	0
<b>Summe</b>	<b>25</b>

**Ghegastraße:**

Kriterien	Bewertungspunkte
Art der Leitung	1
Rohrmaterial/ Korrosion	1
Rohrmaterial/ Bruchanfälligkeit	2
Bodenverhältnisse/ Bodenbewegung	3
Bodenverhältnisse/ Korrosionswirkung	2
Lage der Leitung	2
Bebauung	1
Zugänglichkeit	0
Streustrom vorhanden	0
Gemeinsame Baumaßnahme	4
Image	0
Gefahr von Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme	0
<b>Summe</b>	<b>16</b>

**Harrachstraße:**

Kriterien	Bewertungspunkte
Art der Leitung	1
Rohrmaterial/ Korrosion	1
Rohrmaterial/ Bruchanfälligkeit	2
Bodenverhältnisse/ Bodenbewegung	2
Bodenverhältnisse/ Korrosionswirkung	1
Lage der Leitung	2,5
Bebauung	2
Zugänglichkeit	0
Streustrom vorhanden	0
Gemeinsame Baumaßnahme	4
Image	0
Gefahr von Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme	0
<b>Summe</b>	<b>15,5</b>

Die Ziegeleistraße hebt sich mit 25 Punkten deutlich von den beiden anderen Leitungsabschnitten ab. Auf Grund der Rahmenbedingungen ist die Rehabilitationspriorität dieses Leitungsabschnittes am höchsten. Die Ergebnisse der Leitungsabschnitte Harrachstraße mit 16 Punkten sowie Ghegastraße mit 15,5 Punkten sind praktisch gleich. Zwischen diesen beiden Leitungen kann keine Aussage bezüglich Rehabilitationspriorität gemacht werden, da der Unterschied der Resultate zu gering ist.

### **5.3 Ergebnisse der verknüpften Bewertung der externen Einflüsse**

Dieses Bewertungsverfahren wird in Kapitel 4.4.2 vorgestellt. 37 Punkte können maximal erreicht werden. Mit 7 Punkten wird ein Grenzwert gesetzt, ab dem die Wirkung der Rahmenbedingungen besonders berücksichtigt werden muss.

Erst eine Differenz von 3 bis 5 Bewertungspunkten zwischen den Ergebnissen ermöglicht eine Aussage, die eine Verschiebung der Rehabilitationspriorität begründet.

**Harrachstraße:**

Externe Einflüsse	Multiplikator	Produkt der Faktoren		Bewertungspunkte
Streustrom	3	0		0
Korrosion	4	0,12		0,48
Natürliche Bodenbewegung	6	0,4		2,4
Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme	2	0		0
Schaden an Straße	3	0,28		0,84
Schaden an Gebäude	2	0,36		0,72
Zugänglichkeit	2	0		0
Image	3	0		0
Auswirkung der Baumaßnahme auf die Umgebung	4	0,48		1,92
Koordinierung der Bautätigkeit mit Fremdbaumaßnahmen	8	0,45		3,6
<b>Summe</b>				<b>10,0</b>

**Ziegeleistraße:**

Externe Einflüsse	Multiplikator	Produkt der Faktoren		Bewertungspunkte
Streustrom	3	0,3		0,9
Korrosion	4	0,21		0,84
Natürliche Bodenbewegung	6	0,6		3,6
Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme	2	0		0
Schaden an Straße	3	0,8		2,4
Schaden an Gebäude	2	0,72		1,44
Zugänglichkeit	2	0		0
Image	3	1		3
Auswirkung der Baumaßnahme auf die Umgebung	4	0,8		3,2
Koordinierung der Bautätigkeit mit Fremdbaumaßnahmen	8	0,5		4
<b>Summe</b>				<b>19,4</b>

**Ghegastraße:**

Externe Einflüsse	Multiplikator	Produkt der Faktoren	Bewertungspunkte
Streustrom	3	0	0
Korrosion	4	0,21	0,84
Natürliche Bodenbewegung	6	0,6	3,6
Bodenbewegung infolge Fremdbaumaßnahme	2	0	0
Schaden an Straße	3	0,48	1,44
Schaden an Gebäude	2	0,48	0,96
Zugänglichkeit	2	0	0
Image	3	0	0
Auswirkung der Baumaßnahme auf die Umgebung	4	0,24	0,96
Koordinierung der Bautätigkeit mit Fremdbaumaßnahmen	8	0,405	3,24
<b>Summe</b>			<b>11,0</b>

Die Ziegeleistraße ist wiederum mit 19,4 Punkten deutlich vor den beiden anderen Leitungsabschnitten. Auf Grund der Rahmenbedingungen ist die Rehabilitationspriorität dieses Leitungsabschnittes am höchsten. Die Ergebnisse der Leitungsabschnitte Harrachstraße mit 11 Punkten sowie Ghegastraße mit 10 Punkten sind praktisch gleich. Zwischen diesen beiden Leitungen kann keine Aussage bezüglich Rehabilitationspriorität gemacht werden, da der Unterschied der Resultate zu gering ist.

#### **5.4 Vergleich und Auswertung der Ergebnisse**

In Tab. 5.1 und Abb. 5.2 sind die Ergebnisse der Bewertung noch einmal zusammengefasst.

**Tab. 5.1 Ergebnisübersicht**

Leitungsabschnitt	Direkte Bewertung der Kriterien (Punkte)	Verknüpfte Bewertung der externen Einflüsse (Punkte)
Ziegeleistraße	25	19,4
Ghegastraße	16	11
Harrachstraße	15,5	10

Der Leitungsabschnitt Ziegeleistraße erhält sowohl bei der direkten Bewertung der Kriterien als auch bei der verknüpften Bewertung der externen Einflüsse mit beträchtlichem Abstand die meisten Punkte. Das kann damit begründet werden,

dass sich im Bereich dieser Leitung bindiger aggressiver Boden, dichte Bebauung wie auch eine Hauptstraße mit zusätzlichem öffentlichem Verkehr befindet. Somit ist ganz klar festzustellen, dass die Rehabilitationspriorität aufgrund der wirkenden Rahmenbedingungen für diese Leitung am höchsten der drei betrachteten Leitungen ist.

Die Leitungen Harrachstraße und Ghegastraße liegen bei beiden Bewertungsverfahren etwa gleich auf. Zwischen diesen beiden Leitungen kann aufgrund der Ergebnisse keine Reihung vorgenommen werden. Im Bereich der Leitung Harrachstraße befindet sich zwar dichtere Bebauung wie auch die stärker befahrene Straße, jedoch gemischtkörniger, wenig aggressiver Boden. Bei der Leitung Ghegastraße finden wir bindige, aggressive Bodenverhältnisse vor, dafür geringere Bebauungsdichte und eine weniger stark befahrene Straße. In Summe heben sich diese Faktoren beinahe auf. Daher begründet sich auch das eng beieinander liegende Ergebnis der Bewertung dieser beiden Abschnitte.

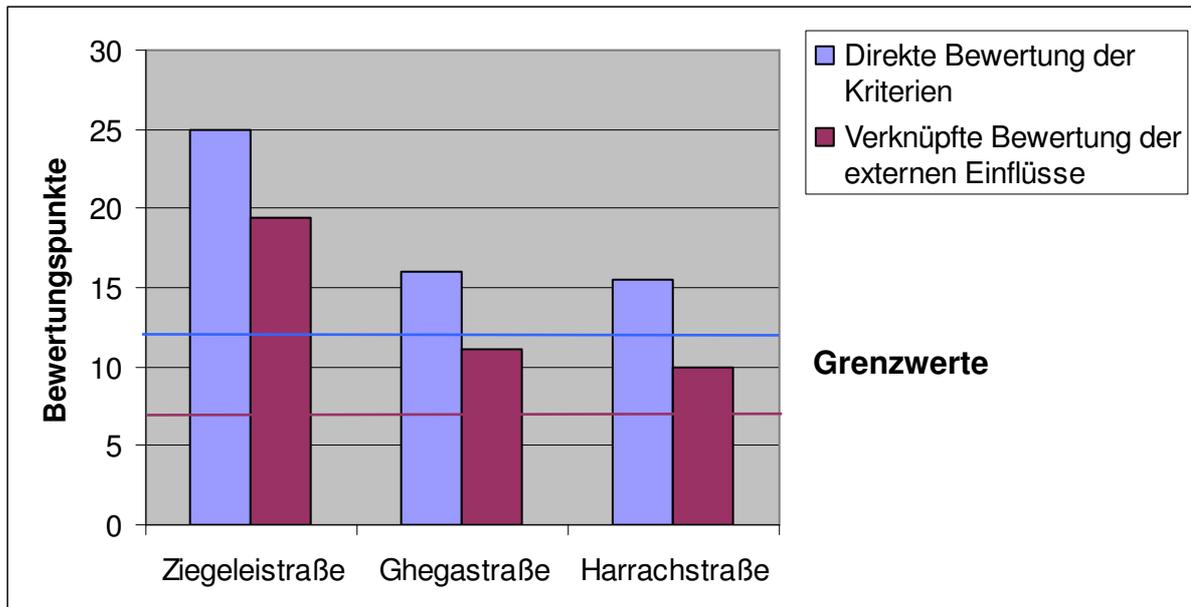


Abb. 5.2 Übersicht der Ergebnisse

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Wasserversorgungsnetze in städtischen Bereichen weisen meist ein beträchtliches Alter auf. Daher bildet die Instandhaltung der Trinkwasserleitungen eine Hauptaufgabe der Wasserversorgungsunternehmen. Mit Hilfe der mittelfristigen Rehabilitationsplanung werden Programme erstellt, die nach Prioritäten geordnete Instandhaltungsmaßnahmen enthalten.

Die Beurteilung der Rahmenbedingungen ist ein Teil der Gesamtbewertung der Leitungen, die natürlich auch technische und wirtschaftliche Kriterien enthalten muss. Nur durch die Verknüpfung aller Kriterien wird ein Gesamtbild der zu betrachtenden Leitungsabschnitte dargestellt, auf dessen Grundlage Maßnahmenpläne erstellt werden können. Die Bewertung der vorhandenen Rahmenbedingungen ist also ein Teil der Gesamtbeurteilung, die bei Leitungsabschnitten mit ähnlichen technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen eine Entscheidung bezüglich der Rehabilitationspriorität ermöglicht.

Bei der genaueren Betrachtung der Rahmenbedingungen und der Analyse ihrer Auswirkungen zeigen sich im Besonderen 2 Punkte. Als erstes wird deutlich, dass in der Koordinierung der Baumaßnahmen mit Straßenbauvorhaben bzw. der gemeinsamen Verlegung der Wasserleitungen mit Kanal und Gasleitungen ein wesentlicher Vorteil liegt. Hier können massiv Kosten gespart werden und auch die Auswirkungen auf die Umgebung minimiert werden. Dies führt wiederum zu einem besseren Image des Wasserversorgungsunternehmens. Als zweites zeigt sich, dass die Auswirkungen der Rahmenbedingungen sehr stark von den eingesetzten Rohrmaterialien abhängen. Die verschiedenen Materialien weisen große Unterschiede bezüglich Korrosionsverhalten und Sprödebrüchanfälligkeit auf. Will man die Auswirkungen der Rahmenbedingungen objektiv bewerten, so ist es notwendig, dies in Verknüpfung mit den vorhandenen Rohrwerkstoffen zu vollziehen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die zuvor definierten Rahmenbedingungen durch zwei unterschiedliche Verfahren bewertet. Die Ergebnisse beider Verfahren sind größenordnungsmäßig gleich. Dies lässt den Schluss zu, dass in erster Linie nicht das Bewertungssystem, sondern die Eingangsdaten entscheidend sind. Somit ist es wesentlich, Eingangsdaten mit gesicherter Qualität zu verwenden.

Die Aufgaben für die Zukunft bestehen darin, die Rahmenbedingungen mit den technischen und wirtschaftlichen Kriterien zu verknüpfen. Vor allem im Zuge der Anwendung dieses Gesamtbewertungssystems sind die Daten der Rahmenbedingungen in gesicherter Qualität zu ermitteln.

## 7 Literaturverzeichnis

- AZZAM, R., W. FÖRSTER, F. HEINRICH (1995): Örtliche Standsicherheit (Suffosion und Erosion) bei Sickerwasserströmungen, Veröffentlichungen des Institutes für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg, Heft 95-2
- BAECKMANN, W.V., W. SCHWENK (1999): Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes, Theorie und Praxis der elektrochemischen Schutzverfahren, WILEY-VCH, ISBN 3-527-29586-0
- BAYER, H. (2004): Agenda 21 – die grabenlose Bauweise dient den Zielen, tis 6/2004
- Beneke, H. (2000): Lexikon der Korrosion und des Korrosionsschutzes, Vulkan-Verlag, Essen, ISBN 3-8027-2918-8
- BEYER, K., (1984): Kriterien für das Sanieren oder Auswechseln von Rohrleitungen, 9. Wassertechnisches Seminar, Rohrnetz und Rohrwerkstoffe, Berichte aus Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen Technische Universität München, Nr. 57
- BEYER, K. (1995): Verfahren der Erneuerung und Instandsetzung, vorbeugende Instandsetzung, technische und wirtschaftliche Aspekte, Instandsetzung und Erneuerung von Rohrleitungen, gwf Wasser Special, Nr. 14
- CAMMENGA, H. K., J. DAUM, C. GLOISTEIN, U. GLOISTEIN, A. STEER, B. ZIELASKO (1996): Bauchemie Eine Einführung in das Studium, Fachbücher der Technik, ISBN 3-528-07711-5
- DVGW REGELWERK, GW 9 (1986): Beurteilung von Böden hinsichtlich ihres Korrosionsverhaltens auf erdverlegte Rohrleitungen und Behälter aus unlegierten und niedriglegierten Eisenwerkstoffen
- DVGW REGELWERK, W 401 (1997): Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen
- DVGW REGELWERK, W 400/3 (2004): Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRVW), Teil 3> Betrieb und Instandhaltung
- EISWIRTH, M., (2000), Leckortung – Künftige Herausforderungen und Lösungen, EntsorgungsPraxis 2000, 18(6):52-57
- FRÖSSEL, F., (2002): Mauerwerkstrochenlegung und Kellersanierung, Wenn das Haus nasse Füße hat, 2., durchges. Aufl., Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart
- FUCHS, D. (2001), Decision Support Systeme für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, TU Graz

- Gobiet, W., M. Freewein, G. Kriebeneegg (2003): Schriftliche Unterlagen Straßenwesen WS 2003/2004, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, TU Graz
- Grasshof, H., P. Siedeck, G. Kübler (1962): Eigenschaften und Belastbarkeiten der Bodenarten, Erd- und Grundbau, Teil 1, Werner Verlag GmbH
- Grabhoff, H., P. Siedeck, R. Floss (1982): Teil 1, Boden und Fels Gründungen, Stützbauwerke, Handbuch Erd- und Grundbau, ISBN 3-8041-1742-2, Werner-Verlag, Düsseldorf
- Herz, R. (1995): Der Einfluss sozialer Kosten auf den Erneuerungsbedarf städtischer Wasserrohrnetze, NO DIG`95- Vortrag 12. int. Kongress Leitungsbau
- Knoblauch, H., U. Schneider (1992), Bauchemie, Werner –Verlag, Düsseldorf, ISBN 3-8041-2443-7
- Kolator, R. (1998): Soziale Kosten im Leitungs- und Kanalbau, Ein Verfahren zur Bewertung der externen Kosten, Dissertation, TU Wien
- Kottmann, A. (1978): Über die Ursachen von Rohrbrüchen in Versorgungsleitungen
- Kröfges, W.(2002): bbr 12/2002, 53. Jahrgang
- Küpfmüller, K. (1955): Einführung in die theoretische Elektronik, Springer-Verlag, Berlin
- ÖNORM B 2533 (2003): Koordinierung unterirdischer Einbauten – Planungsrichtlinien
- ÖNORM B 4400 (1978): Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke und Methoden zum Erkennen von Bodengruppen
- ÖNORM EN 805 (2000): Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden
- ÖNORM S 2088-1 Altlasten (2004): Gefährdungsabschätzung für das Schutzgut Grundwasser
- ÖVGW W 63 (1993): Wasserverluste in Versorgungsnetzen, Anschlussleitungen und Verbrauchsleitungen
- Roscher, H., u. a. (2004): Praxis-Handbuch, Sanierung städtischer Wasserversorgungsnetze, 1. Auflage, ISBN 3-345-00717-7, Verlag Bauwesen, Berlin
- Semlitsch, W. (2000): Die Ermittlung des optimalen Rekonstruktionszeitpunktes von Wasserversorgungsleitungen, Diplomarbeit, TU Graz
- Sticker, R., (2003): Reduzierung der Einbautiefe von Trinkwasserleitungen in der Stadt Salzburg, Erfassung von Temperatureinflüssen und technisch wirtschaftliche Machbarkeit, Diplomarbeit, TU Graz

- WAPENHANS, W., A. JÄCKEL (2004): Wenn Häuser nasse Füße haben –  
Teil 1, ARCONIS – Wissen zum Planen und Bauen, Heft 1/2004, S. 26-29  
RVS 3.931 (2001): Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau  
RVS 3.63 (1998): Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau  
<http://www.itc-leipzig.de/corrosiontypes.html>, 22.10. 2004, 12:50

## 8 Anhang

### 8.1 *Abbildungsverzeichnis*

<b>Abb. 3.1</b>	<b>Richtwerte für den längenbezogenen Wasserverlust (ÖVGW W63, 1993)</b>	<b>11</b>
<b>Abb. 3.2</b>	<b>Kraft-Durchbiegungslinien von Rohren DN 100 aus verschiedenen Werkstoffen (nach Kottmann)</b>	<b>13</b>
<b>Abb. 3.3</b>	<b>Externe Einflüsse wirken als Schadenverursacher</b>	<b>15</b>
<b>Abb. 3.4</b>	<b>Kornverteilungslinie (Sieblinien verschiedener Lockerböden)</b>	<b>25</b>
<b>Abb. 3.5</b>	<b>Plastizitätsdiagramm nach A. Casagrande (RVS 8.24)</b>	<b>26</b>
<b>Abb. 3.6</b>	<b>Übersicht wichtiger Bodenkennziffern (Loos et al.)</b>	<b>28</b>
<b>Abb. 3.7</b>	<b>Streustromkorrosion bei Gleichstrombahnen</b>	<b>30</b>
<b>Abb. 3.8</b>	<b>Auswirkungen des Schadens</b>	<b>32</b>
<b>Abb. 3.9</b>	<b>Verlegekorridor (ÖNORM B 2533, 2003)</b>	<b>36</b>
<b>Abb. 3.10</b>	<b>Die verschiedenen Beanspruchungsarten der Feuchtigkeit (WAPENHANS et Jäckel, 2004)</b>	<b>38</b>
<b>Abb. 3.11</b>	<b>Externe Einflüsse auf die Durchführung von Rehabilitationsmaßnahmen</b>	<b>41</b>
<b>Abb. 3.12</b>	<b>Überblick und Einteilung zu den Auswirkungen im städtischen Leitungsbau (Kolator R., 1998)</b>	<b>46</b>
<b>Abb. 3.13</b>	<b>Vergleich Leitungsbau: 1000 m 110 mm Durchmesser PE-HD offene Bauweise und grabenlose Bauweise in Bezug auf Geräteinsatz (Bayer, 2004)</b>	<b>47</b>
<b>Abb. 4.1</b>	<b>Verknüpfungen der externen Einflüsse</b>	<b>59</b>
<b>Abb. 4.2</b>	<b>Bewertung Musterstraße 1, 2, 3, 5</b>	<b>70</b>
<b>Abb. 4.3</b>	<b>Bewertung Musterstraße 1s, 2s, 3s, 5s</b>	<b>70</b>
<b>Abb. 4.4</b>	<b>Bewertung Musterstraße 1w, 2w, 3w, 5w</b>	<b>70</b>
<b>Abb. 4.5</b>	<b>Gesamtübersicht der Bewertung mit Grenzwerten</b>	<b>71</b>
<b>Abb. 5.1</b>	<b>Lageplan der Leitungsabschnitte</b>	<b>72</b>
<b>Abb. 5.2</b>	<b>Übersicht der Ergebnisse</b>	<b>79</b>

---

## 8.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Tätigkeiten der Instandhaltung (DVGW – W 400-3, 2004)	4
Tab. 3.1	Materialstruktur der Wasserversorgungsnetze in BRD und DDR um 1990, nach Stadtfeld	13
Tab. 3.2	Bodenwiderstand verschiedener Bodenarten (Beneke H., 2000)	18
Tab. 3.3	Angaben zur Beurteilung von Erdböden (DVGW-GW 9, 1986)	19
Tab. 3.4	Bodenklasse, Bodenaggressivität und Korrosionswahrscheinlichkeit nach DVGW-GW 9, 1986	20
Tab. 3.5	Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit bei Elementbildung mit Fremdkathoden (DVGW-GW 9, 1986)	21
Tab. 3.6	Atterberg´sche Konsistenzgrenzen(ÖNORM B4411, 1974)	25
Tab. 3.7	Übersicht über mineralische Böden (vereinfachte Darstellung) nach ÖNORM B 4400 (1978)	27
Tab. 3.8	Klassifikation der Frostempfindlichkeit von Bodenarten (Straßenwesenskriptum 2003/2004, TU Graz)	33
Tab. 3.9	Funktionelle Gliederung der Straße nach RVS 3.931,1/2001 (vereinfachte Darstellung)	42
Tab. 4.1	Punkteverteilungsschema der direkten Bewertung	56
Tab. 4.2	Aufzählung der im Bewertungssystem berücksichtigten externen Einflüsse	60
Tab. 4.3	Darstellung der Bewertungsbereiche	61
Tab. 4.4	Punkteverteilung und Ermittlung des Produkts der einzelnen Kriterien	62
Tab. 4.5	Gewichtung der externen Einflüsse	66
Tab. 4.6	Ermittlung der Gesamtpunktzahl	67
Tab. 5.1	Ergebnisübersicht	78

