



Bauforum
Rheinland-Pfalz



IFB ///
BAUFORSCHUNG

Institut für Bauforschung e.V.

Nachhaltige Erschließung

**Ökologische und wirtschaftliche Chancen bei der
Erschließung durch begehbare Leitungsgänge**

Herausgeber: Bauforum Rheinland-Pfalz GbR
Kaiser-Friedrich-Str. 5
55116 Mainz

Bearbeitung: Institut für Bauforschung e. V.
An der Markuskirche 1
30163 Hannover

1. Auflage: 05 / 2014

INHALT

VORWORT	4
GELEITWORT	5
EINFÜHRENDE WORTE AUS SICHT EINES DER AUSFÜHRENDEN	7
1 GRUNDLAGEN DER ERSCHLIEßUNG	11
2 BEGEHBARE LEITUNGSGÄNGE	14
3 NACHHALTIGKEIT	29
4 SCHWERPUNKT PLANUNG / ERRICHTUNG AM BEISPIEL SPEYER	33
5 SCHWERPUNKT NUTZUNG	38
6 SCHWERPUNKT LEBENSDAUER / LEBENSZYKLUS	45
7 SCHWERPUNKT RECHT	47
8 ZUSAMMENFASSUNG	52
9 BERATENDE INSTITUTIONEN	53
10 WEITERFÜHRENDE LITERATUR UND INFORMATIONSMITTEL	54



Vorwort

Zu den zentralen Aufgaben des Bauforums Rheinland-Pfalz gehören der Wissenstransfer und die Förderung von Innovation im Bauwesen. Innovation kann auch – wie das Modellprojekt Infrastrukturkanal beweist - unter der Erde stattfinden. Bauwerke und ihre Infrastruktur sind langlebige, dauerhafte Güter. Wer sie heute plant oder baut muss sich mit damit befassen, was morgen anders sein wird als heute. Albert Schweitzer hat es so formuliert: „Keine Zukunft vermag wieder gut zu machen, was du in der Gegenwart versäumst.“

Die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit von Infrastrukturbauwerken bemisst sich daher nicht allein nach den Baukosten. Gerade unter der Erde ist die Kette der Wertschöpfung länger und komplexer als bei manchen Immobilien. Ein wichtiger Ansatz, um zu neuen zukunftsorientierten und wirtschaftlich interessanten Lösungsvorschlägen zu kommen, sind „gebaute Beispiele“. Sie ermöglichen es, am konkreten Objekt Erfahrungen zu sammeln. Der Infrastrukturkanal ist ein solches Vorhaben. Das Projekt versteht sich als Informationsplattform zwischen Planung, Wirtschaft, Politik, Verwaltung und Hochschulen. Es generiert zugleich Praxiserfahrungen in Bau und Betrieb eines der „Erschließungsmodelle der Zukunft“. Die Erkenntnisse können auch einen wichtigen Beitrag zur Förderung der Bauqualität leisten. Hohe Qualitätsstandards beim Bauen stärken Beschäftigung und internationale Wettbewerbsfähigkeit. Diesem Aspekt müssen wir gerade mit Blick auf den europäischen Markt besondere Beachtung schenken.

Bauen ist heute ein komplexer Prozess geworden. Neue Technologien bestimmen das Bauen. Ingenieure, Architekten und Wissenschaftler haben - mindestens in gleichem Maße wie die Politiker - Verantwortung gegenüber der Gesellschaft für die nachhaltige Gestaltung und die zukunftsorientierte Weiterentwicklung unseres Gemeinwesens. Das Bauforum spielt dabei eine wichtige Rolle. Es hat sich seit seiner Gründung im August 1999 zu einem kompetenten Netzwerk für den Wissenstransfer und für die Innovationsförderung in Rheinland-Pfalz entwickelt. Bei der Lektüre dieser Dokumentation wünsche ich Ihnen viele neue Erkenntnisse und dem Projekt Infrastrukturkanal viele Nachahmer.

Dr. Carsten Kühl
Finanzminister des Landes Rheinland-Pfalz

Geleitwort

„Die Menschheit lebt in Städten“ – dies ist keine These, sondern eine Tatsache, die für über 50 % der Menschen zutrifft. Die Entwicklung von Urbanität und urbanem Leben nahm vor Jahrhunderten ihren Anfang und schreitet beschleunigt fort, was sich eindrucksvoll an dem rasanten Wachstum der Metropolen insbesondere in den Schwellenländern zeigt.

Auch in den entwickelten Gesellschaften in der nachindustriellen Phase erleben wir diese Prozesse und selbst in Deutschland nimmt der Anteil der in Städten lebenden Bevölkerung aufgrund von Wanderungen innerhalb Deutschlands weiterhin zu - attraktive urbane Regionen sind die „Gewinner“ dieser Trends und zwar zu Lasten weniger attraktiver Städte und ländlicher Regionen.

Diese Entwicklung wird überlagert durch eine Veränderung der Zusammensetzung der deutschen Bevölkerung: Wir werden nicht nur weniger, sondern auch durchschnittlich älter. So ist anhand der Prognoseberechnungen des statistischen Bundesamtes mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass der Anteil der über 60-Jährigen von heute etwa 20 % der Gesamtbevölkerung auf knapp 39 % im Jahr 2050 zunehmen wird bei insgesamt zurückgehender Bevölkerung von derzeit 82 Mio. auf 74 Mio. Einwohner. Diese Tatsachen sind seit Jahren und Jahrzehnten bekannt und im Wesentlichen nicht mehr beeinflussbar.

In Bezug auf die leitungsgebundene Infrastruktur ist sicher damit zu rechnen, dass die demografischen Effekte, die sich verändernden Nutzeranforderungen bzw. das sich ändernde Nutzerverhalten und die technische Weiterentwicklung sowie die verstärkte Nutzung alternativer Energieträger Auswirkungen auf den Betrieb der leitungsgebundenen Infrastruktur hat, die wir zum Teil heute bereits beobachten können. Beispielsweise bedingt der insgesamt geringer werdende Gesamtwasserbedarf – als Folge der abnehmenden Bevölkerung und der Reduzierung des spezifischen Wasserverbrauches von 180 l (1990) auf heute 125 l pro Einwohner mit weiter abnehmender Tendenz – längere Verweilzeiten des Wassers in den Leitungen und damit eine Beeinträchtigung der Trinkwasserhygiene. Ähnliche Auswirkungen sind im Bereich der Entwässerung zu beobachten, in der die Schmutz- und Mischwasserkanäle heute z.T. überdimensioniert angesichts des sinkenden Schmutzwasseraufkommens und der Bestrebungen zur Regenwasserabtrennung sind.

Mit den sich dynamisch verändernden Anforderungen an unsere Leitungssysteme wird nun eine wesentliche Problematik immer deutlicher erkennbar: Sie lassen sich nur mit sehr hohem technischen und finanziellen Aufwand sowie erheblichen ökologischen Folgeproblemen den neuen Gegebenheiten anpassen.

Ein weiterer wesentlicher systemimmanenter technischer Nachteil unserer heutigen kommunalen Leitungs- und Kabelsysteme besteht darin, dass sie im unterirdischen Bauraum unzugänglich untergebracht sind und somit nicht bzw. nur mit erheblichem technischen und finanziellen Aufwand instand gehalten werden können. Um die Ver- und Entsorgungssicherheit zu erhalten, wären daher aufwendige Sanierungs- und Neubaumaßnahmen erforderlich, die aber oftmals aufgrund des großen Aufwandes unterbleiben und hinausgezögert werden, also erst dann durchgeführt werden, wenn sie unvermeidlich geworden sind.

Damit kann von Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung keine Rede sein. Die Bilanz wird weiter verschlechtert, wenn die sogenannten sozialen (sozialisierten) intangiblen Kosten mit berücksichtigt werden, wie z.B. Folgeschäden an Straßen und Bebauung, Zeitverlust und Energieverbrauch aufgrund von Verkehrsstörungen usw..

Wir stehen also vor der Frage, ob der bislang durchaus erfolgreiche „technologische Pfad“ der Erdverlegung von Leitungen und Kabeln in urbanen Gebieten noch zeitgemäß, d.h. insbesondere finanzierbar ist bei sich verändernden Anforderungen oder ob er nicht zugunsten einer alternativen Lösung verlassen werden sollte.

Diesbezüglich wurde in der bereits 2003 vom BMBF herausgegebenen Studie „Auf dem Weg zur Stadt 2030 – Leitbilder, Szenarien und Konzepte für die Zukunft der Stadt“ zusammenfassend festgestellt:

„Diese Entwicklung wird von Bevölkerungsumschichtungen zwischen einzelnen Stadtteilen sowie durch sich ändernde Ansprüche und Nutzerprofile der Einwohner überlagert, deren Ausmaß und Auswirkungen als Bemessungsgrundlage für die kommunale Infrastrukturplanung schwer abschätzbar sind. „Dieser wachsenden Unsicherheit über eine bereits nahe bevorstehende Zukunft steht die einfache Tatsache gegenüber, dass Planungsmaßnahmen – z.B. der technischen Infrastruktur, also des Verkehrswesens, der Wasser- und Energieversorgung – durch das Steigen technischer Standards immer längere Lebensdauern gewinnen. Die Folgedauer von Planung wächst also offensichtlich. Damit wächst aber auch die Folgenmasse eben dieses technisch-instrumentellen Handelns, so dass die Komplexität von Folgen steigt und damit Zukunft auch von dieser Seite unklar werden lässt.“

Die sich logisch ergebende Konsequenz lautet also Schaffung von Leitungssystemen, die wesentlich flexibler an die sich rasch ändernden Anforderungen angepasst werden können, ohne aufwendige Leitungstiefbaumaßnahmen ergreifen zu müssen, und sich darüber hinaus effizient warten und instand halten lassen.

Die in der vorliegenden Veröffentlichung präsentierte technische Lösung beschreibt einen derartigen Technologiewechsel, den man vielleicht sogar als Paradigmenwechsel bezeichnen könnte. Kernelement der im Weiteren näher beschriebenen Lösung ist der sogenannte Infrastrukturkanal. Diese durchaus bekannte Idee war ursprünglich geleitet von der Zielstellung, die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Systeme durch eine effiziente Instandhaltung, d.h. Wartung, Inspektion, Instandsetzung zu sichern, indem diese sichtbar und zugänglich in einem begehbaren Bauwerk untergebracht werden. Aufwendige Maßnahmen der Zustandserfassung und ggf. Reparatur können fast vollständig entfallen, da die Kontrolle der Leitungen durch einfache regelmäßige Sichtprüfung möglich ist und somit das unbemerkte Entstehen größerer Schäden ausgeschlossen werden kann.

Mit der Unterbringung der Ver- und Entsorgungsleitungen sowie der Kabelleitungen in einem Infrastrukturkanal besteht darüber hinaus die Option, flexibel und schnell Anpassungen an die sich ändernden Nutzeranforderungen vornehmen zu können, wie z.B. die Integration neuartiger Leitungssysteme für den Datentransfer oder für neue Energieträger. Hierfür wären keinerlei Tiefbaumaßnahmen in Zukunft erforderlich, da alle Arbeiten innerhalb des bestehenden Infrastrukturkanals erfolgen könnten - ohne große Emissionen und Verkehrsbeeinträchtigungen und ohne Auswirkungen auf die übrige Umwelt.

Um den Grundgedanken der Flexibilisierung und effizienten Instandhaltung kommunaler Ver- und Entsorgungsleitungen in urbanen Randbereichen und Außenbezirken, aber auch auf kleineren nicht öffentlichen Liegenschaften möglichst weitgehend umzusetzen, sind zur Ergänzung des „klassischen“ Infrastrukturkanals neue technische Konzepte erforderlich. Beispielsweise ließen sich in Abhängigkeit der aktuell und perspektivisch aufzunehmenden Leitungen modulare Fertigteile aus Hochleistungsbeton mit integrierter Sensorik zur Überwachung und Wartung wirtschaftlich herstellen. Diese wären ebenso zur Aufnahme aller Lei-

tungen auf den privaten Grundstücken geeignet und könnten somit einen Beitrag zur Lösung der sog. „Last mile“-Problematik leisten. Hier besteht noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Die vorliegende Veröffentlichung ist zu verstehen als eine Informationsschrift für Entscheidungsträger in den kommunalen Verwaltungen mit der zentralen Botschaft, den Infrastrukturkanal in hochverdichteten urbanen Zentren als zukunftsfähige Alternative zur konventionellen Erdverlegung zu betrachten. Das Konzept der Führung von Leitungen in einem „Infrastrukturkanal“ hat sich stets dort bewährt, wo es konsequent umgesetzt wurde. Ein Beispiel hierfür stellt die Erschließung des Campus der TU Kaiserslautern dar, deren Institutsgebäude vollständig und unbemerkt vom universitären Alltag sowie ohne größere Störungen seit über 40 Jahren mit Energie, technischen Gasen, Wärme und Kälte, Daten usw. durch Leitungen in Infrastrukturkanälen versorgt werden. Später hinzugekommene Instituts- und Laborgebäude konnten problemlos an die Energie- und Medienversorgung angeschlossen und neue Leitungssysteme wie z.B. Glasfaserkabel integriert werden.

Obwohl die zahlreichen Vorteile des Infrastrukturkanals und ausgeführte Beispiele für eine breite Anwendung in urbanen Gebieten sprechen, werden derartige Systeme nur in überschaubarem Umfang realisiert. Die Gründe hierfür sind in erster Linie finanzieller und administrativer Natur, denn der Technologiepfadwechsel wird einmalig relativ hohe Investitionen und Sonderaufwendungen verursachen, die durch ein geeignetes Betreibermodell refinanziert werden müssen. Von entscheidender Bedeutung wird es sein, dass der Infrastrukturkanal tatsächlich auch von allen Leistungssystembetreibern genutzt wird. Diesbezüglich besteht die Aufgabe darin, entsprechende monetäre Anreize zu schaffen und umzusetzen.

Möge die Informationsschrift eine weite Verbreitung finden und einen Beitrag zur nachhaltigen Sicherung unserer urbanen Infrastruktur leisten.

Prof. Dr.-Ing. Karsten Körkemeyer
Technische Universität Kaiserslautern

Einführende Worte aus Sicht eines der Ausführenden

Anfang der 90er Jahre hatte ich mich zum ersten Mal mit dem Thema „Begehbarer Leitungsgang“ beschäftigt, als in dem ZDB-Ausschuss Umwelt und Technik das Thema diskutiert wurde. Wenngleich damals Öffentlich-Private Partnerschaften (ÖPP) in Deutschland noch kein Thema waren, war neben den technischen Vorzügen auch der Gedanke verlockend, mit dem Betreiben, heute spricht man von „contracting“, eines begehbaren Infrastrukturkanals (ISK) kontinuierliche Zahlungsströme zu erzielen und somit weg von der üblichen Zyklizität der normalen Bautätigkeit zu kommen.

Das nächste Mal stieß ich im Jahr 1998 bei der Lektüre einer Broschüre des Bundesbauministeriums mit dem Titel „Kostensenkung bei der Erschließung und Bereitstellung von Wohnbauland“ auf das Thema Erschließung mit begehbaren Infrastrukturkanälen. Diese Broschüre enthielt eine beeindruckende Aufzählung von Vorteilen dieser Erschließungsform. In dem diesbezüglichen Kapitel waren jedoch konkret die Mehrkosten der baulichen Hülle des ISK genannt, welche sich jedoch im Lebenszyklus der Gesamterschließung amortisieren sollten.

Als die Realisierung des Baugebietes Rheinufer Nord Speyer anstand, wurde die Recherche über die Möglichkeiten und Vorzüge einer Erschließung mit begehbaren Infrastrukturkanälen vertieft. Die von unserem Ingenieurbüro POET bis dahin verwandten Erschließungsverfahren mit Bauteilen aus Wellblech oder PEHD waren erstens teuer und zweitens waren die Bauteile außerdem nicht auftriebssicher, so dass zuerst ein gewöhnliches Stahlbetonkanalrohr ins Auge gefasst wurde. Der runde Leitungsgang benötigt allerdings einen vergleichsweise großen Rohrdurchmesser, welcher als Fertigteil von den meisten Herstellern nicht maschinell gefertigt werden konnte. So wurde die Erkenntnis gewonnen, dass mit einem Tunnelprofil die Kosten der Fertigteile erheblich reduziert werden können. Mit den daraus resultierenden Preisen schien eine Kostengleichheit gegenüber einer konventionellen Erschließung möglich und der Infrastrukturkanal wurde zur Auslobungsgrundlage eines mit der Stadt Speyer vereinbarten städtebaulichen Ideenwettbewerbs gemacht. Kurz vor der Realisierung der Erschließungsmaßnahme wurde jedoch der Fertigteilpreis gegenüber den ursprünglich genannten Angeboten verdoppelt. Bei der nochmaligen, nunmehr intensiveren Überprüfung einer Ortbetonlösung konnte ein mittlerweile patentiertes Bauverfahren und auch ein Hersteller gefunden werden, der die dafür notwendige Schalungsmaschine zu einem vertretbaren Preis liefern konnte. In der Zwischenzeit wurde statisch nachgewiesen, dass dieses Tunnelprofil in Ortbetonbauweise auch ohne Bewehrung hergestellt werden konnte. Da Fertigteile immer mindestens eine Transportbewehrung brauchen, um nicht schon beim Transport bzw. der Montage zerstört zu werden, war damit ein wesentlicher Kostenvorteil der Ortbetonbauweise verbunden. Nunmehr musste noch die Akzeptanz der Projekt-Partner bewirkt werden, um von der ursprünglich vorgesehenen Fertigteillösung abzuweichen.

Zu dem damaligen Zeitpunkt war die Ausschreibung in Speyer auf der Basis von Fertigteilen bereits im Gange. Nach Bauauftragserteilung aufgrund unseres Sondervorschlags und der Festlegung, dass zunächst nur ein 1. Bauabschnitt so ausgeführt werden sollte, war jedoch klar, dass die erhebliche Investition von weit über 100.000,00 € für die Schalungsmaschine sowie der noch erhebliche Detail-Optimierungsbedarf des Bauverfahrens und die dazu notwendigen Recherchen und Entwicklungen aus eigener Kraft nicht zu bewältigen waren. Aus diesem Grund wurde ein Antrag auf Förderung bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gestellt. Es liegt in der Natur der Sache, dass die Bundesstiftung Umwelt die Optimierung des Bauverfahrens lediglich als „Mittel zum Zweck“ gesehen hat. Für sie war natürlich insbe-

sondere die Darstellung der umweltspezifischen Vorteile von großer Bedeutung. Darauf wird im weiteren Verlauf noch eingegangen werden.

Nach intensiven Internet-Recherchen wurden vertiefende Literatur zu den einzelnen Themen besorgt, Kontakte zu entsprechenden Fachleuten aufgenommen sowie viele Verhandlungen mit potentiellen Lieferanten geführt. Das, was beim Bauen üblicherweise das Einfachste ist, nämlich das Betonieren, war hier das Schwierigste und trotz aller gefundenen Lösungsansätze auch am deutlichsten verbesserungsbedürftig. Dabei ging es nicht nur um die Optimierung der Betonrezeptur, des Betoniervorgangs, der Verdichtung sowie der Nachbehandlung des Betons sondern auch um die Optimierung der Bauzustände und der sogenannten Nachbehandlung nach der eigentlichen Herstellung des Betonbauwerks. Aus den „Fehlern“ wurden optimierte Lösungsansätze für den 2. Bauabschnitt, der nicht Gegenstand des geförderten Projektes war, abgeleitet, wobei die Schalungsmaschine umgebaut und die notwendigen Verfahrensschritte in einem Qualitätssicherungshandbuch dokumentiert wurden.

Die „Hausaufgabe“ bestand nun darin, eine Betonrezeptur zu finden, die die antinomischen Ziele einer wegen der monolithischen Bauweise erforderlichen frühen „Grünstandsfestigkeit“ auf der einen Seite und einer niedrigen Hydratationswärme zur Vermeidung von Rissbildungen sowie einer hohen Frühfestigkeit zur Verkürzung der Ausschulfristen auf der anderen Seite vereinen sollte, was laut Aussage führender Betontechnologen schlicht unmöglich sein sollte.

Die Vielfalt der für den ISK gefundenen Sonderlösungen legte es nahe, nach patentamtlichem Schutz zu suchen. In einer ersten Runde wurde daher ein Gebrauchsmusterschutz formuliert. Nachdem eine intensive Patentrecherche nach Auswertung von 120 potentiell in Frage kommenden „Störpatenten“ ergeben hat, dass einer Patentierung nichts im Wege stand, wurde diese unter Ausnutzung der einjährigen Priorität als PCT-Weltpatent in die Wege geleitet.

Mittlerweile wurde das PCT-Patent erteilt und europaweit sowie darüber hinaus in ausgesuchten Staaten weltweit angemeldet. Die in Speyer vorgerüsteten Regenwasserzisternen zur Brauchwasserversorgung in Kombination mit neuartigen Sanitärsystemen „NASS“ ermöglichen es, eine nachhaltige zukunftssichere Erschließung sprichwörtlich aus einem Guss anzubieten und die Kreislaufwirtschaft auch in der Ver- und Entsorgung einzuführen. Die diesbezüglichen Erschließungsmöglichkeiten sind in emerging countries ohne vorhandene Infrastruktursysteme und dort insbesondere in semiariden Gebieten alternativlos.

Die mittlerweile in der Nähe von Siedlungen sowie in Naturschutzgebieten anstelle von Freileitungen geforderte Erdverlegung von Hoch- und Höchstspannungskabel, stellt keine optimale Lösung dar. Wie mehrere bereits realisierte Trassenprojekte gezeigt haben, können Hoch- und Höchstspannungskabel vielmehr äußerst vorteilhaft in Tunnelbauwerken angeordnet werden. Vor diesem Hintergrund gewinnt der ISK in Anbetracht der besonders niedrigen Baukosten der monolithischen Faserortbetontunnelvariante und unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten an Bedeutung für unterirdische Hoch- und Höchstspannungstrassen. Diese Vorteile werden nochmals gesteigert durch ein neues Patent für einen thermisch aktivierten Infrastrukturkanal zur Aufnahme von Hoch- und Höchstspannungskabeln. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass Infrastrukturkanäle sich auch hervorragend zur Erschließung von industriellen Komplexen eignen und hier gegenüber den oftmals verwendeten Leitungsbrücken signifikante Vorteile aufweisen. Die vielfältige Nutzung von Abwärme und flüssigen Nebenprodukten für andere Prozesse wird dadurch erheblich erleichtert, indem

entsprechende Leitungssysteme flexibel nach sich ändernden Produktionsbedürfnissen im ISK installiert werden können. Dies gilt insbesondere auch für die Umnutzung von Gebäuden und für die Umstrukturierungen von Produktionsprozessen.

Frank Dupré

1 Grundlagen der Erschließung

1.1. Hintergrund Ver- und Entsorgungssysteme

Ver- und Entsorgungssysteme stellen als wesentlicher Teil der Infrastruktur die Grundlage für wirtschaftliches Handeln dar. In Deutschland fordert § 2 Abs. 2 Nr. 4 des Raumordnungsgesetzes die flächendeckende Grundversorgung mit technischer Infrastruktur. Dies gilt für die Bereiche Wasserversorgung, Abwasserentsorgung, Abfallentsorgung, Energieversorgung, Verkehr und das Nachrichtenwesen. Zu den wichtigen Merkmalen dieser Infrastruktur gehören u.a. die Unteilbarkeit der Anlagen, die lange Lebensdauer sowie ökonomische Gesichtspunkte.

Konventionelle Ver- und Entsorgungssysteme sehen eine Trennung der verschiedenen Stoffströme der Ver- und Entsorgung, nämlich von Trinkwasser, Abwasser und Abfall, vor. Diese Systeme wurden in Europa Mitte des 19. Jahrhunderts zum Seuchenschutz eingeführt. Die Sammlung von Abwässern in Kanalsystemen und die strikte räumliche Trennung von der Wassergewinnung wurde als wesentliche Maßnahme zur Eindämmung der großen Choleraepidemien des 19. Jahrhunderts identifiziert. Auch die Geschichte der Abfallwirtschaft ist eng an den Seuchenschutz gekoppelt. Bereits Anfang des 16. Jahrhunderts weist die „Pestordnung der Stadt Hamburg“ auf einen Zusammenhang zwischen Seuchen und Stadthygiene hin, zum Ende des 19. Jahrhunderts wurden die Stadtreinigungsaufgaben in die „Baudeputation“ eingegliedert. Doch erst im Jahr 1972 trat mit dem Abfallgesetz (AbfG) die erste gesetzliche Regelung zur Abfallbehandlung in der Bundesrepublik in Kraft. Neben hygienischen Aspekten zählen zu den Aufgaben von Ver- und Entsorgungssystemen auch die Reduzierung von Lärm- und Schadstoffemissionen.

1.2. Statistische Darstellung des Ist-Zustandes

Für die Entwicklung und den Erhalt von Besiedlungsstrukturen ist das Vorhandensein zuverlässiger und anpassungsfähiger Ver- und Entsorgungssysteme eine wichtige Voraussetzung. Ihr planmäßiger Bau in Deutschland im 19. Jahrhundert war Voraussetzung für das rasante Wachstum von Städten und Bevölkerung im Industriezeitalter. Die Infrastruktursysteme wurden seitdem ständig erweitert, so dass heute Gesamtlängen von über 960.000 km öffentlicher und privater Abwasserkanäle und mehrere Millionen Kilometer Gas-, Wasser-, Elektrizitäts-, Fernwärme- und Telekommunikationsleitungen in Deutschland vorhanden sind. All diese, aber auch noch weitere Leitungssysteme, sind unterirdisch im Straßenkörper untergebracht und bilden einen wichtigen Bestandteil der kommunalen Infrastruktur. Die Lage und insbesondere die Tiefe der einzelnen Leitungssysteme ist in Normen geregelt. Diese konventionelle Anordnung und die getrennte Verlegung von Ver- und Entsorgungsleitungen im Straßenquerschnitt haben sich seit dem vergangenen Jahrhundert im Prinzip nicht verändert.

1.3. Kabel- und Leitungsschäden

Die heute übliche Art, im besiedelten Raum Leitungen, Rohre und Kanäle zu verlegen, ist weitgehend bekannt. Umfangreiche Regelwerke und technische Vorschriften definieren überdies den Raum unterhalb der Straßendecke mit Abständen und Schutzzonen. Trotz dieser Regelungen kommt es immer wieder dazu, dass Kabel beschädigt werden, Wasserleitungen platzen, Kanalrohre brechen sowie Schieber defekt und Lötungen korrodiert sind. Außerdem können nicht immer alte Leitungen, Rohre, Kanäle, Siele und Schächte entfernt

werden, nachdem sie stillgelegt wurden. Häufig geraten alte Infrastrukturrudimente in Vergessenheit und stellen bei späteren Bauarbeiten unter Umständen erhebliche Hindernisse oder schlimmstenfalls eine allgemeine Gefahr im Falle ihres Einsturzes dar.

Auf jeder Baustelle wird von allen am Bau Beteiligten gefordert, auf den Schutz der im Erdreich verlaufenden Kabel und Leitungen zu achten. Die empfindlichsten Leitungen, insbesondere IT-, TV-Kabel und Elektrokabel sowie Gasleitungen, liegen allerdings im Bereich bis ca. 1 m unter der Erde. Dort treten auch die meisten Schäden auf. Die Schadenursachen sind vielschichtig, sie liegen teilweise in den unterschiedlichen Maßstäben der dem Bauunternehmer vorliegenden Leitungspläne, in erheblich abweichender Lage der Leitungen, in fehlenden oder fehlerhaften Informationen der Leitungsträger über Planungsänderungen bzw. in der mangelnden Sorgfalt von Unternehmen bei der Erkundigungs- und Sicherungspflicht begründet. Jährlich entsteht der Volkswirtschaft dadurch ein Schaden von etwa 75 Mio. Euro. Die Versorgungsunternehmen schätzen diesen Betrag deutlich höher, denn in diese Kosten sind neben den eigentlichen Schadenbeseitigungskosten für die Reparatur in Form von Material-, Geräte- und Personalaufwand weitere Kosten durch evtl. verletzte Mitarbeiter, Stillstand der Baustelle und Schadensabwicklung im Unternehmen, Kosten eines eventuellen Strafverfahrens sowie die Selbstbeteiligung an der Entschädigungszahlung des Haftpflichtversicherers und verschiedenes mehr mit einzubeziehen. Überdies werden die Kosten von Versorgungsunterbrechungen und Verkehrsstörungen sowie die signifikante Verkürzung der Lebensdauer der Straßendecke häufig nicht beachtet.

Wegen des enormen volkswirtschaftlichen Schadens gibt es vielfältige Bemühungen aller Interessengruppen, also der Leitungsbetreiber, der Baubeteiligten und der Versicherer, Leitungsbeschädigungen zu vermeiden. Hierzu zählen z.B. intensive Schulungen, Dokumentation der Leitungssysteme in integrierten Datenbanken oder der Einsatz von Leitungsortungsgeräten. Dennoch nimmt, zumindest auch aus Sicht der Versicherer, die Zahl der Leitungsbeschädigungen keineswegs ab. So hat sich nach eigenen Angaben alleine die VHV Versicherung jährlich mit mehr als 20.000 Leitungsschäden zu befassen und diese abzuwickeln. Darüber hinaus ist auch bei neu entwickelten Baugebieten nicht auszuschließen, dass im Straßenraum schon nach kurzer Zeitspanne erste Aufbrüche nötig werden, weil schadhafte Material oder Systemänderungen dies notwendig machen. Ein einmal in seiner Statik unterhalb der Straßendecke gestörter Straßenkörper kommt selten zur Ruhe, d.h. die Straßendecke bricht noch Jahre später wieder an der Arbeitsfuge auf, so dass Wasser eindringen und zu Frostschäden führen kann.

Der Anteil der Handarbeiten an Leitungsbaustellen ist nach wie vor relativ hoch. Vorfertigung und Rationalisierung sind im Leitungstiefbau noch nicht weit fortgeschritten. Die Ursache dafür ist u.a. in den völlig unterschiedlichen Anforderungen jeder einzelnen Baustelle zu sehen. Eine Generalisierung in größerem Umfang erscheint deshalb kaum möglich.

Folglich gibt es trotz weiterer Mechanisierung und erheblichem Großmaschineneinsatz kaum Anreize zu stärkerer industrieller Vorfertigung. Das bedeutet, dass die Arbeiten zur Reparatur, Austausch oder Veränderung von Leitungen sehr zeitaufwendig, witterungsabhängig und äußerst kostenintensiv sind. Bei Kabelbrüchen, Kurzschlüssen und Rohrbrüchen werden zudem häufig der umgebende Boden und das Wasser kontaminiert. Oftmals werden Nachbarleitungen mit beeinträchtigt bzw. beim Versuch der Reparatur des Primärschadens erst beschädigt. Handelt es sich dabei um kleinere Leckagen wasserführender Leitungen, so wird der Schaden häufig nicht oder erst nach einem größeren Zeitabstand bemerkt.

1.4. Entwicklungen und Tendenzen

In Erkenntnis der Zusammenhänge zwischen den Leitungsnetzen und den sich ändernden Verbrauchsstrukturen sind Systeme gefragt, die in der Lage sind, auf Veränderungen auch demographischer Natur problemlos oder mit nur geringfügigen Anpassungen zu reagieren. Um dieser Herausforderung der Zukunft auch im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu begegnen, bedarf es moderner, d.h. flexibler und instandhaltungsgerechter Leitungsnetze. Nur hierdurch werden die Anforderungen der Gegenwart erfüllt, ohne die Möglichkeiten zukünftiger Generationen einzuschränken bzw. sie zu zwingen, immer wieder neue Leitungsnetze bauen zu müssen.

Eine nachhaltige Lösung zur flexiblen Erschließung stellt der begehbare Leitungsgang in Form eines Infrastrukturkanals (ISK) dar. Hierbei handelt es sich um eine geschlossene langgestreckte begehbare bauliche Anlage zur zugänglichen Verlegung und Reparatur von Ver- und Versorgungsleitungen, bestehend aus Leitungsgangstrecke sowie Zugangs-, Montage-, Belüftungs-, Abzweig- und Vereinigungsbauwerken..

Die Idee der zugänglichen und gemeinsamen Verlegung von Leitungen in Leitungsgängen ist nicht neu. Erste Anlagen dieser Art wurden bereits im 19. Jahrhundert in London und Hamburg errichtet. Weite Verbreitung fanden Leitungsgänge in den ehemaligen Ostblockstaaten, wo alleine in der DDR über 400 Kilometer in standardisierten Bauweisen errichtet wurden. Aus der jüngsten Vergangenheit sind vor allem Großprojekte in Prag zu nennen, wo damit begonnen wurde, die leitungsgebundene Infrastruktur ganzer Stadtteile mit einem Leitungsgangsystem zu erneuern. In Zürich wurde 1991 eine der modernsten Anlagen dieser Art in Betrieb genommen. In Deutschland sind Leitungsgänge bisher vor allem im nicht öffentlichen Bereich zur Anwendung gekommen. Als Beispiele sind u.a. die Universitäten von Bochum, Dortmund und Kaiserslautern zu nennen. Aber auch in Frankreich finden sich Beispiele für die Erschließung mit Leitungsgängen.



Abb. 1: Beispiel eines Infrastrukturkanals (Innenansicht vom begehbaren Leitungsgang Markleeberg – GG Wachau-Nord)

2 Begehbare Leitungsgänge

2.1. Entwicklung

Bei Schäden an erdverlegten Kabeln bzw. bei „vergessenen“ oder nicht fachgerecht installierten Versorgungsleitungen im Erdreich, kann es notwendig werden, dass Straßen oder Grundstücke in kürzeren Zeitabständen mehrfach aufgegraben werden müssen um an die defekten Stellen zu gelangen. Darüber hinaus wird es auch zukünftig erforderlich sein, insbesondere für so genannte neue Medien bessere, umweltfreundlichere, für diese Medien geeignete Leitungen z.B. zur schnelleren Daten- oder Medienübertragung nachträglich zu verlegen. Auch für eine solche Nachrüstung ist es bei der herkömmlichen Art der Leitungsverlegung notwendig, die Straße / das Grundstück aufzugraben. Beim Aufgraben werden dann nicht selten weitere Medienleitungen beschädigt.

Diese Problematik entfällt bei begehbaren Leitungsgängen oder sogenannten Infrastrukturkanälen. Der Infrastrukturkanal stellt eine meist unterirdisch verlegte Röhre dar, in der sämtliche infrastrukturellen Systeme wie Strom-, Wasser-, Abwasser-, Telefon- und sonstige Kommunikationsleitungen gebündelt werden. Durch die Begebarkeit des Infrastrukturkanals können Leitungen kontrolliert, repariert, ausgetauscht und in ihrer Anzahl bzw. ihrem Querschnitt problemlos geändert werden. Da die Leitungen durch den Kanal geschützt und daher auch keinen statischen und dynamischen Belastungen durch z.B. Setzungen des Erdreiches ausgesetzt sind, ist die Verwendung leichterer Rohrmaterialien und dünnerer Kabelmäntel möglich. Die bauliche Querschnittsdimensionierung des begehbaren Leitungsganges orientiert sich in erster Linie an der Art und der Anzahl unterschiedlicher Leitungen, der Dimensionierung der Einzelleitungen und den Zukunftsplanungen, d.h. wie sich das zu erschließende Gebiet in den Folgejahren entwickeln könnte. Infolge dieser Variabilität des begehbaren Leitungsganges, mit der Möglichkeit, Leitungen zu entfernen oder neu hinzuzufügen, bleibt eine bauliche Nachhaltigkeit erhalten.



Abb. 2: Begebarkeit eines begehbaren Leitungsganges

Aus wirtschaftlicher und aus ökologischer Sicht gibt es eine ganze Reihe von Vorteilen für begehbare Leitungsgänge, wie z.B.:

- ein zusätzlicher Schutz von Erdreich und Grundwasser gegenüber Verunreinigungen,
- die für die Zukunft leichte Nachrüstungs- / oder Rückbaumöglichkeit von Ver- und Entsorgungsleitungen,

- die Möglichkeit der Nutzung von Standardleitungen statt teurerer zugelassener Erdkabel
- die längere Lebensdauer von Medienleitungen sowie von Straßen und Bäumen.

Infrastrukturkanäle sollten insbesondere für alle Neuerschließungsgebiete und bei umfangreicher Grundsanierungen vorhandener Systeme als nachhaltige Erschließungsmöglichkeit in Betracht gezogen werden.

Bislang scheitern die Überlegungen zum Bau eines begehbaren Leitungsganges häufig an den hohen Investitionskosten für die bauliche Hülle. Die Kosten gelten als Hauptkriterium bei der Ablehnung von begehbaren Leitungsgängen. Eine Lebenszyklusbetrachtung zur Amortisation der Kosten über den Gebrauchszeitraum des Leitungsgangs unter Berücksichtigung der Unterhaltungs- und Nutzungskosten der Leitungssysteme wird bei der Entscheidungsfindung oft nicht oder nur ungenügend berücksichtigt.

2.2. Historie

Seit ziemlich genau 140 Jahren kennt man begehbare Leitungsgänge. Sie wurden seitdem häufig und vielerorts gebaut, aber jedes Mal neu nach anderen Bauformen und Arten und alle damit verbundenen organisatorischen Fragen wurden immer wieder individuell neu gelöst. Jedoch kam es nicht zur Entwicklung eines standardisierten und damit langfristig wirtschaftlichen Bauverfahren für solche Leitungsgänge.

Wiederum fast 100 Jahre später vergab die Stadt Frankfurt an die Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. (Stuva) einen Forschungsauftrag unter dem Titel „Untersuchungen zur Frage der Zusammenfassung innerstädtischer Versorgungsleitungen in begehbaren Kanälen“. Aus dem Vorwort des hieraus resultierenden Forschungsberichts geht deutlich hervor, dass offensichtlich trotz der langen Erfahrung mit Infrastruktursystemen die meisten Fragestellungen immer noch nicht zufrieden stellend geklärt waren. Nach der Schilderung der Problematik von Straßenaufbrüchen, wobei man damals auf die umweltspezifischen Problematiken noch gar nicht sensibilisiert war, führt der Frankfurter Verkehrsdezernent aus: *„Einen Ausweg aus all diesen Schwierigkeiten zu finden, ist daher schon seit vielen Jahrzehnten ein immer wieder erörtertes Anliegen der von diesen Fragen berührten Stellen in den Großstädten der ganzen Welt. Die gemeinsame Verlegung aller Leitungen in einem begehbaren Kanal bot sich als besonders einleuchtende Lösung dieses Problems an und wurde schon vor ca. 100 Jahren versuchsweise verwirklicht. Manche dieser Kanäle sind noch heute in Betrieb, doch sind die technischen Möglichkeiten nicht in dem Umfang genutzt worden, wie es sich die Allgemeinheit vorstellt. Teils mag dies an den beträchtlichen Kosten, die der Bau solcher Kanäle verursacht, gelegen haben, teils wohl auch an den noch unentwickelten Bauverfahren, aber vor allen Dingen an dem mangelnden Wissen über die wechselseitige Beeinflussung der einzelnen Leitungen untereinander. Obwohl die technisch-physikalischen Forschungen überall neue Erkenntnisse brachten, hat sich die Weiterentwicklung auf dem hier behandelten Gebiet nur sehr schleppend vollzogen.“*

In der Einleitung schreibt der Autor, dass das Kapitel IV, in dem die grundsätzlichen Fragen, die bei Leitungen in Versorgungskanälen in den einzelnen Fachgebieten auftreten, behandelt werden, das Wichtigste der gesamten Forschungsarbeit sei. Er schreibt weiter: *„Das Kapitel V befasst sich mit den Möglichkeiten der baulichen Gestaltung von Versorgungskanälen. Bei aller Wichtigkeit, die der sorgfältigen Untersuchung der mit der Konstruktion verbundenen Fra-*

gen – besonders im Hinblick auf die Kosten – zukommt, tritt die Bedeutung in der Gesamtarbeit doch hinter den im Kapitel IV behandelten Themen zurück. Bei einem Versorgungskanal ist das Bauwerk selbst nur die Hülle, die in den entscheidenden Punkten von dem was im Innern untergebracht ist, bestimmt wird. Eine klassische „Henne/Ei“-Problematik, daher war hier der eigentliche Ansatzpunkt unserer Forschungsarbeit, da wir resümierten, dass wenn eine besonders effiziente und produktive kostengünstige Bauform gefunden werden könnte, das wichtigste Gegenargument an Bedeutung verlieren würde.“

2.3. Arten, Material, Bauformen, Errichtung

In den vergangenen Jahren und Jahrzehnten entstanden begehbare Leitungsgänge in verschiedenen Bauformen. Die Entwicklung der Fertigteilmontage im Hochbau wurde auf den Tiefbau übertragen und führte zu einer gewissen Standardisierung. Grundlage hierfür bildete die 1976 erschienene Komplexrichtlinie „Sammelkanäle“ der Ingenieurakademie Leipzig, veröffentlicht von der Bauakademie der DDR, Institut für Ingenieur- und Tiefbau Leipzig. Daneben behandelt die SIA 205 aus der Schweiz die Verlegung von unterirdischen Leitungen, herausgegeben vom schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein erstmals 1984, aktuelle Ausgabe 2003.

Um Kosten für die Außenhülle von begehbaren Leitungsgängen zu sparen, zielten weiterführende Entwicklungen zuerst auf die Verwendung von Rohrsystemen ab.

Nachfolgend werden die Grundlagen zur Planung und Errichtung von begehbaren Leitungsgängen dargestellt. In Planungs- und Bauprozessen von Stadtentwicklungen können begehbare Leitungsgänge grundlegend folgende Aspekte betreffen:

- Im Zuge der Stadt- und Siedlungsentwicklung können bereits bei der Festsetzung von Flächennutzungs- und Bebauungsplänen der Infrastruktur begehbare Leitungsgänge statt herkömmlicher Leitungsverlegung berücksichtigt werden.
- Beim Bau städtischer Versorgungsnetze bieten begehbare Leitungsgänge gegenüber herkömmlicher Leitungsverlegung viele Vorteile. Prinzipiell können zunächst die Leitungsgänge und Straßenbefestigungen erstellt und erst zu einem späteren Zeitpunkt – weitestgehend witterungsunabhängig – die Leitungssysteme installiert werden.
- Durch eine verkürzte Gesamtbauphase können Mehrkosten der baulichen Hülle eines begehbaren Leitungsganges teilweise kompensiert werden.

Randbedingungen / Belastungen

Begehbare Leitungsgänge sind bauliche Hüllkonstruktionen innerhalb des Bodens, die vollständig von Erdreich überdeckt sind. Neben der Belastung aus dem Eigengewicht wirken zum einen die Gewichte der Überdeckung und Verkehrslasten als vertikale Kraft und zum anderen der aktive Erddruck des seitlich umgebenden Bodens als Horizontalkraft auf den begehbaren Leitungsgang. Generell sind die Bodenart, unterschiedliche Bodenschichten, die Verdichtung und der Wassergehalt des Bodens sowie die zu berücksichtigende Verkehrslast die wichtigsten Randbedingungen für die statische Bemessung des Bauwerks. In Bereichen mit anstehendem Grundwasser oder möglicher Schichtenwasserbildung ist darüber hinaus die Auftriebssicherheit zu beachten. Außerdem muss die bauliche Hüllkonstruktion gegenüber Wasserein- und Wasseraustritt geschützt sein.

Wichtiges Konstruktionsziel eines begehbaren Leitungsganges ist seine Standsicherheit. Für die Standsicherheit von begehbaren Leitungsgängen sind die äußeren Lastfälle, wie ständige Lasten (Eigenlast, Wasser- und Erddruck) und Verkehrslasten zu berücksichtigen. Darüber hinaus sind Temperaturlastfälle sowie das Schwindverhalten des Betons zu beachten. Die im Leitungsgang angeordneten Leitungen und Rohre werden von der umgebenden Hülle wirksam vor Erddruck, Verkehrslasten, Wasserbeanspruchung- und Setzungen des Erdreichs geschützt.

Planungs- und Bauprozess

Aufgrund vieler veränderlicher Randbedingungen können für die Planung, den Bau und den Betrieb von begehbaren Leitungsgängen keine allgemeingültigen Regeln aufgestellt werden. Vielmehr sind vor der Planung und der Errichtung die Randbedingungen wie Bodenart, Bodenaufbau, Verdichtungsgrade und Grund- oder Schichtenwasserstände zu ermitteln. Darüber hinaus ist bei der Errichtung von begehbaren Leitungsgängen in einem Gebiet mit vorhandener Bebauung und Leitungssystemen der Bestand aufzunehmen und die Trassenplanung hiernach auszurichten.

Zu den wichtigsten Anforderungen an begehbare Leitungsgänge zählen u.a.:

- Standsicherheit
- Abdichtung gegen Wasser (drückendes-, Niederschlags-, Sickerwasser, usw.)
- Sicherung gegen Wurzeleinwuchs
- Aufnahme aller geplanten Leitungen
- Gewährleistung betrieblicher Forderungen bezüglich der Verlegung der Leitungen (u.a. Gefälle, Entlüftungsmöglichkeit, Dehnungsaufnahme, Verhinderung gegenseitiger Beeinflussung)
- Arbeitsraum für Montage, Neuverlegung, Aufrüstung usw.
- Raum für Einrichtungen zur betrieblichen Überwachung und Instandhaltung der Leitungen

Material / Bauform

Sind die Dimensionierung des begehbaren Leitungsganges und die auf ihn wirkenden, äußeren Randbedingungen festgehalten, so sind das einzusetzende Material und die Bauform unter Berücksichtigung der Standsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit festzulegen.

Für den Bau eines begehbaren Leitungsganges werden meist offene Bauverfahren gewählt, um eine schnelle Wiederherstellung der Straßenoberfläche zu gewährleisten und mit den übrigen Baumaßnahmen zeitnah beginnen bzw. fortfahren zu können. Je nach Randbedingungen, Anforderungen und Gegebenheiten vor Ort ist über die Geometrie und das zu verwendende Material des Leitungsganges zu entscheiden.

Querschnitt

Für die Ausführung begehbbarer Leitungsgänge können verschiedene Querschnittsformen Anwendung finden:

- Kreisförmige Querschnitte (Vollkreis)
- Bogenförmige Querschnitte (z.B. Ellipsoid)
- Zusammengesetzte Querschnitte (z.B. Rundbogen mit Bodenplatte)
- Quadratische oder rechteckige Querschnittsform

Für die Wahl der optimalen Querschnittsform für die jeweils angedachte Nutzung sind neben technisch-konstruktiven auch bau- und betriebstechnische sowie wirtschaftliche Überlegungen mit einzubeziehen.

Die Querschnittsabmessungen eines begehbaren Leitungsganges sind auf Grundlage folgender Forderungen festzulegen:

- Begehbarkeit / Raum für Kontrolle und Wartung der einzelnen Leitungen
- Anzahl und Abmessungen der unterzubringenden Leitungen einschl. Reserven zur entwicklungsbedingten Nachrüstung
- Einhaltung der sicherheits- und betriebstechnischen Abstände der Leitungen untereinander
- Bautechnisch notwendige Abstände der Leitungen
- Raum für Armaturen und Einbauten

Um die Begehbarkeit zu gewährleisten sind begehbare Leitungsgänge mit einer lichten Durchgangshöhe größer / gleich 1,8 m und einer Breite des Bedienganges größer 0,8 m, mindestens 0,7 m zu planen und zu errichten. An örtlich begrenzten Zwangspunkten ist eine Breite von 0,6 m zulässig. Werden im Leitungsgang Leitungen mit Nennweiten (NW) größer 500 mm verlegt, so gilt für die Ermittlung der Breite des Bedienganges (b) folgende Formel:

$$b = \text{max. verlegte NW} + 200 \text{ mm}$$

Ein begehbare Leitungsgang kann als Ein- oder Mehrkammerquerschnitt erstellt werden.

Material

Folgende Materialien für den Bau von begehbaren Leitungsgängen sind derzeit üblich:

PEHD-Rohr:

Begehbare Leitungsgänge aus Polyethylen hoher Dichte (PEHD) stellen ein biegeweiches System dar. Die Hülle dieser relativ leichten Rohrmodule ist als Hohlkammerprofil erstellt. Neben baupraktischen Parametern, wie der guten Wärmedämmung und Stromisolation verringern die Hohlkammern das Gewicht der PEHD-Rohrelemente.



Abb. 3: Schnitt durch ein PEHD-Profil

Das geringe Gewicht der Einzelelemente ermöglicht beim Einbau einen schnellen Baufortschritt. Die Rohrelemente können

vorab im Werk in Einzellängen von etwa 10 bis 15 m hergestellt werden. Vor Ort in der Baugrube werden die einzelnen Rohrelemente an den Stoßstellen miteinander verschweißt. PEHD-Rohre eignen sich für Anwendungssituationen, bei denen mit drückendem Grundwasser zu rechnen ist, Bodensetzungen abzufangen sind oder sehr hohe Baugeschwindigkeiten erreicht werden müssen.

Für die Auftriebssicherheit müssen jedoch gesonderte Vorkehrungen getroffen werden.

Stahlbeton-Fertigteile:

Der begehbare Leitungsgang / Infrastrukturkanal aus Stahlbeton-Fertigteilen stellt ein biegesteifes System dar. Aus Gründen des Transports und des Gewichts sind maximale Einzellängen von etwa 2,0 m bis maximal 4,0 m möglich. Die relativ kurzen Einzelteile bedingen viele Segmentfugen, die insbesondere bei setzungsbedingten Verformungen im Erdreich zu Undichtheiten in der Hülle führen können. Der Vorteil von Stahlbeton-Fertigteilen liegt darin, dass sich bei einer Fertigteil-Herstellung im Werk eine höhere Betonqualität unter Einsatz mechanisierter Verdichtungsverfahren und gleichmäßiger Temperatur erreichen lässt.

Monolithischer Faserortbetontunnel:

Die als Halbkreis mit rechteckigem Wannenquerschnitt gestaltete Tunnelform kombiniert die geometrischen Vorteile des Rechteckdurchlasses und des Rohrs. Mittels der Gewölbewirkung am Tunnelscheitel kann auf eine Stahlbewehrung des Betonbauwerks verzichtet werden, wobei dennoch die Vorteile eines waagerechten Bodens und von senkrechten Wänden genutzt werden.



Abb. 4: Tunnelform des monolithischen Faserbetontunnels

Der Wegfall des Bewehrungsstahls erklärt die Wirtschaftlichkeit des Faserbetontunnels zum Teil. Wesentlichen Einfluss hat jedoch die Produktivität der 15 m langen Schalungsmaschine, die

einen entsprechenden täglichen Baufortschritt bei drei benötigten Arbeitskräften ermöglicht. Zudem leistet die Betonrezeptur, hier wurde der Anteil des Sekundärrohstoffs Steinkohlen-Flugasche im Beton höher bemessen als der Zementanteil, in Verbindung mit der filigranen Dimensionierung der Wandungsquerschnitte einen weiteren Beitrag zur Wirtschaftlichkeit. Darüber hinaus ist, da für dieses Bauwerk auf die Verwendung einer Bewehrung verzichtet wurde, von einer verlängerten Lebensdauer auszugehen. Dies alles zusammen erklärt die Nachhaltigkeit dieser Bauweise.

Diese Bauform kann selbstverständlich auch als bewehrte Betonkonstruktion ausgebildet werden.

Nachteil der Herstellung eines begehbaren Leitungsganges in offener Ortbetonbauweise ist, dass die Baugrube relativ lange geöffnet bleiben muss, damit der Beton aushärten kann.

Stahlwellblech-Rohr: Eine Hülle aus Stahlwellblech-Rohr verhält sich in ihren statischen Eigenschaften nahezu identisch zu der Konstruktion aus PEHD-Rohr, sofern die Profilparameter richtig gewählt werden. Auch das Stahlwellblech-Rohr weist Eigenschaften wie ein biegeweiches Rohr auf. Die Tunnelröhre kann auf zweierlei Art hergestellt werden. Entweder werden die Rohre am Stück in Einzelsegmentlängen von etwa 12 bis 15 m hergestellt und dann im Ganzen mit einem Kran in die Baugrube eingelassen, oder einzelne Plattensegmente werden direkt in der Baugrube zu dem Tunnelquerschnitt miteinander verschraubt, wobei die Fugen und Schraubenlöcher mit einer Flüssigfolie abgedichtet werden. Durch diese Montagetechnik, in der die Einzelsegmente miteinander verschraubt werden, werden sehr hohe Anforderungen an die präzise Verlegung und gleichzeitig an eine gleichmäßige Wiederverfüllung der Baugrube gestellt.

Der begehbare Leitungsgang mit Stahlwellblech-Rohr-Hülle kann nur gegen sehr geringe Wasserdrücke effektiv abgedichtet werden. Zudem ist beim Einbringen der Leitungen in den begehbaren Leitungsgang darauf zu achten, dass die Verformungen in Folge der zusätzlichen Belastungen aus den Leitungssystemen begrenzt werden müssen. Bei bereits ausgehärteten Dichtmassen können diese den elastischen Bewegungen des gesamten Systems nicht mehr folgen. Somit kann der begehbare Leitungsgang mit Stahlwellblech-Rohr-Hülle nicht als mit ausreichender Sicherheit dauerhaft wasserdicht beurteilt werden.



Abb.5: Stahlverbindung einzelner Stahlwellblechplatten

Ein Leitungsgang aus Stahlwellblech kann auch an beengten, schwer zugänglichen Baugruben hergestellt werden, da die Einzelsegmente vor Ort zusammengesetzt werden können. Mit dieser Bauweise ist ein schneller Baufortschritt möglich.

Anordnung der Leitungssysteme im Infrastrukturkanal

Einer optimalen Anordnung der Rohre und Leitungen in begehbaren unterirdischen Leitungsgängen kommt wegen des geometrisch begrenzten Raumes größte Bedeutung zu. Folglich sind bei der Anordnung und Gestaltung (Abstand der Kabel und Leitungen zueinander) sicherheits- und betriebstechnische Anforderungen, sowie bau- und systemtechnische Gesichtspunkte der einzelnen Netze zu berücksichtigen. Grundlage der darüber hinausgehenden Forderungen ist der gemeinsame Betrieb verschiedener Rohr- und Kabelleitungen für unterschiedliche Medien in einem Bauwerk (Infrastrukturkanal).

Folgendes ist bei der Gestaltung von begehbaren Leitungsgängen (Infrastrukturkanälen) zu beachten:

- baukonstruktive Forderungen (Dichtheit und Tragfähigkeit der Hülle, Verlegemöglichkeiten für die unterschiedlichen Rohr- und Kabelleitungen, Anschluss- und Übergabestellen vom Leitungsgang zum erdverlegten Netz bzw. zu Gebäuden)
- Gewährleistung der Begehbarkeit (dauerhafte Zugänglichkeit, Anordnung des Bedienungsganges)
- Gewährleistung von Kontrollen sowie von Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen
- Aufnahme der geplanten Belegung (u.a. Anzahl und Dimension der einzelnen Rohr- und Kabelleitungen, Reserve- bzw. Erweiterungsflächen)
- Sicherstellen spezifischer Forderungen für die Verlegung der einzelnen Leitungen (z.B. Gefälleverhältnisse, Hoch- und Tiefpunkte zu Be- und Entlüftung bzw. Entleerung, Auflagermöglichkeiten)
- Verträglichkeit der einzelnen Rohr- und Kabelleitungen untereinander ist sicherzustellen

- Sicherung der Betriebsfähigkeit des Leitungsgangs (Klima, Sicherheit gegen unerlaubten Zutritt, Sicherungssysteme, wie z.B. Gaswarn-, Entwässerungs- und Beleuchtungsanlagen, Brandwarn- und Schutzsysteme)

Die derzeit übliche Medienbelegung in Leitungsgängen liegt zwischen sechs und zehn verschiedenen Leitungs- und Kabelarten. Am häufigsten werden Wasser- und Wärmeleitungen sowie Elektrokabel in Infrastrukturkanälen verlegt.

Kosten

Die Durchschnittskosten (netto) heute üblicher Leitungsgangkonstruktionen werden nachfolgend dargestellt:

- Konventionelle Ortbetonlösung: (Zürich): über 2.000 EUR/m
- Kollektor aus Stahlbetonfertigteilen (Plattenbausiedlungen der DDR): ca. 1.200 EUR/m
- Wellstahlröhre System VOEST ALPINE (Wachau): 800 - 900 EUR/m
- PE-HD, Durchmesser 2,2 m (Lauchheim): ca. 800 EUR/m
- Betonrohr, Durchmesser 2,2 m: 800 - 900 EUR/m
- Gewölbe-Infrastrukturkanal (Speyer): ca. 500 EUR/m

In diesen Vergleichszahlen sind Befestigungselemente sowie die Sonderbauwerke für Abzweige und Kreuzungen, Notausstiege und Belüftungen enthalten. Nicht enthalten sind Kosten für Zugangsbauwerke, die Kosten der zu installierenden Leitungen und die Erdarbeiten.

2.3. Dokumentation von gebauten ISK-Projekten

2.3.1 Projekt: Lauchheim – Hardtsteige II

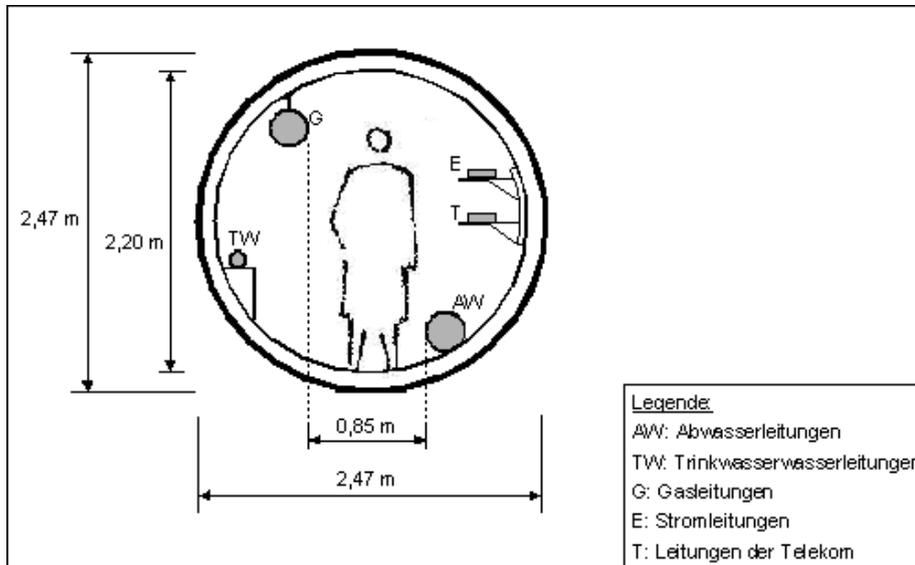


Abb.6: Vertikalschnitt zum Querschnitt des begehbaren Leitungsganges, Maßstab, 1:50

Der begehbare Leitungsgang in Lauchheim weist einen Kreisquerschnitt mit einem äußeren Durchmesser von 2,47 m auf. Die lichte Höhe beträgt 2,20 m. Das Wohngebiet Hardtsteige II wird von insgesamt fünf Leitungen im begehbaren Leitungsgang versorgt. Seitlich im unteren Fußbereich ist die Abwasserleitung angeordnet. Gestapelt darüber verlaufen die Telekommunikations- und Elektroleitungen. Auf der gegenüberliegenden Seite ist unten die Trinkwasserleitung und im Kopfbereich die Gasleitung angeordnet.

Die Hülle des begehbaren Leitungsganges besteht aus Polyethylen hoher Dichte (PE-HD). PE-HD ist wasserabweisend und kann problemlos gesägt, gebohrt oder gestanzt werden. Ein wabenförmiger Aufbau stabilisiert die Röhrenkonstruktion.

Bezeichnung	Begehbare Leitungsgang in Lauchheim - Hardtsteige II	
Lage	Neubaugebiet Stadt Lauchheim	
Baujahr	1994	
Länge	296 m	
Querschnittsmaße (Kreisquerschnitt)	Durchmesser innen:	2,47 m
	Durchmesser außen:	2,20 m
	Arbeitsraumbreite:	0,85 m
Konstruktionsmerkmal	<ul style="list-style-type: none"> • PEHD-Hohlkammerprofilrohr, Typ Weholite Spiro 	
Leitungen	<ul style="list-style-type: none"> • Erdgas DN 110, • Trinkwasser DN 100/50, • Abwasser DN 250/150, • Niederspannung 220V und • Telekommunikation. 	

2.3.2 Projekt: Berlin Marzahn

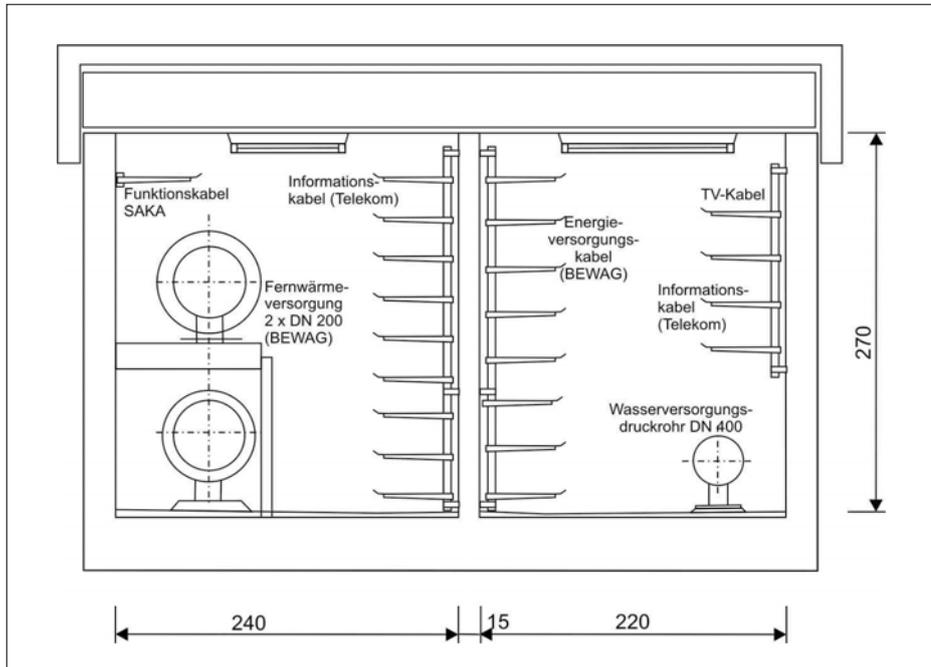


Abb.7: Querschnitt des begehbaren Leitungsganges, Maßstab, 1:50

Das begehbare Leitungsgangnetz in Berlin-Marzahn besteht aus Zweikammer- und aus Einkammerquerschnitten. Einkammerquerschnitte sind an Endpunkten des Leitungsgangnetzes angeordnet, an denen auch die Querschnitte der Leitungen geringer werden. Zum überwiegenden Teil ist im Leitungsgangnetz Marzahns der Zweikammerquerschnitt angewendet worden (siehe Abbildung). Die beiden Kammern sind durch eine 15 cm dicke Betonwand räumlich voneinander getrennt. Die Hülle des Leitungsganges ist aus Stahlbeton-Fertigteilen zusammengesetzt. Die monolithisch hergestellten Bauwerke sind gegen Feuchtigkeit von außen durch eine PVC- Bahnenabdichtung geschützt.

Bezeichnung	Begehbare Leitungsgang in Berlin Marzahn	
Lage	Berlin Marzahn	
Baujahr	ab 1975	
Länge	9,8 km (Zwei- und Einkammersysteme)	
Querschnittsmaße (Kreisquerschnitt)	Gesamthöhe innen:	2,70 m
	Gesamtbreite innen:	4,75 m
	Arbeitsraumbreite:	0,80 m
Konstruktionsmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> • Stahlbeton-Fertigbauteile für die gerade Strecken, • Knotenpunkte monolithische hergestellt aus Stahlbeton 	
Leitungen	<ul style="list-style-type: none"> • Fernwärme 2 x DN 500, • Trinkwasser DN 400, • Elektrizität (20 Kabel), • Telekommunikation (40 Kabel) • Funktionskabel (SAKA). 	

2.3.3 Projekt: Zürich – Löwenstraße

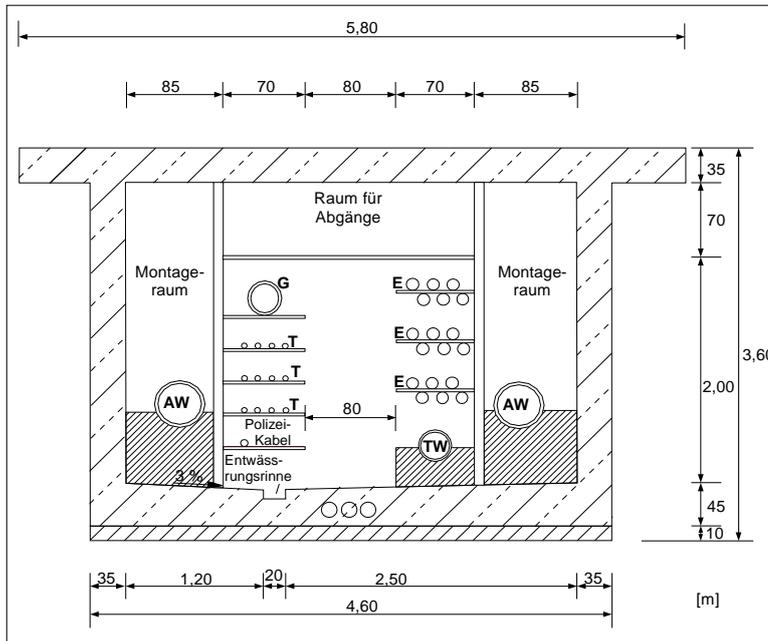


Abb.8: Vertikalschnitt zum Querschnitt des begehbaren Leitungsganges Zürich - Löwenstraße, Maßstab, 1:50 (in Anlehnung an D. Stein)

Der begehbare Leitungsgang in Zürich weist einen rechteckigen -Kastenquerschnitt aus Stahlbeton mit einer lichten Breite von 3,90 m und einer lichten Höhe von etwa 2,70 m auf. Der Bediengang hat eine Breite von 80 cm. Für den Transport von schweren Leitungsteilen, Werkzeugen usw., verläuft auf einer Auflagerkonstruktion über dem Bediengang die Spur für einen Schienenwagen. Das Gleisbett der Tram ist auf speziellen Gummilagern (Masse-Feder-System) auf der Decke des begehbaren Leitungsganges gelagert. Die Hülle des Leitungsganges besteht aus einer wasserundurchlässigen Betonkonstruktion mit einer rissweitenbeschränkenden Bewehrung ohne zusätzliche Abdichtungen.

Bezeichnung	Begehbare Leitungsgang in Zürich - Löwenstraße
Lage	Zentrum Stadtgebiet Zürich
Baujahr	1990 bis 1991
Länge	205 m
Querschnittsmaße (Kreisquerschnitt)	Gesamthöhe außen: 3,60 m Gesamthöhe innen: 2,70 m Gesamtbreite außen: 4,60 m Gesamtbreite innen: 3,90 m Arbeitsraumbreite: 0,80 m
Konstruktionsmerkmal	• Wasserundurchlässiger Beton (erhöhter Armierungsgehalt“)
Leitungen	• Gas DN 300, • Trinkwasser DN 200, • Abwasser 2 x DN 400, • Elektrizitätskabel, • Telekommunikationskabel und Polizeikabel.

2.3.4 Projekt: Leipzig – Bahnquerung Connewitz

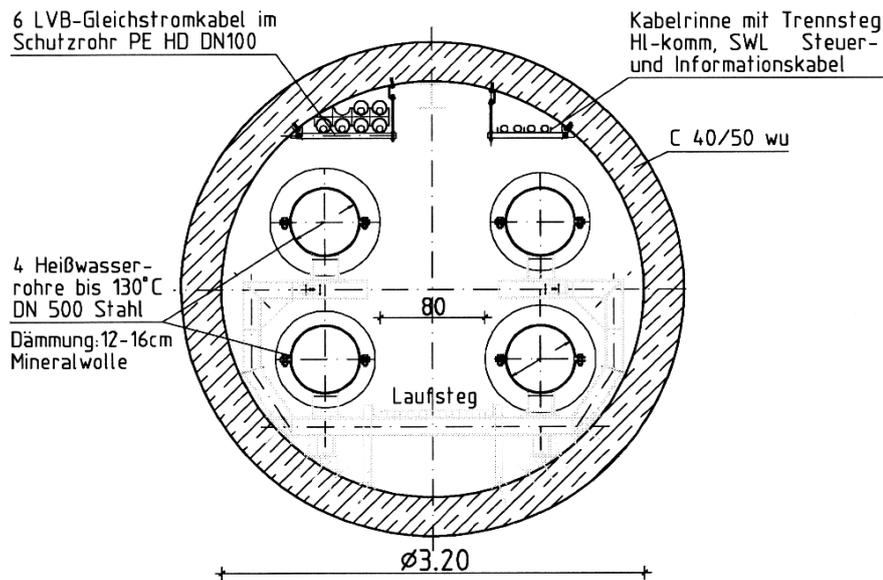


Abb.9: Vertikalschnitt zum Querschnitt vom begehbaren Leitungsgang Leipzig - Bahnquerung Connewitz, Maßstab, 1:50 (Quelle: Stadtwerke Leipzig GmbH)

Der begehbare Leitungsgang verbindet geradlinig zwei Bauwerke in Leipzig Connewitz, in dem die Leitungen ohne Abzweige gerade durchgeführt werden. Somit gibt es keine Querschnittsverengungen durch abgehende Hausanschlüsse oder andere Sonderlösungen innerhalb des betrachteten Abschnittes. Die Fernwärmeleitungen sind in der Mitte des begehbaren Leitungsganges fest fixiert. Alle übrigen Auflager sind verschiebbar, so dass sich die Leitungen in Richtung der Bauwerke frei ausdehnen können. Die Bautätigkeiten sind bei gleichbleibendem Betrieb unterhalb der Gleisanlagen der DB Netz AG durchgeführt worden. Aus diesem Grund wurde der Leitungsgang im Schildvortrieb hergestellt. Hierzu ist während der Bauausführung der Grundwasserspiegel abgesenkt worden. Als Hüllenmaterial ist eine wasserundurchlässige Stahlbetonkonstruktion gewählt worden.

Bezeichnung	Begehbbarer Leitungsgang in Leipzig - Bahnquerung	
Lage	Leipzig-Connewitz	
Baujahr	2005	
Länge	112 m	
Querschnittsmaße (Kreisquerschnitt)	Gesamthöhe außen:	3,20 m
	Arbeitsraumbreite:	0,80 m
Konstruktionsmerkmal	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserundurchlässiger Beton 	
Leitungen	<ul style="list-style-type: none"> • Fernwärme 4 x DN 500, • Elektrizität (6 Gleichstromkabel DN 100) und • Steuer- und Informationskabel. 	

2.3.5 Projekt: Markleeberg – Gewerbegebiet Wachau-Nord

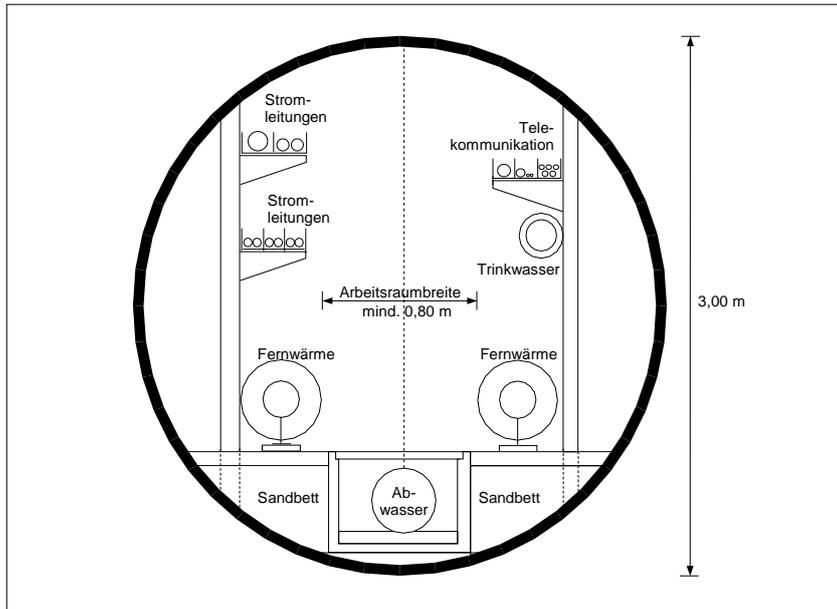


Abb.10: Querschnitt vom begehbaren Leitungsgang Markleeberg –Wachau-Nord, Maßstab 1:50

Der begehbare Leitungsgang im Gewerbegebiet Wachau-Nord aus Stahlwellblechrohr hat einen Außendurchmesser von 3,00 m. Im unteren Rohrscheitel wird unter einer aufgeständerten Lauffläche die Abwasserleitung geführt, die in mit Betonplatten abgedeckten Beton-U-Profilen eingebettet ist. Die Breite des Bedienganges wird durch den verwendeten Querschnitt der Fernwärmeleitungen bestimmt, der innerhalb des Systems im Gewerbegebiet Wachau-Nord auf Grund des unterschiedlichen Bedarfs variiert. Jedoch wird auch an der engsten Stelle innerhalb des begehbaren Leitungsganges eine Breite des Bedienganges von 80 cm nicht unterschritten. Für die Auflagerung der Leitungen wurden etwa alle 4 bis 5 m Stützkonstruktionen angeordnet. Die auftretenden Kräfte werden über die Füße der Stützkonstruktionen in die Betonschicht des Bodens eingeleitet.

Bezeichnung	Begehbare Leitungsgang in Markleeberg	
Lage	Markleeberg – Gewerbegebiet Wachau-Nord	
Baujahr	1991	
Länge	etwa 3.100 m begehbare Leitungsgang und etwa 700 m bekriechbare Anschlusskanäle	
Querschnittsmaße (Kreisquerschnitt)	Gesamthöhe außen:	3,00 m
	Anschlusskanäle:	1,50 m
	Breite des Bedienganges:	mind. 0,80 m
Konstruktionsmerkmal	<ul style="list-style-type: none"> • Stahlwellblechrohr aus verzinkten Wellstahlplatten 	
Leitungen	<ul style="list-style-type: none"> • Fernwärme, • Trinkwasser, • Abwasser, • Strom und • Telekommunikation. 	

2.3.6 Projekt Speyer – Rheinpark

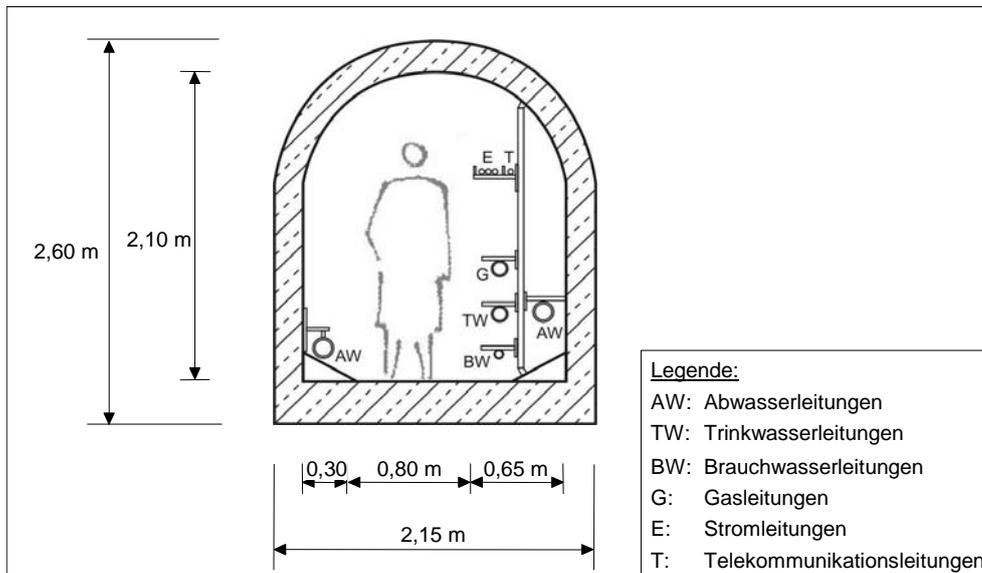


Abb.11: Vertikalschnitt zum begehbaren Leitungsgang Speyer, Maßstab, 1:50

Der begehbare Leitungsgang in Speyer wurde in Form eines aufgesetzten Kreisbogens errichtet. Diese statisch günstige Querschnittsform ermöglicht eine bewehrungs-freie Betonhülle. Dem Beton der Hülle wurden Kunststoff-Fasern als Rissbewehrung beigemischt. Die Herstellung des „monolithisch unbewehrten Faserortbetontunnels“ erfolgte durch eine hydraulisch betätigte Schalungsmaschine aus Stahl. So ist es möglich, einen 15 m langen Abschnitt am Tag monolithisch herzustellen. Innerhalb des begehbaren Leitungsganges sind sechs unterschiedliche Leitungen eingebracht.

Bezeichnung	Begehbare Leitungsgang in Speyer – Rheinufer Nord	
	1. Bauabschnitt	2. Bauabschnitt
Lage	Neubaugebiet Stadt Speyer	
Baujahr	2004 bis 2005	2006 bis 2007
Länge	165 m	150 m
Querschnittsmaße (Kreisquerschnitt)	Gesamthöhe außen:	2,60 m
	Gesamthöhe innen:	2,10 m
	Gesamtbreite außen:	2,15 m
	Gesamtbreite innen:	1,75 m
	Breite des Bedienganges:	0,80 m
Konstruktionsmerkmal	<ul style="list-style-type: none"> Faserortbeton – punktuelle Bewehrung (konstruktiv) 	
Leitungen	<ul style="list-style-type: none"> Gas DN 114,3, Trinkwasser DN 110, Brauchwasser DN 150, vorgerüstet Mittelspannung und Telekommunikation, TV Internet 	

3 Nachhaltigkeit

Moderne Infrastrukturkanäle (auch begehbare Leitungsgänge oder Kollektoren genannt) gelten nicht erst seit heute vielerorts als Alternative zur konventionellen Erdverlegung von Versorgungs- und Entsorgungsleitungen. In Infrastrukturkanälen als unterirdische, begehbare Tunnel können sämtliche Leitungssysteme zur Versorgung mit elektrischem Strom, Gas, Wasser, Fernwärme, zur Aufnahme von Daten- und Kommunikationsleitungen sowie zur Entsorgung von Abwasser und Müll untergebracht werden.

Es gibt vielfach Umstände bzw. Anforderungen, die es erforderlich machen, Medienrohre mit zusätzlichen Hüll- oder Schutzrohren zu umgeben. Dies ist bei konventioneller Verlegung z.B. an Unterquerungen von Autobahnen, Eisenbahnen, Flussläufen usw. unerlässlich. Noch immer wird hier einzeln medial gedacht und vorgegangen, wobei Wasser- und Gasleitungen in Hüllrohren verlegt und Abwasserleitungen im Vortriebs- und Pressverfahren mit größeren Querschnitten eingebracht werden. Kabel werden zumeist fachmännisch geschossen. All diese Verfahren verursachen einen erheblichen Aufwand, der i.d.R. die Kosten für einen begehbaren Kanal, in dem die erforderlichen Leitungen gebündelt werden können, übersteigt. Trotz der getroffenen Vorsorge im Hinblick auf den Schutz der eingelegten Leitungen erweisen sich Hüllrohre oft als unzugänglich, d.h., es ist später nicht möglich, beispielsweise die Medienleitung ohne Freilegen der Hüllrohre auszutauschen. So wird oft eine Neuverlegung erforderlich.

Im Bereich von Brücken und Viadukten ist es selbstverständlich, die Medien in den dort vielfach vorhandenen Hohlkästen unterzubringen. Auch diese Form der Verlegung kann als begehbare Leitungsgang bezeichnet werden.

3.1. Bilanzierung

Unterirdisch verlegte, begehbare Leitungsgänge sind im Vergleich zur konventionellen Erdverlegung, bei Notwendigwerden der Reparatur oder Erneuerung bzw. Ergänzung leicht zugänglich und können durch regelmäßiges Begehen des Leitungsganges permanent überwacht und instand gehalten werden. Hierdurch und aufgrund der schützenden Hülle gibt es kaum Ausfälle und Schäden an den Systemen.

Die einzelnen Kosten für die Errichtung, zum Betrieb und zur Unterhaltung von begehbaren Leitungsgängen, wie z.B. die Investitions- und Betriebskosten, Nutzergebühren oder Versicherungsprämien, können aufgrund der vielen unterschiedlichen Randbedingungen und Anforderungen nicht verallgemeinert werden. Aufgrund dessen lässt sich die Wirtschaftlichkeit von Leitungsgängen nicht genau bewerten. Bei der Kalkulation kann nicht auf einheitliche Grundlagen zurückgegriffen werden, denn Leitungsgänge wurden z.B. in den neuen Bundesländern unter anderen gesellschaftlichen Bedingungen gebaut. Auch die baulichen Randbedingungen unterscheiden sich teilweise deutlich. Demzufolge ist ein Vergleich der historischen Investitionskosten pro Meter Leitungsgang kaum möglich.

Steuerrechtlich gelten Infrastrukturkanäle als Betriebsmittel. Ihr Zweck ist es, Kosten einzusparen und die Versorgung auf Dauer sicher und kostengünstig zu gewährleisten. Trotz der langen Lebensdauer von Infrastrukturkanälen spielt das Abschreibungsvolumen dennoch eine gewisse Rolle, da die steuerliche Abschreibung in der Regel kürzer ist, als die wahrscheinliche Nutzungsdauer. Die Bandbreite liegt hier zwischen 15 und 25 Jahren.

Zu den Sanierungsinvestitionen von begehbaren Leitungsgängen existieren teilweise sehr unterschiedliche Vorstellungen zwischen Eigentümer und Betreibern. Für aufwendige Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen werden meist separate Vereinbarungen zur Finanzierung getroffen. Betriebsaufwendungen sind nicht, teilweise pauschal oder vereinzelt detailliert vereinbart.

3.2. Lebenszyklusbetrachtung

Bauwerke verursachen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg Kosten. Diese beziehen sich sowohl auf die Errichtung, auf die Nutzung bis hin zum Abriss. Im Sinne eines wirtschaftlichen Umgangs mit finanziellen Ressourcen besteht für den Bereich Bauen und Betreiben das Ziel in einer Minimierung der Kosten im Lebenszyklus von Bauwerken. Bisher stand dabei hauptsächlich die Minimierung der Herstellungskosten des Bauwerkes im Mittelpunkt, die Folgekosten fanden oft nur wenig Beachtung. Dies gilt ebenso für die Entscheidungsfindung. Hier spielt häufig ausschließlich die Höhe der Herstellungskosten eine Rolle, während die oft weitreichenden Auswirkungen von Planungsentscheidungen auf die Nutzungskosten eines Bauwerks über den Lebenszyklus teilweise unbekannt sind und vielfach noch berücksichtigt bleiben.

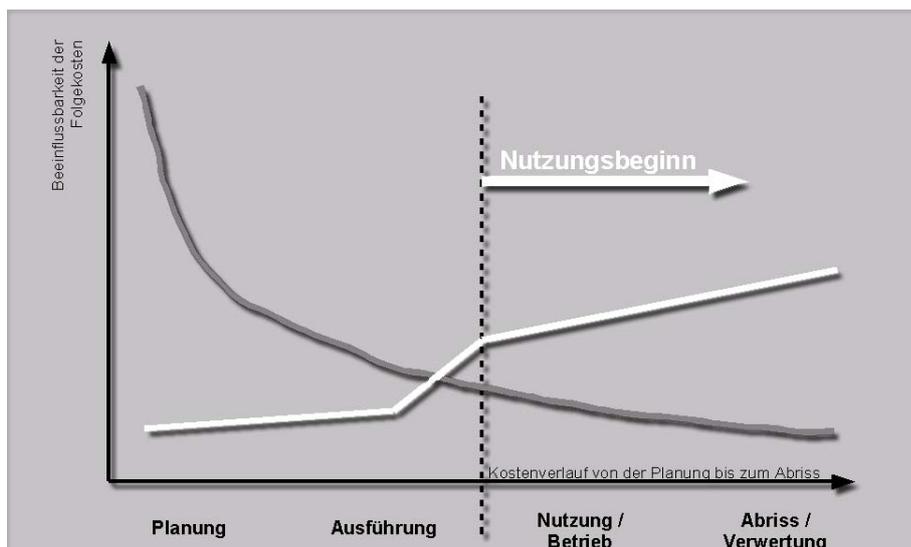


Abb. 12: Lebenszyklus von Bauwerken / Bauteilen

Stellt man den Lebenszyklus begehbare Leitungsgänge dem Lebenszyklus konventionell verlegter Leitungen gegenüber, so wird schnell klar, dass die pauschale Aussage, der Bau und Betrieb begehbare Leitungsgänge wäre teurer, so nicht korrekt ist. Vielmehr ist der gesamte Lebenszyklus von der Errichtung über die Nutzung bis zum Abriss / zur Entsorgung eines solchen Bauwerkes zu betrachten. Die Verlegung von Ver- und Versorgungsleitungen in begehbaren Leitungsgängen ist aufgrund der zusätzlichen Errichtung der „schützenden und begehbaren Hülle“ sicher i.d.R. teurer als die konventionelle Verlegung dieser Leitungen. Doch mit dem Nutzungsbeginn über die gesamte Nutzungsphase hinweg steigen die Vorteile der Leitungsverlegung in begehbaren Leitungsgängen, auch bezogen auf seine Kosten.

Beispielsweise ist die Lebensdauer und damit die Nutzungsphase der einzelnen Leitungen in der schützenden und für Instandhaltung und Wartung begehbaren Hülle ungleich höher. Die Möglichkeit von Leitungsschäden sinkt, die Notwendigkeit eines Austausches oder einer Neuverlegung mit all ihren Folgen für die oberirdischen baulichen Anlagen und ihren Kosten sinkt ebenfalls.

Auf der Grundlage verschiedener Quellen wurde eine Gegenüberstellung der einzelnen Komponenten bei herkömmlicher Leitungsverlegung und bei Verlegung im Rahmen eines Infrastrukturkanals durchgeführt. Das Ergebnis dieser Gegenüberstellung wird in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Untersuchungszeitraum: 150 Jahre	Zürich - Quelle: INFRAS			allgemeine Angaben - Quelle: Dissertation A. Laistner					allgemeine Angaben - Quelle: D. Stein							
	HLV [Jahre]	Austausch [Häufigkeit/ 150 Jahre]	Faktor Zeitverlän- gerung	ISK [Jahre]	Austausch [Häufigkeit/ 150 Jahre]	HLV [Jahre]	Austausch [Häufigkeit/ 150 Jahre]	Faktor Zeitverlän- gerung	ISK [Jahre]	Austausch [Häufigkeit/ 150 Jahre]	HLV [Jahre]	Austausch [Häufigkeit/ 150 Jahre]	Faktor Zeitverlän- gerung	ISK [Jahre]	Austausch [Häufigkeit/ 150 Jahre]	
Abwasser	100	1	1	100	1	62	2	1,3	81	1	80*	1	1	100	1	
Trinkwasser	50	2	2	100	1	24	6	2	48	3	45	3	3	90	1	
Gas	50	2	2	100	1	15	9	3	45	3	45	3	3	90	1	
Fernwärme	k. A.	-	-	k. A.	-	26	5	2	52	2	35	4	2	60	2	
Strom	50	2	1	50	2	18	8	2	36	4	40	3	1	40	3	
Telekommunikation	50	2	1	50	2	14	11	2	28	5	25	5	1	25	5	
Straßenaufbau	k. A.	-	-	k. A.	-	31	4	1,3	40	3	k. A.	-	-	k. A.	-	
Infrastrukturkanal	-	-	-	150	0	-	-	-	85	1	-	-	-	100	1	
Material der Hülle				Stahlbetonbauwerk					Annahmen für unterschiedliche Leitungsgänge					Annahmen für unterschiedliche Leitungsgänge		
Anzahl der Systemeingriffe innerhalb des Untersuchungszeitraums	9 mal			7 mal		45 mal			22 mal		19 mal			14 mal		
Durchschnittliches Versagen aller Leitungsmedien innerhalb des Untersuchungszeitraums	alle	17 Jahre		alle	21 Jahre	alle	3 Jahre		alle	7 Jahre	alle	8 Jahre		alle	11 Jahre	
															[ohne Einheit]	
Systemlebensdauer im Vergleich Infrastrukturkanal (ISK) – und herkömmliche Leitungsverlegung (HLV) - und Gegenüberstellung verschiedener Quellen																
* Anm.: Die Systemlebensdauer von sanierten Abwasserleitungen wird mit 30 Jahren angegeben																

Abb. 13: Gegenüberstellung der einzelnen Komponenten bei herkömmlicher Leitungsverlegung und bei einem Infrastrukturkanal

Die Tabelle belegt, dass die Lebensdauer der einzelnen Komponenten beim System begehbaren Leitungsgang (ISK) im betrachteten Untersuchungszeitraum von 150 Jahren durchschnittlich um das 1- bis 1,5-fache gegenüber herkömmlicher Leitungsverlegung steigt.

Darüber hinaus ist die Anzahl der notwendigen Systemeingriffe geringer. Die Leitungen in Leitungsgängen sind geschützt und werden kontinuierlich inspiziert und bei Bedarf gewartet. Wartungen sind demgegenüber bei konventioneller Verlegung nicht ohne Aufgrabung des Erdreiches möglich.

Bei Notwendigkeit eines Austausches sind der Aufwand und die hierfür aufzuwendenden Kosten ungleich niedriger, da dies im Leitungskanal stattfindet und kein Erdreich bewegt werden muss.

Für den Lebenszyklus nicht relevant und trotzdem zu bedenken ist, dass die Verlegung neuer Medienleitungen bei konventioneller Verlegung immer erneute Aufgrabungen erfordert. Begehbare Leitungsgänge werden i.d.R. so geplant, dass neue Medienleitungen durchaus raumtechnisch vorgesehen werden und die Verlegung bedarfsgerecht und kostengünstig im Kanal stattfinden kann.

Die Entscheidung für oder gegen begehbare Leitungsgänge zur Verlegung von Ver- und Entsorgungsleitungen sollte daher nicht ausschließlich auf Grundlage der kalkulierten reinen Baukosten gefällt werden. Vielmehr sollte ein gesamter Lebenszyklus für eine solche Entscheidung herangezogen werden. Eine Gegenüberstellung der Kosten und auch der Vor- und Nachteile über den gesamten Lebenszyklus hinweg wirkt sich langfristig positiv auf den Betrieb, die Unterhaltung und die Kosten eines solchen Projektes aus.

4 Schwerpunkt Planung und Errichtung am Beispiel Speyer

Begehbare Leitungsgänge gibt es schon seit 140 Jahren. Anfangs gemauert, später als konventionelle Stahlbetonkonstruktion oder Fertigteil sowie in jüngster Zeit auch aus Wellblech bzw. PEHD. Inzwischen sind auch die Vorteile dieser Erschließungsform grundsätzlich anerkannt. Doch all diese unterschiedlichen Bauformen haben einen wesentlichen Nachteil, sie sind in der Anfangsinvestition zu teuer. Darüber hinaus haben sie die bereits beschriebenen Probleme mit der Auftriebssicherung und/oder der Wasserdichtigkeit. Ein erheblicher Ressourcenverbrauch, welcher in den früheren Jahrzehnten nicht so im Fokus stand, kam noch hinzu. In Speyer sollte daher die technische und kommerzielle Optimierung der baulichen Hülle der ökologischen und nachhaltigen Erschließungsform des begehbaren Leitungsganges im Vordergrund stehen. Zu diesem Zweck waren folgende Detailoptimierungen vorzunehmen:

- Wahl des Bauverfahrens
- Finden der richtigen Betonrezeptur
- Ermittlung des richtigen Faserbewehrung (ohne Stahl)
- Art, Umfang und Zeitpunkt der notwendigen Verdichtung des Betons
- Nachbehandlung
- Optimierung der Schalungskonstruktion
- Ausgestaltung der Fugenkonstruktion sowie
- Optimierung der wasserundurchlässigen Wanddurchdringung, um die Hausanschlüsse an den Kanal heranzuführen

4.1. Randbedingungen

Begehbare Leitungsgänge gelten in Fachkreisen mittlerweile als wirkliche Alternative zur konventionellen Leitungsverlegung. Sie haben dem gegenüber zahlreiche Vorteile, wie z.B. die Möglichkeiten zur regelmäßigen Wartung, Inspektion und Reparatur, Aufrüstung und zum Austausch defekter Leitungen sowie deren Schutz. Auch die bei konventioneller Verlegung häufig auftretenden Leitungsschäden durch Bauarbeiten o.ä. können mit Hilfe der Leitungsverlegung in begehbaren Leitungsgängen vermieden werden. Trotzdem ist die Verlegung von Ver- und Entsorgungsleitungen in begehbaren Leitungsgängen in Deutschland eher die Ausnahme. Als wichtiger Grund hierfür gelten die aus Sicht der Verantwortlichen höheren Kosten. Die allgemeine Meinung geht hier von einer erheblichen Kostensteigerung im Vergleich zur konventionellen Verlegung aus.

Diese These zu widerlegen ist eines der wichtigen Ziele des Projektes „Begehbare Leitungsgänge in Speyer“. Es soll bewiesen werden, dass mit Hilfe des begehbaren Leitungsganges eine Kostengleichheit zur konventionellen Erschließung erreichbar ist. Wobei hier klar herauszustellen ist, dass an dieser Stelle allein die Baukosten bis zur Ver- bzw. Entsorgung betrachtet werden. Bei der Lebenszyklusbetrachtung bieten begehbare Leitungsgänge weitere Vorteile, auf die schon vielfach eingegangen wurde und später noch näher eingegangen wird.

4.2. Material / Bauform / Durchführung

Da die bislang für begehbare Leitungsgänge verwendeten modernen Bauverfahren aus Wellblech oder PEHD für das geplante Vorhaben in Speyer erstens als zu teuer und zweitens als für die zu erwartenden hohen Grundwasserstände nicht ausreichend auftriebssicher eingeschätzt wurden, begann die Suche nach Alternativen. Auch die Lösung eines runden Stahlbetonkanalrohres wurde aufgrund des dann notwendigen größeren Durchmessers verworfen.

Letztendlich wurde die Betonhülle, begünstigt durch die statisch günstige Querschnittform, bewehrungsfrei konzipiert. Dem Beton wurden lediglich Kunststofffasern als Rissbewehrung beigemischt.

Die Herstellung des „monolithisch unbewehrten Faserortbetontunnels“ erfolgte durch eine hydraulische Schalungsmaschine aus Stahl. So ist es möglich, einen 15 m langen Abschnitt am Tag monolithisch herzustellen.

Die folgende Abbildung zeigt eine Schalungsmaschine (Schalungsdummy), wie sie in Speyer zum Einsatz gekommen ist:



Abb. 14: Schalungsmaschine (Schalungsdummy)

Der zu verwendende Beton sollte für die angedachte Verwendung folgende Eigenschaften aufweisen:

- frühe Grünstandfestigkeit, um das monolithische Betonieren ohne plastische Verformung des Bodens zu gewährleisten
- frühe Mindestdruckfestigkeit, um ein frühes Ausschalen zu ermöglichen
- geringe Temperaturentwicklung zur Vermeidung von Schwindrissen und Zwängungen.

Diese Vorgaben erfüllte eine eigens hierfür entwickelte und erprobte Betonrezeptur, die nahezu zu gleichen Teilen aus Portlandzement und Flugasche bestand. Zur Rissvermeidung fand ein Fasermix aus unterschiedlich langen Polypropylenfasern Anwendung.

Die Betonrezeptur erwies sich bei kalter Witterung als wenig reaktionsfreudig. Um dem entgegenzuwirken, wurde die Schalung von außen komplett gedämmt (In Skandinavien gibt es bereits seit langem positive Erfahrungen mit isolierten Schalungen im Winter.). In Verbindung mit einem hohen Flugascheanteil wirkt sich die Dämmung auch im Sommer positiv aus, wobei eine zu schnelle Auskühlung des Betons zu verhindern ist. Die Betontemperaturen können mit Hilfe eines speziellen "Betonreifecomputers" an verschiedenen Stellen gemessen werden, um die für die Qualität sowie die gewünschten Arbeitsergebnisse notwendigen oberen und unteren Temperaturschranken zuverlässig einzuhalten.

Zwischen den monolithisch hergestellten, 15 m langen Abschnitten wird die Hülle des begehbaren Leitungsganges durch ein mittig angeordnetes Körperfugenband abgedichtet.



Abb. 15: Schalungsvorgang mittels Schalungsmaschine

Innen- und Außenschalung sind mit einem Transportwagen ausgerüstet, können jedoch nur in Arbeitsrichtung ohne Kurven verschoben werden. Die Ein- und Ausschalvorgänge erfolgten mechanisch. Die Innenschalung, die aus einem Kalottenelement und jeweils zwei Seiten- und Klappteilen besteht, kann mittels Hydraulik in der Höhe verstellt werden. Die Konterschalung ist komplett hydraulisch bedienbar.

Für die optimale Verdichtung des Betons finden Druckluftschalungsrüttlern Anwendung, welche auf der Innenseite der Innenschalung angeordnet sind. Die Nachbehandlung außen erfolgt zum einen durch Thermomatten und ggf. durch Mikrobewässerung. Es kommen hier allerdings nicht die üblichen kleinstückigen Thermomatten zum Einsatz, wie sie üblicherweise im Winterbau verwendet werden, sondern eine großflächige einstückige auf den Umfang des Bauwerkes exakt zugeschnittene Luftpolsterfolie.

Die Wandstärke der Hülle des begehbaren Leitungsgang beträgt lediglich 20 cm.

Im Folgenden werden der Querschnitt und die bauliche Hülle des begehbaren Leitungsganges vom Projekt: Speyer – Rheinpark dargestellt.

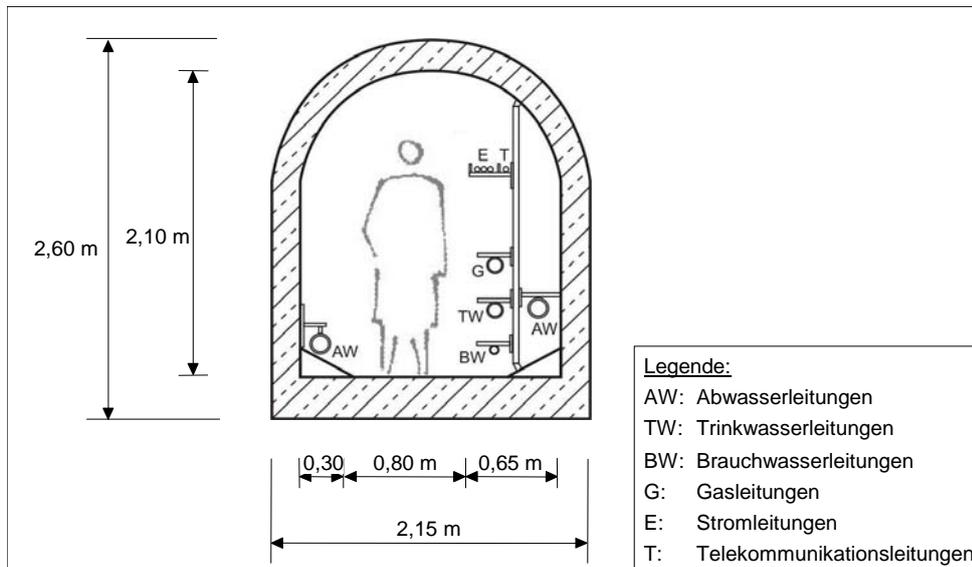


Abb. 16: Vertikalschnitt zum begehbaren Leitungsgang Speyer – Rheinpark-Nord, Maßstab, 1:50

Die gewählte Querschnittsform ermöglicht es, dass der Anteil des nutzbaren Raumes innerhalb des begehbaren Leitungsganges im Vergleich zu einem Kreisquerschnitt erhöht wird. Durch den aufgesetzten Kreisbogen werden jedoch auch die statischen Vorteile genutzt. Diese statisch günstige Querschnittsform ermöglicht eine bewehrungsfreie Betonhülle.



Abb. 17: Anordnung der Leitungen im begehbaren Leitungsgang

Innerhalb des begehbaren Leitungsganges sind sechs unterschiedliche Leitungen eingebracht. Diese Leitungen, mit Ausnahme einer zweiten Schmutzwasserleitung, sind an einer Stütze der nördlichen (s. Abb. 9, „Innenansicht“ rechts) Leitungsgangseite angeordnet. Die drei Wasserleitungen (Schmutzwasser-, Trinkwasser- und Brauchwasserleitungen) verlaufen im unteren Bereich, während die Elektro- und Telekommunikationsleitungen im oberen Querschnittsbereich eingeteilt sind. Zwischen diesen Leitungen wird die Gasleitung geführt, wobei der Abstand nach unten zur Trinkwasserleitung etwa 20 cm und nach oben zu den Elektro- und Telekommunikations-

onsleitungen 40 cm beträgt. Der Bediengang zwischen den Halterungskonstruktionen ist 80 cm breit.

Für die Hausanschlüsse werden die Leitungen über einen Mehrspartenanschluss zu den einzelnen Hausanlagen geführt. Die Leitungen für Trinkwasser, Gas, Elektrizität und Strom werden gemeinsam über den Mehrspartenanschluss, die Abwasserleitung hingegen separat, aus dem begehbaren Leitungsgang geführt.

Fazit

Die Bauweise bewies sich als besonders Ressourcen sparend, was insbesondere auf die Bauform, die Optimierung der Materialstärken, den Wegfall des Bewehrungsstahls, sowie die Betonrezeptur zurückzuführen ist. Der erste Bauabschnitt hat aufgezeigt, wie die Befestigung der Medien vereinfacht werden kann. Des Weiteren konnte aufgezeigt werden, dass durch den Einsatz weiterer Medien der Ver- und Entsorgung die Nachhaltigkeit noch deutlich verbessert werden kann.

Die spezielle Bauweise senkt die Baukosten gegenüber herkömmlichen Fertigungsmethoden so deutlich, dass diese Erschließungsvariante nunmehr wettbewerbsfähig wird. Weitere Einsatzmöglichkeiten sind denkbar.

4.3. Förderung

Projektpartner für den 1. Bauabschnitt dieses Projektes waren das Bauforum Rheinland-Pfalz, der Zentralverband des Deutschen Baugewerbes, der Baugewerbeverband Rheinland-Pfalz, die EnergieEffizienzAgentur E2A, die VHV-Versicherungen, die Bundesstiftung Umwelt sowie der Bundesverband der Deutschen Zementindustrie.

5 Schwerpunkt Nutzung

Bei begehbaren Leitungsgängen handelt es sich um geschlossene langgestreckte begehbare bauliche Anlagen zur zugänglichen Verlegung von Ver- und Entsorgungsleitungen, bestehend aus Leitungsgangstrecke sowie Zugangs-, Montage-, Belüftungs-, Abzweig- und Vereinigungsbauwerken. Die in begehbaren Leitungsgängen verlegten Versorgungs- und Medienleitungen werden in folgende Rohrleitungen und Kabel unterschieden:

1. Rohrleitungen:

- Fernwärme (Heißwasser oder Dampf)
- Gasleitungen (Erdgas)
- Wasserleitungen (Trinkwasser / Bauchwasser)
- Abwasserleitungen bzw. Abwasserkanal (Schmutz-, Regen- und Mischwasser)
- sonstige, zukünftige Leitungsarten

2. Kabel:

- Starkstromkabel
- Hoch- und Höchstspannungskabel /GIL
- Telekommunikationskabel (auch Glasfaserkabel)
- sonstige, zukünftige Kabelarten



Abb. 18: Ver- und Entsorgungsleitungen im begehbaren Leitungsgang

5.1. Nah- / Fernwärmeleitungen und Speicherung regenerativer Energien

Fernwärme bezeichnet die Wärmelieferung zur Versorgung von Gebäuden mit Heizwärme und Wärme zur Erzeugung von Warmwasser. Der Transport der thermischen Energie erfolgt in einem wärmeisolierten Rohrsystem. Die Wärme wird vom Erzeuger oder der Sammelstelle zu den Verbrauchern geleitet. Unter Fernheizung wird die Erschließung ganzer Städte oder Stadtteile verstanden. Bei der örtlichen Erschließung einzelner Gebäude, Gebäudeteile oder kleiner Wohnsiedlungen mit eigener Wärmeenergieerzeugung spricht man auch von Nahwärme. Technisch und juristisch ist in allen Fällen Fernwärme die korrekte Bezeichnung.

Fernwärmeleitungen als Zweileitersystem bestehen i.d.R. aus werksgefertigten Stahl-Kunststoffmantel-Verbundrohren mit PU-Wärmedämmung. Sie sollten innerhalb von Leitungsgängen möglichst weit von Strom- und Wasserleitungen entfernt verlegt werden, um Beeinflussungen der Temperatur zu minimieren.

Auflager von Fernwärmeleitungen müssen sowohl das Eigengewicht der Leitungen, wie auch Kräfte und Momente, die aus dem Betriebsdruck und Bewegungen der Rohre, die sich durch Temperaturschwankungen oder aus Rohrdurchbiegungen ergeben, aufnehmen. Die Auflager sind in bestimmten, regelmäßigen Abständen anzuordnen, um Durchbiegungen zu vermeiden. Auflager sind je nach Bedarf als Gleit-, Führungs-, oder Festpunktlager möglich.

5.2. Elektrizitätsleitungen

Bei Elektrizitätsleitungen übernimmt die das stromführende Kabel umgebende Schutzhülle eine Schutzfunktion vom Kabel gegen die Umgebung und verhindert schädliche Einflüsse auf das Kabel (Einflüsse bei der Verlegung, bei Wartungsarbeiten usw.). Bei einer Verlegung von Starkstromkabeln sind besonders halogenfreie VPE-isolierte Kabel geeignet, da sie im Brandfall keine korrosiven Gase und Dioxine freisetzen. Bei der Kabelverlegung muss auf die Mindestbiegeradien der Stromkabel geachtet werden. Sie sind von der Kabelart und der Aderanzahl abhängig. Werden die Mindestbiegeradien unterschritten, kann die Betriebssicherheit nicht mehr gewährleistet werden.

Grundsätzlich ist es nicht wichtig, wo die Stromkabel innerhalb des Leitungsgangs untergebracht sind. Dennoch bietet sich die Wandfläche für eine Kabelführung an, da der untere (Wasser und Abwasser) und der obere Bereich (Gas und Fernwärme) bereits belegt sind. Zu diesen anderen Medien sollte ein Sicherheitsabstand von mindestens 300 mm eingehalten werden, damit die Medien sich untereinander nicht thermisch oder elektromagnetisch beeinflussen. Die Starkstromkabel sollten im Leitungsgang auf Kabelpritschen oder auf Konsolen aufgelagert werden. Befestigungen durch Schellen sind auch denkbar, jedoch ist hier darauf zu achten, dass die Kabel nicht durch zu großen Druck beschädigt werden. Bei einer Lagerung auf Pritschen ist darauf zu achten, dass die Böden nicht vollständig geschlossen sind und somit ein ständiger Wärmeaustausch gewährleistet bleibt. Mechanischer Schutz sowie Schutz vor Feuchte und Korrosion der Innenbauteile werden von Muffen gewährleistet. Diese werden bei Verbindungen und Abzweigungen eingesetzt.

Starkstromkabel werden bzgl. ihrer unterschiedlichen Spannungen in vier Gruppen eingeteilt:

- Niederspannungskabel bis 1 kV,
- Mittelspannungskabel von 1 kV bis 60 kV,
- Hochspannungskabel von 60 kV bis 150 kV und
- Höchstspannungskabel über 150 kV.

An Übergabepunkten des Verteilungsnetzes vom öffentlichen Verteilungsnetz zu den Verbrauchern sind Transformatoren angeordnet, die die Mittel- auf eine Niederspannung umwandeln. Je länger ein Niederspannungskabel ist, desto höher sind die Leitungsverluste. Die Transformatoren werden in separat an den Leitungsgang angebrachten Räumen angeordnet.

Werden Elektrizitätsleitungen in Leitungsgängen verlegt, so können hierfür normale Kabel Anwendung finden. Ein zusätzlicher Schutz, wie ihn so genannte Erdkabel bieten, ist nicht notwendig. Somit besteht hier ein mögliches Einsparungspotential.

5.3. Gasleitungen

Gasleitungen werden in Deutschland meist in Form von Kunststoff- oder Stahlrohren verlegt. Die Versorgungsbetriebe geben den Betriebsdruck vor, aus dem wiederum die Rohrdimension resultiert. Folgende Druckstufen werden unterschieden:

- Niederdruck (bis 100 mbar)
- Mitteldruck (100 mbar bis 1 bar)
- Hochdruck (über 1 bar).



Abb. 19: Erdgasleitung, verlegt im begehbaren Leitungsgang

Für Gasleitungen ist zu beachten, dass innerhalb von Gebäuden ein Betriebsdruck von 1 bar nicht überschritten werden soll. Bei neuverlegten Gasleitungen bis zum Gasanschluss des Verbrauchers sind Hochdruckleitungen bis zu 4 bar zulässig. Hier sind Dehnungsausgleicher zu planen. Für Leckagen in gasführenden Leitungen ist zu beachten, dass sich Gas nicht zwangsläufig in bestimmten Bereichen der Leitungsgänge sammelt. Durch turbulente Luftströmungen vermischt sich das Gas i.d.R. mit der in den Leitungsgängen vorherrschenden Atmosphäre.

5.4. Trinkwasserleitungen

Trinkwasser als wichtiges Lebensmittel stellt an Wasserleitungen hohe Anforderungen. Die Wassergüte muss von den Versorgern durch das gesamte Wassernetz sichergestellt sein. So muss die Wassertemperatur zwischen 5° C und 15° C liegen. Des Weiteren muss eine Verunreinigung des Wassers von Krankheitserregern und gesundheitsschädlichen Eigenschaften ausgeschlossen werden. Es dürfen keine Korrosionsschäden an den das Medium umgebenden Werkstoffen hervorgerufen werden. Daher werden in der Trinkwasserversorgung Rohre aus Kunststoff, duktilem Gusseisen und Stahl mit Zementauskleidung eingesetzt. Kunststoffrohre sind leicht biegsam, können jedoch wegen Kältsprödigkeit nicht bei Temperaturen unter 0° C

verlegt werden. Alle drei Leitungsarten können prinzipiell in einem Leitungsgang verlegt werden. Im Brandfall sind Kunststoffrohre allerdings weniger gut geeignet. Auch können große Auflagerabstände von den gusseisernen Leitungen und den Stahlleitungen auf Grund ihrer Steifigkeit besser überbrückt werden.

Trinkwasserleitungen sollten im unteren Bereich eines Leitungsganges angeordnet werden, damit durch ggf. austretendes Wasser die evtl. darunter liegenden elektrischen Anlagen oder andere Installationen nicht beschädigt werden.. Der Abstand zu Fernwärmeleitungen innerhalb eines Leitungsganges sollte mindestens 300 mm betragen, damit das Trinkwasser nicht erwärmt wird. Bei der Verlegung der Wasserleitungen ist zu beachten, dass die Rohrleitungen großen Druckkräften ausgesetzt sind. In Bereichen, in denen die Rohre eine Richtungsänderung vollziehen, treten große Radial- bzw. Fliehkräfte auf Grund der Trägheit des Wassers auf. Des Weiteren entstehen Druckschwankungen bei Unterbrechungen des Leitungsnetzes. Diese Änderungen der Fließgeschwindigkeit wirken sich innerhalb des Rohrnetzes als kurze Stöße aus, die temporär erhöhten Druck auf das Rohrnetz ausüben. Durch die im Leitungsnetz entstehenden Kräfte kommt den Auflagern und den Rohrverbindungen eine besondere Bedeutung zu. Im Bereich von Hausanschlüssen, Abzweigungen oder anderen Veränderungen des geraden Wasserrohres sollten feste Auflager und zugfeste Verbindungen gewählt werden, um hier Biegebeanspruchungen des Rohres auszuschließen. Auf geraden Strecken ist hingegen der Einsatz von Gleitschellen ausreichend. An den Festpunkten können die Horizontalkräfte über die Reibung mit dem Sockel und anschließender Ableitung über den Sockel in die Hülle des Leitungsganges abgetragen werden. Die Rohrleitung ist an jedem Auflager gegen Abheben zu sichern. Der Nachweis aller Auflager und Verbindungen ist statisch zu prüfen. Dehnungsausgleicher sind einzuplanen. Um eine Unterbrechung des Leitungsnetzes für Baumaßnahmen, Rohrbrüche oder Reinigungen zu ermöglichen, wird durch den Einsatz von Armaturen (Schiebe oder Klappe) das Netz in einzelne Rohrabschnitte untergliedert. Zudem wird an den Tiefpunkten oftmals eine Armatur eingebaut, um die jeweils anstehenden, aufsteigenden Rohrstrecken unabhängig voneinander entleeren zu können. Um im „Havariefall“ die Rohrleitungen absperrern zu können, sollten die Armaturen nicht nur manuell, sondern auch automatisch selbstauslösend sein.

5.5. Brauch-, Regen-, Abwasserleitungen

Abwasserleitungen bündeln Grundstücksentwässerungen (privat) und Kanalisationen (öffentlich). Neben Freispiegelentwässerungssystemen kommen in Deutschland auch Druck- und Unterdruckentwässerungssysteme zum Einsatz. An dieser Stelle wird das Augenmerk auf die Freispiegelentwässerungssysteme im urbanen Bereich gelenkt. Für den Transport des Abwassers ist ein Mindestgefälle der Leitungen oder des Kanals erforderlich. Je nach Betriebsform wird unterschieden in Mischsysteme (kombiniert den Regen- und den Schmutzwasserablauf miteinander) und Trennsysteme (beide Abläufe werden in separaten Regenwasser- bzw. Schmutzwasserleitungen geführt). Die Abwasserleitungen weisen runde Querschnittsformen auf, wobei einige horizontal („Eiform“) oder vertikal („Maulquerschnitt“) gedrückt sind. Die genormten Kanalquerschnittsformen sind in der DIN EN 4263 mit ihren geometrischen Werten dargestellt. Unabhängig von der Querschnittswahl sollte die Fließgeschwindigkeit nicht unter 0,5 m/s absinken. Abwasserleitungen werden innerhalb von begehbaren Leitungsgängen im unteren Bereich angeordnet. Dies kann zum einen separat im Bauwerk unter dem Bediengang oder in der inneren Hülle seitlich des Bediengangs sein. Dabei nimmt eine Verlegung als Teil des Leitungsgangs

alle Vorteile des Leitungsgangs auf, da hier eine ständige visuelle Kontrolle der Abwasserleitungen erfolgen kann. Innerhalb des Abwasserleitungsnetzes muss das oben angeführte Mindestgefälle eingehalten werden. Somit bestimmt die Abwasserleitung weitestgehend die Tiefen- und Positionslage von begehbaren Leitungsgängen. Gerade beim Bauen im Bestand verbindet das neu zu erstellende Kanalbauwerk die vorhandenen Abwasserleitungen, so dass die Wahl des Querschnitts, maßgeblich von den Parametern der Abwasserleitung beeinflusst wird. Im Bedarfsfall könnte die Tiefenlage der Abwasserleitung durch eine Anordnung von Hebeanlagen verringert werden.

Auflager müssen hauptsächlich Gewichtskräfte, Kräfte aus Temperaturveränderungen, Auftriebskräfte und Reaktionskräfte infolge von Dichtheitsprüfungen aufnehmen können. Die Auflagerung kann bei großen und schweren Rohren kontinuierlich (z.B. Einbettung in Sand) oder diskontinuierlich (z.B. Rohrschellen und Sockel) erfolgen.

Zur Beseitigung von Ablagerungen und Verstopfungen sowie als Vorbereitung für Kanalinspektionen werden Reinigungen der Abwasserleitungen durchgeführt. Als Faustregel kann von einer Reinigungshäufigkeit von 3 Reinigungen pro Jahr ausgegangen werden. Bei einer notwendigen Sanierung der Abwasserleitungen bietet sich im Leitungsgang auf Grund der Zugänglichkeit ein Austausch von einzelnen Rohrleitungsabschnitten oder Reparaturen von außen an. Eine sinnvolle Alternative zur beschriebenen konventionellen Schwerkraftentwässerung im ISK stellt die Vakuumkanalisation dar. Zu den Vorteilen zählen:

- geringerer Durchmesser gegenüber der Schwerkraftentwässerung,
- auf Gefälle muss nicht geachtet werden,
- auch zweihüftige Erschließungen können mit nur einer Leitung erfolgen,
- bei Leckagen ist kein Wasseraustritt möglich.

im Gegensatz zur Erdverlegung von Vakuumleitungen sind Schäden jederzeit sofort am Geräusch zu erkennen und einfach zu beheben. Wenn darüber hinaus die Abwasserströme in 2, 3 oder 4 Fraktionen aufgeteilt werden, so ist auch eine sinnvolle Wiederverwertung statt Behandlung und Entsorgung möglich.

5.6. Medien- / Datenleitungen

Telekommunikationskabel können sowohl in Form von Kupferleiterkabel, als auch Glasfaserkabel Anwendung finden. Dabei ist zu beachten, dass Glasfaserkabel in der Übertragungskapazität und -geschwindigkeit deutlich leistungsfähiger sind als die herkömmlichen Kupferleitkabel. Hier wird deutlich, dass die fortschreitende Entwicklung eine einfache Nachrüstmöglichkeit notwendig macht. Hierfür bieten begehbare Leitungsgänge erhebliche Vorteile gegen den bisher üblichen Erdkabeln.

Wie Starkstromkabel besitzen Telekommunikationskabel eine Schutzhülle gegen schädliche Einflüsse aus der Umgebung. Die jeweils kabelspezifischen Mindestbiegeradien dürfen auf Grund der Betriebssicherung nicht unterschritten werden. Auch die Anordnungs- und Auflagerungsgrundsätze der Telekommunikationskabel orientieren sich an denen der Starkstromkabel. Die Pritschensysteme hingegen müssen nicht zwangsläufig Öffnungen zur Luftzirkulation aufweisen. Die Auflagerabstände bei einer Verlegung auf Sprossen richten sich nach den jeweiligen Mindestbiegeradien bzw. nach der Zugfestigkeit der Telekommunikationskabel.

5.7. Allgemein

Um störende Einflüsse zwischen Strom- und Informationskabeln sowie den Wärmeleitungen in begehbaren Leitungsgängen zu verhindern, werden die Leitungsmedien nicht zusammen auf einer Leitungsgangseite angeordnet. Die Gasleitungen sind das oberste Leitungsmedium. Dabei liegen die Starkstromkabel nicht höher als die Gas- und Wärmeleitungen. Um eine zu starke Erwärmung des Trinkwassers zu vermeiden, ist die Trinkwasserleitung unterhalb der Wärmeleitungen anzuordnen.

Fernwärmeleitungen (FW)

Bedingt durch die hohe Wärmeabstrahlung von Fernwärmeleitungen in begehbaren Leitungsgängen, muss der Abstand zu den anderen Leitungen (insbesondere zu den Trinkwasser-, Gas- und Elektrizitätsleitungen) so groß sein, dass die thermischen Einflüsse möglichst gering gehalten werden. Fernwärmeleitungen sollten demzufolge im oberen Teil von Leitungsgängen angeordnet werden. Der Abstand zwischen Fernwärmeleitungen und der Wand bzw. der Decke von begehbaren Leitungsgängen sollte 300 mm nicht unterschreiten.

Gasleitungen (G)

Die Anordnung von Gasleitungen in begehbaren Leitungsgängen ist abhängig vom Rohraußendurchmesser nach DIN 2470-1. Auf Grund der Eigenschaften von Gas sollten sich Gasleitungen im oberen Bereich von begehbaren Leitungsgängen befinden. Die Anordnung zu anderen Leitungen ist abhängig von der Druckstufe und dem eingesetzten Werkstoff. Sie sollte in Absprache mit dem Betreiber erfolgen.

Trinkwasserleitungen (W)

Damit die Qualität des Trinkwassers (Wassertemperatur zwischen 5° und 15°C) in begehbaren Leitungsgängen erhalten bleibt, sollten Trinkwasserleitungen möglichst unten im Querschnitt von Leitungsgängen liegen. Um dem Einfluss von Fernwärmeleitungen zu entgehen, sind Trinkwasserleitungen an der entgegengesetzten Querschnittseite anzuordnen. Wenn aus planerischen Gesichtspunkten diese Forderung nicht realisiert werden kann, muss ein Mindestabstand von 300 mm eingehalten werden.

Abwasserleitungen (A)

Abwasserleitungen sind im unteren Teil von begehbaren Leitungsgängen anzuordnen. Sie können einseitig oder beidseitig neben dem Bediengang verlaufen. In einigen Fällen ist auch eine Führung von Abwasserleitungen unterhalb der Lauffläche des Bedienganges denkbar.

Telekommunikationsleitungen (TK)

Die Anordnung der Telekommunikationsleitungen erfolgt in der Regel an den Wänden von begehbaren Leitungsgängen.

Elektrizitätsleitungen (E)

Die Elektrizitätsleitungen liegen meist im seitlichen Bereich des begehbaren Leitungsganges. Dabei ist ein Mindestabstand zur Decke oder Wand von 50 mm einzuhalten. Der Abstand zu anderen Leitungen sollte mindestens 300 mm betragen. Zwischen mehreren Elektrizitätsleitungen sollte ein Abstand von 1 mm eingehalten werden.

5.8. Ausblick

Die Versorgungswirtschaft ist in ihrer Struktur in den vergangenen Jahren in Bewegung geraten. War es noch vor Jahren selbstverständlich, dass das Tiefbauamt für Schmutz- und Regenwasser zuständig war, die Stadtwerke Gas und Strom verteilt haben, die Telekom für Kommunikationskabel zuständig war und die Wasserversorgung von einem Zweckverband geregelt wurde, so geht heute die Tendenz dahin, die Zuständigkeit über alle Medien zusammenzufassen. Kombihausanschlüsse sind ein Ergebnis dieser Bemühungen. Mit dem Zusammenfassen der Medien sind auch Synergieeffekte für Betrieb und Wartung der Systeme und damit ein Nachdenken über Einsparungspotenziale möglich. Darüber hinaus sollte in Zukunft bei fortschreitender Privatisierung auch die bisherige Gebührenpraxis auf den Prüfstand kommen, wonach der Bürger für alle Kosten eines Versorgungssystems aufzukommen hat, gleichgültig ob diese Kosten begründet werden können oder nicht. Gerade der in der Praxis erhebliche Aufwand für ständige Aufgrabungen am konventionellen Leitungsnetz macht deutlich, dass mittels besser geschützter Systeme, wie es bei begehbaren Leitungsnetzen der Fall ist, nicht nur 95 % der konventionellen Schäden vermeidbar wären, sondern dass auch die bis zu 4 Baustellen pro Straßenkilometer und Jahr mit all ihren Folgewirkungen für den Verkehrsfluss überflüssig wären und ebenfalls vermieden werden könnten. Hierin liegt darüber hinaus ein erhebliches Kosteneinsparpotenzial. Die Verwendung von Infrastrukturkanälen kann Grundlage für den Aufbau eines auf Dauer angelegten flexiblen Wegenetzes im Untergrund unserer Städte sein.

6 Schwerpunkt Lebensdauer / Lebenszyklus

Archäologisch belegt ist, dass solche oder ähnliche Tunnelsysteme aus der Antike insbesondere der Römerzeit vorhanden sind. Diese machen deutlich, dass Bauformen, wie beispielsweise der Gewölbe-Infrastrukturkanal in Speyer mit heutiger Betonqualität sicherlich mehrere 100 Jahre überdauern kann und die Gefährdung eher in tektonischen Bewegungen als bei Abnutzungen jedweder Art zu erwarten ist. Insofern ist davon auszugehen, dass diese Art der Leitungsverlegung für Ver- und Entsorgungsleitungen über viele Jahrzehnte hinweg für mehrere Generationen von Leitungen als Schutzhülle dienen kann.

6.1. Randbedingungen

Begehbare Leitungsgänge (Infrastrukturkanäle) konnten sich bislang aufgrund der vergleichsweise hohen Anfangsinvestitionskosten nicht durchsetzen. Grund genug für Bemühungen, genau diese Kosten zu minimieren bzw. eine Kostengleichheit zur konventionellen Erschließung / Leitungsverlegung bei den Anfangsinvestitionen zu erreichen. Beispielsweise hat die Firma Dupré Bau GmbH (Speyer) am Beispiel eines rund 400 Meter langen Pilotkanals für die Wohnbebauung des „Rheinparks“ in Speyer Möglichkeiten erarbeitet, das verwendete Material (Beton) und die Schalungskonstruktion dahingehend zu optimieren, um Kostenentlastungen herbeizuführen. Zum einen wurde hier auf den Einsatz von Fertigbetonteilen verzichtet, die alle drei Meter über eine rissanfällige Dichtung hätten verbunden werden müssen. Stattdessen entstand ein Ortbetonbauwerk, das in Form von 15 m langen Bauteilen vor Ort errichtet wurde. Zum anderen gelang es, den Anteil des Sekundärrohstoffs Steinkohlen-Flugasche im Beton höher zu bemessen als den Zementanteil. Generell kann bei dieser Bauweise nach Angaben des Herstellers sogar auf eine Stahlbewehrung verzichtet werden. Die Nachhaltigkeit des Tunnels ist wegen der geringeren Korrosionsanfälligkeit dadurch noch einmal deutlich verbessert. Im Fall des konkreten Bauwerks in Speyer kam jedoch auf besonderen Wunsch der örtlichen Behörde teilweise eine Stahlbewehrung zum Einsatz.

6.2. Instandhaltung

Unter Instandhaltung werden im Allgemeinen Wartungs-, Inspektions- und Instandsetzungsarbeiten verstanden. Ziel von regelmäßigen Instandhaltungsmaßnahmen ist:

- die Erhaltung der Betriebssicherheit
- die frühzeitige Schadenerkennung
- die Abwendung von Schäden

Instandhaltung bedeutet für begehbare Leitungsgänge in der Hauptsache Wartung, Inspektion und Instandhaltung der Kabel- und Rohrleitungsnetze. Dies ist bei dieser Art der Leitungsverlegung ohne Weiteres möglich, da die Leitungsgänge permanent begehbar sind um die Leitungsnetze in Augenschein zu nehmen und zu warten. Defekte oder reparaturbedürftige Teile können bei Bedarf entfernt und ersetzt werden. In dieser permanenten Instandhaltungsmöglichkeit liegt der große Vorteil von begehbaren Leitungsgängen, hier können Schäden frühzeitig erkannt und abgewendet und die Betriebssicherheit in laufenden Betrieb der Anlage ohne großen Aufwand gewährleistet werden. Der Vergleich mit den laufenden Kosten erdverlegter Leitungen zeigt darüber hinaus Kostenunterschiede zugunsten der begehbaren Leitungsgänge auf.

6.3. Instandsetzung / Reparatur

Im kurzfristigen Vergleich haben konventionell verlegte Kabel und Rohrleitungen oft nach wie vor einen Kostenvorteil. Betrachtet man jedoch einen längeren Betriebszeitraum, wird schnell klar, dass in Leitungsgängen verlegte Leitungen und Kabel aufgrund der schützenden Hülle nicht den gleichen äußeren chemischen und physikalischen Einwirkungen ausgesetzt sind (z.B. Setzungen, Bodenerschütterungen und Außenkorrosion), wie dies bei konventioneller Verlegeart der Fall ist. Ein weiterer Vorteil der Verlegung im Leitungsgang ist die grabenlose Möglichkeit der Instandsetzung und Reparatur. Werden an den im Leitungsgang verlegten Leitungsnetzen bei der regelmäßigen Inspektion Mängel oder Schäden festgestellt, so lassen sich diese schnell, sicher und kostengünstig (ohne Aufgrabungsarbeiten) beheben.

6.4. Erweiterung / Veränderung / Rückbau

Die Erweiterung des vorhandenen Leitungsnetzes ist bei Verlegung in begehbaren Leitungsgängen ebenso problemlos möglich, wie die Veränderung der Bestückung des Kanals bei ggf. verändertem Bedarf. Hierfür müssen keine Erdmassen bewegt werden, wie bei konventioneller Verlegung notwendig. Jedoch ist bei der Planung und Errichtung des begehbaren Leitungsganges darauf zu achten, dass ausreichend Raum für Montage, Neuverlegung, Aufrüstung usw. (so genannte Reserveflächen) eingeplant werden.

Auch ein Rückbau der Leitungen ist jederzeit ohne Aufgrabungen möglich.

7 Schwerpunkt Recht

7.1. Anforderungen / Genehmigungen / Organisation

Der Infrastrukturkanal für die öffentliche Versorgung kann nicht ausschließlich durch die Anwendung bestehender Gesetze des öffentlichen Rechts juristisch abgeklärt werden. Vielmehr ist eine umfassende Einbindung des Leitungsgangs in eine privatrechtliche Struktur aller Beteiligten im Hinblick auf zivilrechtliche Vorschriften, insbesondere des Bürgerlichen Gesetzbuches, erforderlich.

Die Frage der Genehmigungsfähigkeit der Technologie eines Infrastrukturkanals richtet sich vor allem nach den Regelungen des Bauplanungs- und Bauordnungsrechts, d.h. die Zulässigkeit des Bauvorhabens Leitungsgang richtet sich nach den Vorschriften des Baugesetzbuches und des Bauordnungsrechts sowie den Regelungen der jeweiligen Landesbauordnung. Das Baurecht bildet zudem den Rahmen für die Planungsmaßnahme des Leitungsgangs und eine mögliche Verpflichtung der Nutzung des Leitungsgangs für Ver- und Entsorgungsleitungen.

Verpflichtende Einführung des Infrastrukturkanals

- Eine potentielle **Verpflichtung zur Nutzung des Leitungskanals durch die Ver- und Entsorgungsunternehmen** könnte möglicherweise durch einen Anschluss- und Benutzungszwang ausgesprochen werden und macht insofern die Betrachtung des Kommunalrechts erforderlich. Berücksichtigt man, dass eine Anordnung des Anschluss- und Benutzungszwangs grundsätzlich im öffentlichen Interesse erfolgt und damit eine ordnungsgemäße Durchführung bedeutsamer öffentlicher Gemeinschaftsaufgaben im Rahmen der Daseinsvorsorge gewährleistet wird, die ohne die rechtliche Möglichkeit eines Anschluss- und Benutzungszwangs nicht erfüllbar wäre, könnte es durchaus begründet sein, einen Anschluss- und Benutzungszwang auch für den Leitungsgang anzuerkennen.
- Gemäß den Vorschriften der Gemeindeordnungen können **die Gemeinden** bei öffentlichen Bedürfnissen durch Satzung für die Grundstücke ihres Gebietes den Anschluss an Wasserleitung, Kanalisation und ähnliche der Volksgesundheit dienende Einrichtungen sowie die Einrichtungen zur Vorsorge mit Fernwärme und die Benutzung dieser Einrichtungen vorschreiben. Berücksichtigt werden muss in diesem Zusammenhang aber, dass die Gemeinde den Anschluss- und Benutzungszwang nach einem Urteil des OVG Koblenz lediglich für die Grundstücke ihres Gebietes vorschreiben kann. Ein Benutzungszwang im Hinblick auf den Leitungsgang stellt sich mithin auf dieser Grundstücksbezogenheit für meist außerhalb des Gemeindegebietes liegende Energieversorgungsunternehmen als nicht realisierbar dar.
- Ein weiterer Ansatz zur Einführung des Leitungsgangs kann in der Entscheidungskompetenz der Gemeinden über die lokale Bauleitplanung gesehen werden. Der Leitungsgang kann insofern von der Gemeinde in eigener Regie als Erschließungsweg für gewisse Flächen sowohl im Flächennutzungsplan gemäß § 5 Baugesetzbuch als auch im Bebauungsplan gemäß § 9 Baugesetzbuch vorgegeben werden.

Als Fazit ist insofern festzuhalten, dass eine Festsetzung des Leitungsgangs für Versorgungsleitungen im Bebauungsplan somit gemäß § 9 Bundesbaugesetz nur ausreichend ist, wenn der Leitungsgang über öffentliche Straßen und Wege führt, oder die Straße oder der Weg zugunsten des jeweiligen Versorgungsunternehmens dinglich abgesichert ist. Wird der Leitungsgang

für Versorgungsleitungen nicht über gemeindeeigene oder dem Versorgungsträger gehörende Grundstücke geführt und ist hierfür eine dingliche Sicherung erforderlich, hat eine Festsetzung nach § 9 Abs. 1 Nr. 21 Baugesetzbuch zu erfolgen.

Eine andere rechtliche Beurteilung kann sich aber bei der Verlegung von Abwasserleitungen im Leitungsgang ergeben. Man muss sich insofern die Frage stellen, ob die Gemeinde den Leitungsgang für Abwasserleitungen festsetzen kann. § 9 Abs. 1 Nr. 13 Bundesbaugesetz lässt dem Gesetzestext entsprechend nur die Führung von Versorgungsleitungen und Versorgungsanlagen zu. Nach § 9 Abs. 1 Nr. 14 Bundesbaugesetz können Flächen für Anlagen festgesetzt werden, die der Beseitigung von Abwasser oder Entsorgung von festen Abfallstoffen dienen. Da eine andere Festsetzungsmöglichkeit neben diesem § 9 Abs. 1 Nr. 14 Baugesetzbuch nicht vorgesehen ist und auch der Leitungsgang die Abwasserleitungen mit umfasst, kann die Gemeinde mithin den Leitungsgang auch für die Abwasserleitungen und damit auch den Leitungsgang nach § 9 Abs. 1 Nr. 13 Baugesetzbuch im Bebauungsplan festsetzen. Gleiches gilt für die Festlegung im Flächennutzungsplan für Telekommunikationslinien im Leitungsgang. Da auch der Leitungsgang im Hinblick auf die Verlegung von Telekommunikationslinien nach dem heute geltenden Telekommunikationsgesetz nach § 9 Abs. 1 Nr. 13 Baugesetzbuch festzusetzen ist, lässt sich das Fazit ziehen, dass die Gemeinde grundsätzlich nach Anhörung der einzelnen Ver- und Entsorgungsträger nach § 4 Baugesetzbuch im Hinblick auf nicht geltend gemachte Einwendungen den Leitungsgang im Bebauungsplan sowohl für Ver- und Versorgungsleitungen als auch für Telekommunikationslinien festsetzen kann und der Bebauungsplan, da er Rechtskraft entfaltet, für die Ver- und Entsorgungsunternehmen als auch für die Deutsche Telekom AG und andere Lizenznehmer bindend ist, so dass insofern von einer Verpflichtung der Nutzung des Leitungsgangs ausgegangen werden kann. Festzuhalten ist somit, dass die Ver- und Versorgungsunternehmen somit unter bauplanerischen Aspekten dazu veranlasst werden können, den Leitungsgang zu nutzen und insofern eine Realisierung des Leitungsgangs durchaus möglich ist.

Betreiber / Organisationshoheit der Gemeinde

Ausgangspunkt für die Überlegung der passenden Organisationsform des begehbaren Leitungsgangs ist die dem Hoheitsträger nach deutschem Recht eröffnete Wahlfreiheit bei den Organisationsformen öffentlicher Unternehmen. Danach ist es den Gemeinden verfassungsrechtlich freigestellt, ob sie ihre Aufgaben durch öffentlich-rechtliche Rechtsformen – i.d.R. sind dies Eigenbetriebe – oder vermittels privatrechtlicher Gestaltungsmöglichkeit wahrnehmen wollen. Dieses Wahlrecht ist Teil der den Gemeinden verfassungsrechtlich gewährten Selbstverwaltungsgarantie im Grundgesetz. Den traditionellen Organisationsformen des öffentlichen Rechts wie Regiebetrieben (mit oder ohne Sondervermögen), Eigenbetrieben, öffentlich rechtliche Anstalten, Zweckverbänden (zwischen mehreren Gemeinden und Gemeindeverbänden) sind privatrechtliche Modelle wie Aktiengesellschaften oder Gesellschaften mit beschränkter Haftung gegenüberzustellen. Der Leitungsgang könnte wie bei den Rechtsformen der Energieversorgung zum Teil von privaten Unternehmen, zum Teil von der öffentlichen Hand (vornehmlich Gemeinden, aber auch sonstige Gebietskörperschaften), zum Teil von beiden gemeinsam in (gemischt-wirtschaftlichen) Unternehmen betrieben werden. Der von der öffentlichen Hand betriebene Leitungsgang kann mithin in öffentlich-rechtlichen oder privatrechtlich organisierten Betriebsformen erfolgen. Bei gemischt-wirtschaftlichen Unternehmen sind die privatrechtlichen Formen die einzig möglichen.

Basierend auf dem Wahlrecht der Gemeinde sind verschiedene Modelle von Betriebsführungen denkbar, wobei beispielhaft auf das Betreiber- und das Koordinationsmodell eingegangen werden soll: Das Betreibermodell ist dadurch gekennzeichnet, dass die Behandlung des Leitungsgangs auf einen einzigen privaten Betreiber gegen Zahlung eines Entgelts übertragen wird und insofern ein direktes Entscheidungs- oder Mitspracherecht der Kommune über die Verwaltung oder die Gremien – wie es bei einer eigenen Aufgabendurchführung der Fall wäre – nicht existent ist. Die Kommune kann ihren Einfluss beim Betreibermodell aber über diverse Verträge, wie z.B. Betreibervertrag, Personalgestellungsvertrag, Schiedsvertrag oder auch Erbbaurechtsvertrag ausüben. Ein unmittelbarer kommunaler Einfluss bei dem Betreibermodell ist dann für die Gemeinde nicht mehr möglich. Im Vergleich dazu kann die Gemeinde beim Kooperationsmodell über eine Mehrheitsbeteiligung bei der Gesellschaft einen größeren Einfluss ausüben. Beim Kooperationsmodell plant, finanziert und baut eine private Gesellschaft, wie bei dem Betreibermodell, den Leitungsgang. Die Gemeinde ist jedoch beim Kooperationsmodell neben einem privaten Dritten an dieser Gesellschaft mit einer Mehrheit, in der Regel 51 %, beteiligt.

Um eine ausgewogene Balance der öffentlichen und privaten Partner in Form des Public Private Partnership in einer Gesellschaft zu erreichen, bietet sich eine Mischform des Kooperations- und Betreibermodells an. In einer solchen Gesellschaft ergänzen sich die Vorteile der Projektsicherheit durch die öffentlichen Partner und des betriebswirtschaftlichen Managements und der Vermarktung als Initiative des privaten Partners. Der Vorteil dieser Betriebsform liegt z.B. darin, dass der öffentliche Partner seinen Grundkapitalanteil in Form der zu beplanenden Liegenschaften einbringen könnte, während der private Partner die notwendige Liquidität durch Bareinzahlung seines Anteils herbeiführen würde. Zwischen dem Eigentümer des Leitungsgangs bzw. zwischen der Betreiber-GmbH oder dem Eigentümer und dem Energieversorgungsunternehmen sind dann Verträge erforderlich, die den Versorgungsunternehmen gestatten, den Leitungsgang zu nutzen. Es bieten sich dabei verschiedene Formen der vertraglichen Nutzung z.B. in Form eines Miet-, Nutzungs- oder Leasingvertrages an. Für den Fall des Mietvertrages mietet der Nutzer den von ihm in Anspruch genommenen Raumanteil des Leitungsganges, also den Raum, den er zur Leitungsverlegung benötigt. Darüber hinaus mietet er einen Anteil des zur Funktionserfüllung notwendigen kollektiven Freiraums im Leitungsgang. Der Mietzins für die Nutzung des Leitungsgangs könnte danach nach dem Kostendeckungsprinzip ermittelt werden. Die vorgenannten Modelle verschiedener Betriebsführungen sind jedoch nur dann statthaft, entsprechend den Vorschriften in den Gemeindeordnungen der jeweiligen Bundesländer, wenn die Haftung der Gemeinde auf einen bestimmten Betrag begrenzt ist. Es soll verhindert werden, dass die Gemeinde unübersehbare finanzielle Risiken eingeht. Die Voraussetzung der Haftungsbegrenzung sind erfüllt, wenn die Beteiligung an einer AG, an einer GmbH, an einer KG als Kommanditist oder an einer KG auf Aktien als Kommanditaktionär erfolgt. Welche Beteiligungsform die Gemeinde wählt, bleibt im Einzelnen ihr selbst überlassen. Die Gemeinde muss jedoch die weiteren Voraussetzungen nach den Vorschriften in der jeweiligen Gemeindeordnung wahren, d.h. die Gemeinde darf sich nicht zur Übernahme von Verlusten in unbestimmter oder unangemessener Höhe verpflichten. Die Gemeinde muss einen angemessenen Einfluss - insbesondere in einem Überwachungsorgan – und dieser Einfluss muss so gesichert werden, dass die Einrichtung durch Gesellschaftsvertrag, Satzung oder sonstiges Organisationsstatut auf den öffentlichen Zweck ausgerichtet wird. Es muss darüber hinaus gewährleistet sein, dass ein Jahresabschluss- und ein Lagebericht aufgestellt und in entsprechender Anwendung der für Eigenbetriebe geltenden Vorschrift geprüft werden kann.

Letztlich muss sich eine Gemeinde, die sich für den Einsatz eines Infrastrukturkanals in ihrem Gemeindebereich entscheidet, nicht auf rechtliches Neuland begeben. Vielmehr stehen den Gemeinden die rechtlichen Instrumentarien zur Verfügung, die konventionelle Leitungsverlegung durch den begehbaren Leitungsgang in Form des Infrastrukturkanals zu ersetzen. In einer Zeit, in der sich ständig die Anforderungen an technische Innovationen und Flexibilität in der Stadtentwicklung ergeben, werden Gemeinden künftig nicht darum herumkommen, um für Investoren in der Zukunft auch attraktiv zu sein, durch schnelle Anpassung von Ver- und Entsorgungsmöglichkeit den tatsächlichen Bedürfnissen des jeweiligen Investors gerecht zu werden.

Genehmigung

Mit Ausnahme des Landes Brandenburg, das in seiner Landesbauordnung die Genehmigungspflicht für Infrastrukturkanäle verankert hat, gibt es im Bauordnungsrecht keine Bestimmungen, die eine Genehmigungspflicht vorschreiben. Die zuständigen Landesminister haben sich darauf verständigt, bestenfalls dann ein wasserrechtliches Genehmigungsverfahren durchzuführen, wenn im Kanal Schmutzwasserleitungen geführt werden. Soweit Infrastrukturkanäle in öffentlichen Flächen geführt werden und ein öffentliches Unternehmen für Bau und Betrieb zuständig ist, genügen einfache Gestattungsvereinbarungen. Der Fall, dass der Infrastrukturkanal von einem privaten Betreiber gebaut und betrieben wird, hat sicherlich zur Folge, dass Leitungsrecht in Form von Grunddienstbarkeiten im Grundbuch eingetragen werden müssen und dass hierfür eine weitergehende Kette von Regelungen verabredet werden muss. Diese Frage soll im Rahmen von unterschiedlichen Machbarkeitsstudien im Rahmen eines Forschungsvorhabens in den nächsten Jahren geklärt werden. Klärungsbedarf besteht auch dahingehend, inwieweit die einzelnen Unternehmen der Ver- und Entsorgungswirtschaft privatrechtlich oder öffentlich-rechtlich verpflichtet werden können, das Angebot eines Infrastrukturkanals anzunehmen und ihre Leitungen in einem solchen Kanal zu verlegen.

7.2. Sicherheit und Versicherungstechnische Anforderungen

Mit Hilfe von Sicherheitsstudien des TÜV Rheinland und des TÜV Sachsen-Bayern wurden Sicherheitsbedenken in Bezug auf begehbare Leitungsgänge in den vergangenen Jahren aufgearbeitet. Dabei wurde festgestellt, wie bereits in der Komplexrichtlinie der DDR enthalten, dass beim Bau und dem Betrieb von Infrastrukturkanälen zweifelsohne Sicherheitsabstände, Be- und Entlüftungsparameter etc. zu beachten sind. Obwohl die Temperaturverhältnisse in den unterirdischen Tunneln relativ konstant sind, muss das Dehnungsverhalten unterschiedlicher Materialien beachtet werden. Die Festpunkte und die Gleitlager müssen so ausgebildet sein, dass sie die stabile Lage der Leitungen gewährleisten können. Bei gleichzeitiger Führung von Fernwärmeleitungen gemeinsam mit Trinkwasserleitungen kann es notwendig werden, die Trinkwasserleitung zusätzlich vor Erwärmung zu schützen und zu isolieren. In allen Fällen bedarf es, wie auch bei der konventionellen Leitungsverlegung, einer sorgfältigen Planung der Raumaufteilung innerhalb des zur Verfügung stehenden Volumens.

Existierende Versicherungsverträge von Betreibern haben den begehbaren Leitungsgang i.d.R. in einen versichernden Grundfondbestand integriert. Einige Betreiber haben hierfür allerdings separate Versicherungen für den Leitungsgang abgeschlossen.

7.3. Schadenvermeidung

Der begehbare Leitungsgang erfüllt aus Sicht der Betreiber durchaus gegenwärtige und künftige Erwartungen hinsichtlich Betrieb, Sicherheit und perspektivischer Nutzung. So können beispielsweise Schäden an Rohrleitungen, z.B. durch Auflasten, Frost oder Feuchtigkeit, vermieden werden. Außerdem können hierdurch Aufgrabungen in teilweise stark frequentierten Trassenräumen verhindert und damit Umwelt- und Verkehrsbeeinträchtigungen vermieden werden.

8 Zusammenfassung

Zusammenfassend ist festzustellen: Begehbare Leitungsgänge können als kostengünstige, umweltverträgliche und wirkliche Alternative zur Erdverlegung von Leitungen angesehen werden.

Der begehbare Leitungsgang lässt als Infrastrukturkanal jederzeit Inspektionen auf Schäden wie Risse, Korrosion, Schäden an Rohrverbindungen sowie Leitungszuläufen zu. Reparaturen sind jederzeit und grabenlos möglich. Die Prüfung zum Bau begehbaren Leitungsgänge erfolgt im Einzelfall. Jedoch sind die Entscheidungskriterien trotz vorliegender Forschung und Erfahrung nach wie vor nicht eindeutig definiert. Die organisatorischen und rechtlichen Regelungen und Vereinbarungen sind vom Einzelfall abhängig. Eine Lebenszyklusbetrachtung der begehbaren Leitungsgänge ist zwar theoretisch möglich, jedoch wegen der unsicheren Lebensdauervorausschau der Baustoffe und der Leitungen und Kabel unsicher.

Einsparungen ergeben sich beim begehbaren Leitungsgang in der Hauptsache daraus, dass die Kabel und Rohre durch den Kanal geschützt und daher auch keinen statischen und dynamischen Belastungen ausgesetzt sind. Somit ist die Verwendung leichterer Rohrmaterialien möglich, auch die Verwendung von kostenintensiven Erdkabeln ist hier nicht notwendig. Darüber hinaus erhöht sich die Lebensdauer von Leitungen um ca. 15 – 30 %, was zu zusätzlichen Einsparungen im Lebenszyklus führt.

Infrastrukturkanäle sind in der Anfangsinvestition etwa 5 – 20 % teurer als die konventionelle Einzelverlegung (Untersuchungen von A. Laistner in der „Dokumentation grabenloses Bauen“). Allerdings ist es laut der Firma Dupré mit innovativer Technik möglich, eine Kostengleichheit zur konventionellen Verlegeart zu erreichen. Außerdem wird die Bau- und Erschließungszeit verringert, so dass es zu einer schnelleren Vermarktung des Baugebietes und somit zu einer Reduzierung der Zinsbelastung kommt.

Vorteile des Infrastrukturkanals:

- Zusammenfassung aller Ver- und Entsorgungsleitungen,
- Minimierung der Erschließungsstrassen,
- Geringere Schadensanfälligkeit, hohe Lebensdauer der Leitungen,
- Leichtere Reparatur- und Wartungsarbeiten,
- Hohe Qualität der Verlegearbeiten,
- Reduzierung der Unterhaltungskosten,
- Einsparung durch Verwendung leichterer Rohrmaterialien,
- Verringerung der Bau- und Erschließungszeit,
- Kein Mehraufwand an Erdarbeiten und
- Leichtes Auswechseln bzw. Ergänzen von Leitungen.

Die Idee zum begehbaren Leitungsgang ist die Wirtschaftlichkeit durch Bündelung der Systeme, eine Vereinfachung des Ausbaus oder der Ergänzung, eine einfache Kontrolle und Überwachung, Sicherheit durch massive Kanäle sowie Flexibilität. Dies gilt es, insbesondere bei der Neuerschließung von Baugebieten, in die Praxis umzusetzen.

9 Beratende Institutionen

Bauforum Rheinland-Pfalz GbR
Ministerium der Finanzen
Kaiser-Friedrich-Straße 5
55116 Mainz
Telefon: 06131/16-4346
E-Mail: bauforum@fm.rlp.de

Baugewerbeverband Rheinland-Pfalz e.V.
Max-Hufschmidt-Str. 11
55130 Mainz
Telefon: 06131/983-490
E-Mail: bgv@bgvmz.de

C. Dupré Bau GmbH & Co. KG
Franz-Kirrmeier-Straße 17
67346 Speyer
Telefon: 0 62 32 - 29 55 55
e-Mail: [info\(at\)cdupre.de](mailto:info(at)cdupre.de)

Dipl.Ing.(FH) Hermann Laistner
Öffentl. bestellter Sachverständiger
Hardtsteige 29
73466 Lauchheim

Institut für Bauforschung e.V.
An der Markuskirche 1
30163 Hannover
Tel.: 0511 / 96 516 0
www.bauforschung.de

10 Weiterführende Literatur und Informationsquellen

10.1. Verwendete weiterführende Literatur

- **Dupre´, Frank:** „Ökologische und ökonomische Bilanzierung einer optimierten Leitungshülle als monolithischer Ortbetontunnel am Beispiel eines Infrastrukturkanals für Medienkabel und –leitungen in der Stadt Speyer
- **GSTT – German society for trenchless technologie:** “Bau und Betrieb begehbare Leitungsgänge – Statusbericht” Heft 6
- **Institut für Bauforschung e.V.:** „Evaluation gebauter und begehbare Leitungsgänge“
- **Institut für Bauforschung e. V.:** „Kostenauswirkungen der Überwachungspflichten der Wohnungsunternehmen im Bestand im Rahmen der Verkehrssicherungspflicht“
- **Laistner, Hermann:** Nachhaltige Erschließung der Zukunft mit Leitungsgängen - Hemmnisse und Lösungen
- **Nds. Ministerium für Soziales, Frauen, Familie und Gesundheit:** „Bau-Handbuch für Wohneigentümer, Institut für Bauforschung e. V.“
- **Nds. Sozialministerium:** „Wärmeschutz im Bestand, Institut für Bauforschung e. V., Hannover 1996“
- **Stadtwerke Hannover AG:** „Einsparmöglichkeiten beim Raumwärmebedarf des Wohngebäudebestandes in Hannover und Langenhagen“ Band 1
- **Stein, Dietrich:** „Der begehbare Leitungsgang“
- **Steyer, Gerhard:** „Der moderne Infrastrukturkanal. Ein Abriss wichtiger Rechtsfragen.“
- **Zimmermann, Anja:** „Flächenmanagement – Grundflächen als Einflussfaktoren auf die Nutzungskosten“ Zürich 2003

10.2. Verwendete Gesetze, Verordnungen, Normen sowie Richtlinien:

- DIN 276 - Kosten im Hochbau, 1993-06
- DIN 277-1 - Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau; Begriffe, Ermittlungsgrundlage, 2005-02
- DIN 277-2 - Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau; Gliederung der Netto-Grundfläche (Nutzflächen, Technische Funktionsflächen und Verkehrsflächen), 2005-02
- DIN 277-3 - Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau; Mengen und Bezugseinheiten, 2005-04
- DIN 18960 - Nutzungskosten im Hochbau, 08/1999
- DIN 31051 - Grundlagen der Instandhaltung, 06/2003
- DIN 32736 - Gebäudemanagement, Begriffe und Leistungen, 08/2000
- GEFMA 200 - Entwurf: Kosten im Facility Management, Kostengliederungsstruktur zu GEFMA 100, 07/2004
- VDI 6009 - Facility Management, Einführung von Gebäudemanagement für mehrere Liegenschaften, Anwendungsbeispiele, Blatt 1 und 2, 12/2003
- Komplexrichtlinie Sammelkanäle einschließlich zugehöriger Ergänzungen
- Schweizer Empfehlungen SIA 205 - Verlegung von unterirdischen Leitungen und ergänzende Regelungen über begehbare Leitungstunnel
- Tschechische Norm CSN 73 7505 - Leitungskanäle und Stollen für die technische Infrastruktur