

**C. Dupré Bau GmbH & Co. KG
Franz-Kirrmeier-Straße 17
67346 Speyer**

**Ökologische und ökonomische Bilanzierung
einer optimierten Leitungshülle (begehbarer Querschnitt)
als monolithischer Ortbetontunnel am Beispiel eines
Infrastrukturkanals für Medienkabel und –leitungen
in der Stadt Speyer**

Abschlußbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 22785 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Diplom-Kaufmann Frank Dupré

Speyer, August 2007

C. Dupré Bau GmbH & Co. KG

Franz-Kirrmeier-Straße 17

67346 Speyer

Tel: 06232 / 29 55 44

E-Mail: wb@cdupre.de

**C. Dupré Bau GmbH & Co. KG
Franz-Kirrmeier-Straße 17
67346 Speyer**

**Ökologische und ökonomische Bilanzierung
einer optimierten Leitungshülle (begehbarer Querschnitt)
als monolithischer Ortbetontunnel am Beispiel eines
Infrastrukturkanals für Medienkabel und –leitungen
in der Stadt Speyer**

Abschlußbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 22785 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Diplom-Kaufmann Frank Dupré

Speyer, August 2007

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	22785	Referat	23	Fördersumme	49.683,00
----	--------------	---------	-----------	-------------	------------------

Antragstitel Ökologische und ökonomische Bilanzierung einer optimierten Leitungshülle (begehbare Querschnitt) als monolithischer Ortbetontunnel am Beispiel eines Infrastrukturkanals für Medienkabel und -leitungen in der Stadt Speyer

Stichworte Ressource, Wasser, Kommunen, Leitungen

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
12 Monate	19.07.2004		

Zwischenberichte

Bewilligungsempfänger Duprè Bau GmbH & Co. KG Franz-Kirrmeier-Straße 17 67346 Speyer	Tel 06232-295555
	Fax 06232-71066
	Projektleitung Herr Frank Duprè
Bearbeiter	

Kooperationspartner

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Begehbare Leitungsgänge gibt es schon seit 140 Jahren. Anfangs gemauert, später als konventionelle Stahlbetonkonstruktion oder Fertigteil sowie in jüngster Zeit auch aus Wellblech bzw. PE-HD. Seit dieser Zeit ist auch die prinzipielle Vorteilhaftigkeit dieser Erschließungsform grundsätzlich anerkannt. Aber alle diese unterschiedlichen Bauformen hatten jedoch den einen oder anderen spezifischen Nachteil, insbesondere – und dies gilt für alle bekannten Bauformen –, daß sie in der Anfangsinvestition zu teuer waren. Daher war es notwendig, der ökologischen und nachhaltigen Erschließungsform des begehbaren Leitungsgangs durch technische und kommerzielle Optimierung der baulichen Hülle zu einer weiteren Verbreitung zu verhelfen und zu diesem Zweck die dazu notwendigen Detailoptimierungen vorzunehmen.

- Finden der richtigen Betonrezeptur
- Ermittlung der richtigen Faserbewehrung (kein Stahl !)
- Art und Umfang der notwendigen Verdichtung des Betons
- Die Nachbehandlung
- Die Optimierung der Schalungskonstruktion
- Die Ausgestaltung der Fugenkonstruktion sowie
- Die Optimierung der wasserdichten Wanddurchdringung, um die Hausanschlüsse an den Kanal heranzuführen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Als Methoden werden angewandt

- Internetrecherche
- Literaturrecherche
- Expertengespräche

- Statische Untersuchungen
- Bau eines Pilotprojektes

Darauf aufbauend wird baubegleitend durch die produktionsspezifischen Feststellungen im Dialog mit den ausführenden Mitarbeitern und den verschiedenen Lieferanten die weitere Optimierung durchgeführt. Dabei wird insbesondere den ökologischen und ökonomischen Gegebenheiten Rechnung getragen.

Nach Abschluß des 1. Bauabschnitts werden dann die Erkenntnisse zusammengestellt und ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Das Pilotprojekt hat gezeigt, dass den unterschiedlichen Bauzuständen besonderes Augenmerk gewidmet werden muss. Zum einen ist der bei der monolithischen Bauweise kritische Übergang zwischen Wandansatz und Weiterbetonieren besonders Rechnung zu tragen, da sonst bei der notwendigen Verdichtung der Boden noch einmal in Bewegung gerät bzw. bei zu geringer Verdichtung an dieser Übergangsstelle eine weniger gute Verbundhaftung entsteht. Dieser Effekt ist von früher her auch unter dem Begriff „Frühstücksfuge“ bekannt. Weiter hat sich gezeigt, dass das Bauwerk recht bald verfüllt werden sollte, um die Bildung von thermischen Spannungsrissen zu vermeiden. Hier ist jedoch beim Einbau höchste Sorgfalt zu wahren. Des weiteren hat es sich als notwendig gezeigt, die Temperaturentwicklung im Beton einer besonderen Aufmerksamkeit zu unterwerfen, um die „antinomischen“ Ziele einer Frühausschalbarkeit ohne Bildung von Schwindrissen erfüllen zu können. Zu diesem Zweck wurde zum einen die Schalung teilweise isoliert, eine verfeinerte Nachbehandlungsmethode entwickelt und ein Betonreifecomputer angeschafft.

Um die Umsetzung all dieser Maßnahmen auf der Baustelle zuverlässig zu gewährleisten, wurde ein Qualitätshandbuch aufgestellt, dessen Einhaltung der Bauleiter durch permanente Überwachung garantieren muss.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Hier ist zum einen die Veranstaltung zusammen mit dem Bauforum Rheinland-Pfalz zu erwähnen und eine intensive Pressearbeit. Des weiteren wurde eine Domäne www.bauforum.rlp.de reserviert, aber noch nicht mit Inhalt gefüllt. Unter www.bauforum.rlp.de lassen sich jedoch Informationen abrufen. Ca. 40 Presseartikel sind bisher erschienen.

Fazit

Vordergründig waren eine Menge bautechnische Fragestellungen bzw. Probleme abuarbeiten, die jedoch die Machbarkeit grundsätzlich nicht in Frage stellten. Diese sind zum großen Teil in dem vorhergehenden Artikel beschrieben. Was die Risse angeht, so haben die Zweifel beim Projektpartner dazu geführt, dass man darauf bestanden hat, beim 2. Bauabschnitt den Kanal in bewehrter Bauweise auszuführen. Dies ist jedoch ein Irrweg und wird aufgrund der mittlerweile vorliegenden Statiken und Gutachten auch für Standardeinsätze nicht mehr wiederholt. Gegebenenfalls weiter zu optimieren ist der Fasereinsatz, falls aufgrund höherer thermischer Belastungen im Fall des Baues von Hochspannungstrassen dauerhaft Vorsorge gegen thermische Spannungsrisse geleistet werden muss. Im Fall einer Faserbewehrung kann der Produktivitätsvorteil der Bauweise ohne Einschränkung weiter genutzt werden. Der Forschungsaufwand wird dann darin bestehen, Nichtstahlfasern auf eine Erhöhung der Zugfestigkeit bei einem noch wirtschaftlichen Mischungsverhältnis zu optimieren. Stahlfasern hätten den Nachteil, dass von der Betonrezeptur abgewichen werden müsste, da die DIN 1045-1 für Stahlbeton einen Mindestgehalt von 240 kg Zement vorsieht, um den Korrosionsschutz zu gewährleisten. Die bautechnischen Fragestellungen und Optimierungen für die Nutzung des monolithischen Ortbetontunnel für kommunale Erschließungen konnte im Pilotprojekt entwickelt und im zweiten Bauabschnitt evaluiert werden.

Was noch weiterer intensiver Forschung und Umbesetzungsarbeit bedarf ist die organisatorische Optimierung des Systems. Im Gegensatz zu früheren Ansätzen halten wir hier den verantwortlichen Betrieb aus einer Hand für am zielführendsten und können uns dies sehr gut in Form eines Contracting/ÖPP-Modell vorstellen. Moderne Sanitärkonzepte, Stichwort Ecosan, dezentrale urbane Erschließung etc. gewinnen zunehmend an Bedeutung. Sie sind die Antwort auf die weltweit bestehende und immer größer werdende Wasserknappheit sowie vielfältige Hygieneprobleme. Leider werden hier in Deutschland immer nur vereinzelte Ansätze getestet. Für einen voll integrierten kompletten Einsatz bietet sich aufgrund der vielen zusätzlichen Leitungen ein Infrastrukturkanal geradezu an.

Als Fazit könnte man Professor Dietrich Stein zitieren, welcher sich intensiv mit dem Thema Infrastrukturkanal beschäftigt hat, der auf der Herbstfachtagung 2003 des Bauforum Rheinland-Pfalz in Kaiserslautern zum Thema Infrastrukturkanal etwa sinngemäß gesagt hat: Wer heute noch anders erschließt, versündigt sich an der Zukunft unserer Kinder. Warum diese „Sünde“ sich jedoch täglich wiederholt, lässt sich vielleicht am besten mit der Feststellung des Unternehmensberaters Roland Berger zusammenfassen, der gesagt hat: Wir haben in der Bundesrepublik kein Erkenntnis- sonder ein Umsetzungsdefizit. Hier eine Veränderung zu bewirken, bleibt Daueraufgabe.

INHALTSVERZEICHNIS

Projektkennblatt	
Inhaltsverzeichnis	S. 1
Verzeichnis von Bildern und Tabellen	S. 2
Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen	S. 3
Zusammenfassung	S. 4
Einleitung	S. 6
Hauptteil	S.8
Fazit	S. 33
Literaturverzeichnis	S. 34
Anhang	

Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Bilder:

Bilder ISK	Hauptteil	S.27–30
------------	-----------	---------

Tabellen:

Ressourcenverbrauch Baustoffe	Hauptteil	S.23
-------------------------------	-----------	------

Massen Baustoffe	Hauptteil	S.24
------------------	-----------	------

Massen Bauteile	Hauptteil	S.25
-----------------	-----------	------

Ressourcenverbrauch Bauteile	Hauptteil	S.26
------------------------------	-----------	------

Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

ISK	Infrastrukturkanal
ÖPP	heute gebräuchlich statt PPP – öffentlich-private Partnerschaft
PPP	Public-Private-Partnership
Contracting	Energie-Dienstleistung
InSinkErator	Küchenbeckenschredder
Moderne Sanitärsysteme	Auftrennung und getr. Behälter Braun-, Gelb- und Grauwasser
ZDB	Zentralverband Deutsches Baugewerbe
VHV	Vereinigte Hannoversche Versicherung
BVK	BundesVerband Kraftwerksnebenprodukte
PZ	Portlandzement
SFA	Steinkohlenflugasche
IZB	Informationszentrum Beton
H ₂ O	Wasser
ErzMan	Erzeugungsmanagement, euphemistisch für die Abschaltung von Windkraftanlagen
STB	Stahlbeton
C 35/45	Betondruckfestigkeit nach DIN E 206/1
to	Tonne
kW/h	Kilowattstunde
CO ²	Kohlendioxid

ZUSAMMENFASSUNG

Anhand der durchgeführten Recherchen wurde eine Konzeption erstellt; aufgrund derer haben wir u. a. eine Schalungsmaschine bestellt und im Rahmen des Projektes in Speyer zum Einsatz gebracht. Bei allen projektbegleitenden Schwierigkeiten in der Bauphase konnten Lösungswege für die Zukunft erarbeitet werden. Die erzielten Ergebnisse bestätigen sowohl was die Errichtung des Bauwerks als auch den späteren Betrieb angeht, die prinzipiellen technologischen und ökologischen Vorteile. Bezüglich des Bauwerks ergibt sich die Umweltrelevanz durch eine besonders Ressourcen sparende Bauweise, was insbesondere auf die Bauform, die Optimierung der Materialstärken den Wegfall des Bewehrungsstahls, sowie die Betonrezeptur zurückzuführen ist. Bezüglich des laufenden Betriebes hat der erste Bauabschnitt Hinweise gegeben, 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 Erfahrungen, insbesondere die Auswirkungen des unsensiblen Umgangs mit Zwischenbauzuständen hat dazu geführt, dass ein umfangreiches Qualitätshandbuch für die Baustelle erarbeitet wurde.

Die Empfehlung für das weitere Vorgehen ist dreigeteilt. Die bauliche Errichtung des Infrastrukturkanals kann unter Berücksichtigung der Erkenntnisse der Optimierungen des ersten Bauabschnittes als weitestgehend ausgereift angesehen werden. Die Durchsetzung der Erschließungsform stößt jedoch nach wie vor auf mentale Vorbehalte bei den klassischen Versorgern, daher werden bei Vergleichsrechnungen gerne nicht alle relevanten Kosten erfasst und gegenüber gestellt. Ganz generell erweist sich trotz der kostenoptimierten Bauweise das Mehrkostenargument nach wie vor als k. o.-Kriterium. Zukünftig sollte daher der ISK als PPP/Contracting-Modell durchgeführt werden. Hierbei würde der Grundstückskäufer die üblichen Hausanschluss- bzw. Baukostenzuschüsse bezahlen und die Restamortisation aus Durchleitungsentgelten bzw. aus dem Betrieb eines Arealnetzes erwirtschaftet werden. Für die Kommune selbst oder den Projektentwickler würden dann keine Kosten der technischen Erschließung mehr entstehen.

Was die Umweltrelevanz angeht, so kann diese über die sattsam bekannten Nachhaltigkeitsargumente hinaus durch eine Bündelung weiterer Möglichkeiten der Ver- und Entsorgung gesteigert werden. Eine Vakuumkanalisation macht in einem begehbaren Leitungsgang wesentlich mehr Sinn als bei einer Bodenverlegung. Mit ihrer Hilfe kann auch bei einer zweihüftigen Erschließung mit einer einseitigen Rohrführung und das bei vermindertem Durchmesser gegenüber der Schwemmkanalisation entwässert werden. Des weiteren lassen sich hiermit die Bioabfälle mit Hilfe eines InSinkErators wie er in Amerika millionenfach verbreitet ist, hygienisch entsorgen. Darüber hinaus kann dann am „End of the Pipe“ auf eine klassische Kläranlage verzichtet werden und der Kanalinhalt durch anschließende Vergärung für eine Kraftwärmekopplung genutzt werden. Der dadurch entstehende Strom und die Wärme kann durch entsprechende Leitungen via Infrastrukturkanal zurückgeführt werden. Wenn man den Ansatz der Brauchwassernutzung mittels Sammelzisternen und Brauchwasserleitung weiter optimiert, so lässt sich mit Hilfe des Infrastrukturkanals die Idee der dezentralen urbanen Erschließung optimieren und perfektionieren. Gerade für aufstrebende Entwicklungsländer würde dies eine hervorragende Möglichkeit bieten, sich aus dem Teufelskreislauf von

Trinkwasserknappheit und fehlender Hygiene zu befreien, insbesondere da die Systeme im Infrastrukturkanal ohne signifikante Mehrkosten auch abschnittsweise durch Nachrüstung verlegt werden können. So lässt sich dann das System schnell auf eine moderne Sanitärkonzeption aufrüsten.

Im Extremfall könnte dann aus dem Grauwasser Brauchwasser und aus dem Regenwasser Trinkwasser entstehen. Die Idee der Sammelzisterne könnte auf die Solarthermie übertragen werden und die gesammelte Energie der dezentralen Solarkollektoren könnte in einem aktiv wärmegeämmten Zentralspeicher gesammelt werden mit der Folge, dass über Solarthermie und den Wärmeertrag der Kraftwärmekopplung nicht nur die Brauchwassererwärmung sondern auch ein größerer Teil der häuslichen Heizung abgedeckt werden könnte.

Kooperationspartner in dem Pilotvorhaben war das Bauforum Rheinland-Pfalz, der ZDB, die VHV sowie das IZB. Der BVK hat großzügig mit Fachliteratur ausgeholfen.

EINLEITUNG

Zum besseren Verständnis scheint es mir sinnvoll, mit der Vorgeschichte zu beginnen.

Anfang der 90er Jahre hatte ich mich zum ersten Mal mit dem Thema „Begehbarer Leitungsgang“ beschäftigt. In dem ZDB-Ausschuss Umwelt und Technik wurde das Thema diskutiert. ÖPP war damals in Deutschland noch kein Thema, aber der Gedanke durch den Betrieb eines ISK zu kontinuierlichen Zahlungsströmen zu kommen, weg von der üblichen Zyklizität der normalen Bautätigkeit, war verlockend.

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. Diese Broschüre enthielt eine beeindruckende Aufzählung von Vorteilen dieser Erschließungsform.

In dem diesbezüglichen Kapitel waren jedoch konkret Mehrkosten der baulichen Hülle genannt, welche sich erst im Lebenszyklus amortisieren sollten.

Als die Realisierung unseres eigenen Baugebietes anstand, wurden die Erkenntnisse aufgefrischt. Die von unserem Ingenieurbüro seither verwandten modernen Bauverfahren aus Wellblech oder PEHD waren erstens zu teuer, zweitens nicht auftriebsicher, so dass ein gewöhnliches Stahlbetonkanalrohr ins Auge gefasst wurde. Die runde Form benötigte allerdings einen größeren Durchmesser, so dass die Erkenntnis gewonnen wurde, dem gegenüber mit einer Tunnelform Kosten sparen zu können. Damit schien eine Kostengleichheit gegenüber einer konventionellen Erschließung möglich und der Infrastrukturkanal wurde mit zur Auslobungsgrundlage eines mit der Stadt Speyer vereinbarten städtebaulichen Ideenwettbewerbs gemacht.

Bei der Realisierung wurde jedoch ein wesentlich höherer Fertigteilpreis als ursprünglich genannt angeboten. Bei der nunmehr nochmaligen, dieses Mal intensiveren Überprüfung einer Ortbetonlösung konnte ein vernünftiges Konzept und auch ein Hersteller gefunden werden, der die dafür notwendige Schalungsmaschine zu einem vertretbaren PreisLeistungsverhältnis liefern konnte. In der Zwischenzeit hatte sich der technische Leiter des Rohrherstellers als Rohrstatiker selbständig gemacht und statisch nachgewiesen, dass dieses Tunnelprofil 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 der Kostenvorteil der Ortbetonbauweise klar. Nunmehr musste noch die Akzeptanz der Partner bewirkt werden, 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 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 Optimierungsbedarf des Bauverfahrens und die dazu notwendigen Recherchen und Entwicklungen aus eigener Kraft alleine nicht zu stemmen waren. Aus diesem Grund wurde ein Antrag 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 insbesondere die Darstellung der umweltspezifischen Vorteile von großer Bedeutung. Darauf wird im weiteren Verlauf noch eingegangen werden.

Nach intensiven Internet-Recherchen wurde 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 auch trotz aller gefundenen Lösungsansätze auch am deutlichsten verbesserungsbedürftig. Das ging nicht nur über die Betonrezeptur, die Art des Betonierens, der Verdichtung, der Nachbehandlung, sondern auch über die Bauzustände nach der eigentlichen Herstellung hinaus.

Die aus den „Fehlern“ herausgearbeiteten Lösungsansätze wurden dann im 2. Bauabschnitt, der nicht Gegenstand des geförderten Projektes war, entsprechend optimiert.

Die Hausaufgabe lautete nun, eine Betonrezeptur zu finden, die die antinomischen Ziele einer frühen Grünstandsfestigkeit wegen der monolithischen Bauweise auf der einen, einer niedrigeren Hydratationswärme wegen der Rißbildung und eine schnelle Frühfestigkeit während des Ausschalen auf der anderen Seite vereinen sollte. Ja, das war laut Aussage führender Betontechnologen schlicht unmöglich.

Die Vielfalt der gefundenen Lösungsansätze legte es nunmehr nahe, nach patentamtlichem Schutz zu suchen. In einer ersten Runde wurde von 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 steht, wird diese nun unter Ausnutzung der einjährigen Priorität europaweit in die Wege geleitet. Wenn auch aufgrund der langen Vorlaufzeiten die flächendeckende Umsetzung in der Wohnbaulanderschließung noch etwas auf sich warten läßt, so sind Einsatzbereiche in der Industrie kurzfristig erwartbar; insbesondere da sie dort die Vorteile gegenüber der weit verbreiteten Leitungsbrücke ausspielen kann.

Hauptteil

Seit ziemlich genau 140 Jahren kennt man begehbare Leitungsgänge. Aber auch sie wurden danach 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. Nie kam es dazu, dass ein besonders günstiges standardisiertes Bauverfahren entwickelt wurde.

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 geht deutlich hervor, dass offensichtlich trotz der langen Zeitspanne die meisten Fragestellungen immer noch nicht zufrieden stellend gelöst 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, bei dem die grundsätzlichen Fragen, die bei den Leitungen in Versorgungskanälen bei den einzelnen Fachgebieten auftreten, das Wichtigste der gesamten Arbeit 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 Fragen – 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.

Aus unserer Sicht die 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.

Die Umweltfreundlichkeit ergibt sich zum einen aus direkten Effekten und zum anderen aus indirekten Effekten, gemeinhin auch als Nachhaltigkeit bezeichnet, denn jede Form von vermiedenen Ressourcenverbrauch dient in letzter Konsequenz

langfristig auch der Umwelt. Dieser Effekt lässt sich wiederum in zwei Bereiche aufteilen, zum einen die Nachhaltigkeit, die dadurch entsteht, dass durch das System selbst die Austauschhäufigkeit der verlegten Medien und die Umweltbeeinträchtigung deutlich reduziert wird und zum anderen aufgrund der Materialeffizienten und auf den Einsatz umweltfreundlich herzustellender Materialien bedacht ist. Obwohl jedem Laien die Vorzüge, insbesondere in Bezug auf Umweltfreundlichkeit und Nachhaltigkeit sofort einleuchten, sind es meistens die Techniker, die hunderterlei Vorbehalte vorbringen, warum so etwas riskant und/oder zu teuer etc. wäre. In der Organisationspsychologie spricht man von „Killerphrasen“.

Nun gilt es zum einen die Umweltverträglichkeit zu definieren und des weiteren eine Abgrenzung der Umweltverträglichkeit zwischen Einzelverlegung und der Verlegung in begehbaren Leitungsgängen aufzuzeigen.

Im Vergleich zur Einzelverlegung von Rohrleitungen und Kabeln, wo in einem erdverlegten System Lastaufnahme, Korrosionsschutz und Sicherheitsaufwendungen vereint sind, übernimmt die bauliche Hülle beim Leitungsgang vornehmlich die statische und Dichtheitsfunktion. Die Einzelleitungen sind nur auf die Lagerungs- und Betriebsbedingungen auszurichten.

Der Boden, als wesentlicher Teil des Ökosystems, erfährt durch Verlegung, nachhaltigen Betrieb und mögliche Havarien von Ver- und Entsorgungsleitungen eine Einschränkung seiner Funktion.

Die Ursachen der Bodenbelastung können luftgetragene Schadstoffe, verunreinigte Materialien, fremde Stoffe, stillgelegte bzw. gekappte Leitungen, Rückstände und/oder Abwasser sein. Speziell bei nachweislich undichten Rohrleitungen ist ein direkter Wirkungsbezug gegeben. Die Verlegung von Ver- und Entsorgungsleitungen in einem Leitungsgang unterscheidet sich von der Einzelverlegung durch die Trennung von Einzelmedien und Boden durch eine begehbare bauliche Hülle. Diese übernimmt primär die Dicht- und Tragfunktionen. Durch die räumliche Gestaltung (Anordnung eines Bedienganges) ist gleichzeitig die Möglichkeit der direkten und permanenten Kontrolle der Medienleitungen gegeben. Leckagen an Rohrleitungen und Emissionen an Kabeln im Leitungsgang erreichen die Sohle des Bauwerks in flüssiger oder fester Form bzw. können gasförmig im luftgefüllten Raum des Leitungsganges entweichen.

Bei der Einzelverlegung besteht zwischen Außenwandung der Leitung bzw. Kabelmantel und Boden ein direkter Kontakt. Wenige Rohrleitungssysteme verfügen über Leckortungs- bzw. Leckwarnsysteme, die Undichtigkeiten anzeigen und entsprechend der Größe des Schadens in jedem Fall Aufgrabungen notwendig machen.

Mit der Erneuerung von Leitungssystemen im innerstädtischen Bauraum ergibt sich der Vergleich der Inanspruchnahme von Bauraum bzw. des Bodens. Die gemeinsame Führung mehrerer Rohrleitungs- und Kabelsysteme in einem Leitungsgang schränkt die Inanspruchnahme des Bodens im Vergleich zur selben Anzahl von Systemen als Einzelverlegung prinzipiell ein. Unter der Voraussetzung, dass alle Medien innerhalb einer Trasse von einer Baumaßnahme betroffen sind und unter Annahme der Verwendung ähnlicher Verbausysteme für die offene Bauweise, verringert sich die Inanspruchnahme der Bodenschichten durch Aufgrabungen beim

Leitungsgang, je nach Tiefenlage und Verlegeschema. Mit dem Austausch von Bodenschichten mit Bettungs- und Verfüllmaterial ist eine Veränderung des Bodengefüges und des Bodenwasserhaushaltes verbunden (z. B. Vernässung, Auswaschung, Austrocknung). Hinzu kommt, daß bisher keine rechtliche Verpflichtung (Zuordnung zu Abfallgruppen nach KrW-/AbfG zur Beseitigung stillgelegter Leitungen besteht. Andererseits wird in der rechtlichen Diskussion, ob Leitungen „bewegliche Sachen“ oder „feste Verbindungen“ darstellen, das Zutreffen des Abfallbegriffes nicht ausgeschlossen. Beim Revitalisieren von kontaminierten Industriebranchen bringt der vorgenannte spezifisch geringere Flächenverbrauch auch eine Verminderung des zu entsorgenden kontaminierten Bodens mit sich, was ebenfalls ökonomische und ökologische Vorteile bietet.

Der zur Verfügung stehende Bauraum stößt damit an seine Grenzen. Im Leitungsgang dagegen ist die Auswechslung von Leitungen prinzipiell jederzeit möglich und wird per Nutzungsverordnung geregelt.

Für Städte in Bergbaugebieten treffen zusätzlich die Bedingungen der Setzungsgefahren durch den Bergbau zu, die durch die Trennung der statischen Funktion der baulichen Hülle und der Leitung im Leitungsgang ein prinzipiell höheres Sicherheitsniveau gegenüber dem Auftreten von Leckagen und Undichtigkeiten in Einzelleitungen darstellen. Diese Erkenntnis lässt sich selbstverständlich jederzeit auch auf aufgefüllte Grundstücke übertragen, insbesondere wenn aufgrund von unterschiedlichen Auffüllmassen keine gleichmäßige Verdichtung vorliegt. Der diesbezügliche Kostenvergleich allein hat bei unserem Speyerer Projekt ausgereicht, um die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit des Erschließungssystems Infrastrukturkanal bereits in der Investitionsphase nachzuweisen.

Im Zusammenhang mit durch Leckagen austretende Stoffe in den Boden und Verlagerung in das Grundwasser lassen sich prinzipiell gleiche Verursachungsfälle betrachten wie beim Boden.

Darüber hinaus gilt den Bäumen besonderes Augenmerk, die über ihre Wurzelräume von Leitungen und Leitungsgängen direkt betroffen sein können. Die Schutzbedürftigkeit von Bäumen ist in vielen Städten durch eine Baumschutzsatzung bzw. durch den Schutzstatus von Haus-, Park- oder Alleebäumen, Einzelgehölzen und Gehölzgruppen verankert. Hinsichtlich der Betroffenheit des Wurzelraumes kann zwischen Flach- und Tiefwurzlern sowie Übergangstypen unterschieden werden. Weiterhin von Interesse ist, ob es sich um Jung-, Alt- oder abgängigen Bestand handelt.

Zu den Hauptschäden an Bäumen zählen Wurzelverletzungen und veränderte Grund- und Schichtenwasserverhältnisse. Der Gefahr des Umsturzes bzw. Schäden an Stamm und Krone durch Baumaschinen während der Bauphase ist durch entsprechende Sicherheitsmaßnahmen vorzubeugen. Partieller Wurzelabriss, -faulung-, -vertrocknung oder -quetschung können dagegen zu einem negativen Langzeitverhalten führen, welches erst über mehrere Vegetationsperioden sichtbar wird. Auch Einwirkungen durch das Medium (z. B. Gas) können zum Absterben von Bäumen führen.

Ebenso bedeutungsvoll ist das Eindringen von Wurzeln über undichte Rohrverbindungen und rissförmige Schäden in die Leitungen. Neben dem

Schadensbild an der Leitung besteht der Umweltaspekt in der dadurch möglichen Leckage (Exfiltration in den Boden, Infiltration von Grundwasser in die Leitung). Bei der Behebung von Leitungsschäden wird der Schonung des Gehölzbestandes meist weniger Beachtung geschenkt.

Durch die kompakte Anordnung von Leitungen in Leitungsgängen und vor allem bei mittlerer Straßenlage wird generell weniger Wurzelraum in Anspruch genommen. Die kompakte Leitungsführung wird von vielen Stadtverwaltungen als eine wesentliche Forderung beim Erneuerungsprozess stadttechnischer Systeme angesehen. Für Einzelleitungen spricht die Möglichkeit der flexiblen, angepassten Verlegung (z. B. Kabel, Fernwärmeleitungen).

Schutzwürdige Stadtbiotope können beim Neubau oder der Sanierung von Einzelleitungen mit verminderten baulichen Einflüssen, beispielsweise grabenlose Bauverfahren, durch- bzw. unterquert werden. Ein Vergleich ist nur sinnvoll, wenn man die Einzelverlegung mehrerer Medien (Abwasser, Wasser, Fernwärme, Starkstrom, Telekommunikation) mit der gebündelten Anordnung im Leitungsgang vergleicht. So ist die Summe der Einflüsse beim Bau, der Sanierung oder Auswechslung von Leitungen im Leitungsgang offensichtlich geringer, da über Montageöffnungen die Bautätigkeit weitestgehend im Leitungsgang erfolgt.

Schäden an Baumwurzeln treten bei immer dichterem Belegung im Trassenraum recht häufig auf. Der kompakte Baukörper des Leitungsganges bietet die Möglichkeit, alle Medien im Trassenkorridor aufzunehmen und die Wurzelbestände im Randbereich öffentlichen Bauraums zu schonen. Auch ein Eindringen von Wurzeln, wie es beispielsweise bei Abwasserleitungen häufig vorkommt, ist beim Leitungsgang nahezu ausgeschlossen.

Durch die Möglichkeit Kontrolle, Wartung und Instandhaltung der Medien ohne zusätzliche Ausrüstungen im Straßenraum vorzunehmen, verlängern sich die Erneuerungsintervalle und somit die Zyklen baulicher Beeinträchtigungen. Damit stellt der Leitungsgang über die Nutzungsdauer der Leitungen die Bauweise mit den geringsten Aufgrabungen dar, die ebenso für die geringsten Emissionen stehen.

Ein wesentliches Kriterium für eine nachhaltige Entwicklung im städtischen Siedlungsgefüge stellt der Ressourcenverbrauch bzw. die Ressourcenintensität dar. Unter Ressourcenverbrauch werden hier der stoffliche und energetische Bedarf von der Gewinnung an Rohstoffen über die Vorfertigung und den Einbau/Transport bis zur Entsorgung von Rückständen verstanden (vgl. Prozesskettenmethode).

Vom Grundsatz erscheint der Ressourcenverbrauch je Medium bei der Verlegung im Leitungsgang durch eben diese zusätzliche bauliche Hülle, höher. Der Leitungsgang erweist sich dann als Ressourcen schonendes Ver- und Entsorgungssystem, wenn über einen Nutzungszeitraum von 150 Jahren oder mehr der Ressourcenverbrauch für die Medien und Materialien im Leitungsgang gegenüber der Einzelverlegung geringer ist und zwar mindestens um den Teil, der für die Errichtung und Unterhaltung des Leitungsganges notwendig ist.

Ein Vergleich des Ressourcenverbrauchs der unterschiedlichen Hüllen wird am Ende vorgenommen.

Darüber hinaus sind insbesondere bei Hochspannungskabeln Einsparungen bei den Medienleitungen gegenüber einer Erdverlegung denkbar.

Anfang der 90er Jahre hatte ich mich zum ersten Mal mit dem Thema „Begehbarer Leitungsgang“ beschäftigt. In dem ZDB-Ausschuß Umwelt und Technik wurde das Thema diskutiert. Ich war immer auf der Suche nach neuen Geschäftsfeldern und der Meinung, daß nicht nur der Bau sondern auch der Betrieb solcher Leitungsgänge eine vielversprechende Angelegenheit sei. Das Thema ÖPP war damals noch in den Kinderschuhen, aber der Gedanke auf diese Art und Weise zu kontinuierlichen Zahlungsströmen zu kommen, weg von der Zyklizität der normalen Bautätigkeit, schien verlockend.

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. Diese Broschüre enthielt eine beeindruckende Aufzählung von Vorteilen dieser Erschließungsform.

Hier wurden jedoch Mehrkosten durch die bauliche Hülle pauschal mit 1.800,00 DM genannt, ohne sich konkret mit den exakten Kosten zu beschäftigen. Durch die Literaturhinweise konnte ich mich dann etwas tiefer in die Materie einarbeiten. Als unsere betriebliche Konversion in Speyer virulent wurde, kam es dann zu einer ersten vertiefenden Betrachtung. Auf Grund der erwarteten hohen Grundwasserstände (zum damaligen Zeitpunkt war noch nicht bekannt, dass das Gelände erheblich aufgeschüttet wird), schienen die von dem Ingenieurbüro POET bisher verwandten modernen Bauverfahren Armco-Thyssen-Tunnelemente (verzinkte Wellblechsegmente) und PEHD-Rohre nicht geeignet. Als erste Idee blieb dann ein ganz gewöhnliches Stahlbetonrohr, wie es für die Entwässerungskanalisation benutzt wird.

Die ersten Sondierungsgespräche mit dem nächstgelegenen Rohrfertigteilhersteller, der Firma Schäfer Stahlbeton, machten jedoch schnell klar, daß ausgerechnet ab einem Durchmesser von 2,00 m ein Kostensprung einsetzte, da diese Firma nur bis zu diesem Durchmesser auf eine maschinelle Rohrfertigung eingerichtet war. Der mindest notwendige Durchmesser von 2,20 m konnte von dieser Firma nur schalungserhärtend (Einzelstücke) hergestellt werden.

Im Zuge der weiteren Gespräche kristallisierte sich eine Tunnelform, wie sie bereits bei den ersten Infrastrukturkanälen in der Mitte des 19. Jahrhunderts in London in Mauerwerk ausgeführt wurden, als optimal heraus. Ein Richtpreis für die nackte Lieferung dieses Fertigteils von ca. 550,00 DM/lfm im Vergleich zu 950,00 DM/lfm für das Betonrohr ließ die Lösung des Problems greifbar werden. Auf dieser Basis war die damals durchgeführte Vergleichskalkulation in Ortbetonbauweise trotz einem unschlagbar günstigen Schalungsangebot aus der Türkei gerade einmal kostengleich.

Das ins Auge gefasste Ziel einer Kostengleichheit zur konventionellen Erschließung schien möglich. Diese wurde von uns angestrebt, da die vielfältigen Diskussionen gezeigt hatten, dass niemand wirklich bereit war, allfällige Mehrkosten trotz der bekannten vielfältigen Lebenszyklusvorteile aufzuwenden. Die Abwehr dieses k. o.-

Arguments war schon deswegen wichtig, weil wir immer im Hinterkopf hatten, diese Erschließungsform auch über das eigene Bauvorhaben hinaus anzuwenden.

Auf dieser Basis wurde also erst einmal weiter geplant. Um die vielfältigen Bedenken der Behörden zu zerstreuen, wurden die Stadtwerke Speyer als Partner mit ins Boot genommen. Der Partner bestand darauf, zuerst einmal den ersten Bauabschnitt als Pilotphase durchzuführen mit der Maßgabe, eine Entscheidung bezüglich der weiteren Vorgehensweise erst nach dem erfolgreichen Abschluss dieses Pilotvorhabens festzulegen.

Als das Projekt dann in die Zielgerade einmündete, forderte der Fertigteilhersteller deutlich mehr als den damals genannten Schätzpreis. Im Nachhinein hat sich das auch erklären lassen.

Der ursprüngliche Preis war kalkuliert auf der Basis einer maschinellen Herstellung, was zu einer Produktion von 17 Elementen à 2,00 m Höhe, 1,60 m Breite und 2,00 m Länge am Tag geführt hätte. (Im Gegensatz zum Rohr ist diese lichte Höhe bei einem Tunnelprofil ausreichend). Der Ausgangspunkt der Angebotskalkulation war jedoch wiederum die Produktion als schalungserhärtendes Fertigteil, was zu einer Stückzahl von maximal 2 Stück mit einer Schalung pro Tag geführt hätte und natürlich die Produktionskosten erheblich in die Höhe trieb.

Da durch diesen Tatbestand eine Fortführung über den ersten Bauabschnitt hinaus mehr als in Frage stand, hatte mich der Ehrgeiz gepackt, über eine Optimierung der Ort betonherstellung doch noch zu einem konkurrenzfähigen Kostenniveau zu kommen. Die vertiefende Betrachtung zeigte darüber hinaus weitere erhebliche Nachteile einer Fertigteilkonstruktion auf.

Im Zuge der Umstellung von Fertigteil auf Ort beton wurde das lichte Innenmaß der Breite auf 1,75 m erhöht, was sich im Nachhinein aus vielerlei Gründen als segensreich erwiesen hat.

Durch intensivere Suche war es nunmehr möglich, fast 20 Anbieter von potentiell geeigneten Schalungen in Deutschland, Österreich, der Schweiz, Italien, Holland, Frankreich, Türkei sowie in den USA zu finden. Ein weiterer Riesenschritt war getan, als nachgewiesen werden konnte, dass die gewählte Bauform ohne Stahlbewehrung auskommt.

Fertigteile genießen eine hohe Qualitätsanmutung aufgrund ihrer Oberflächenqualität. Bei den Argepartnern musste nun erst einmal die Angst bekämpft werden, dass ein Ort betonbauwerk eine völlig inakzeptable Oberflächenqualität aufweisen würde. In meiner Naivität schien mir das eigentlich doch ganz leicht aus der Welt zu räumen. Schließlich wollten wir ja auch mit einer Stahlschalung arbeiten und Ort betonkanäle gibt es doch in Hülle und Fülle.

Tja, aber hier in der Region baut niemand mehr welche. Aber Dank meines bundesweiten Netzwerks war es dann möglich herauszufinden, dass die Stadt Köln nach wie vor eine Hochburg von Ort betonkanälen ist.

Also wurden Kontakte hergestellt zur Stadtentwässerung und auch eine Besichtigung arrangiert. Dieser Kontakt förderte erstaunliche Erkenntnisse zu Tage. Ja, man habe nichts gegen Fertigteilkanäle, allerdings würde es kaum jemand wagen, solche

anzubieten, da die hohen Qualitätsanforderungen der Stadtentwässerung Köln dazu führen würde, dass round about die Hälfte der unbewehrten Fertigteile wieder vernichtet werden musste, da sie dies eben nicht erfüllten.

In Köln bestand man überall dort wo es ging, auf einer bewehrungslosen Herstellung, weil sich diese als wesentlich dauerhafter herausgestellt hatte. Fertigteile sind darüber hinaus trotz der hohen Betonqualitäten durch das Frühausschalen von vielen mit dem bloßen Auge kaum sichtbaren Mikrorissen durchzogen, ähnlich den Krakelüren alter Meister. Die Ortbetonkanäle wurden jedoch mit einem Trasshochofenzement hergestellt, der aufgrund seiner geringen Hydratationswärmeentwicklung rissfrei hergestellt werden kann.

Der Fluch der guten Tat: Auf Grund des daraus resultierenden langsamen Abbindens waren riesige Auftriebskräfte bei der Schalung zu bewältigen und darüber hinaus Ausschalungsfristen von mehreren Tagen zu beachten. Dies und ein weiterer Grund, warum die mittlerweile von uns präferierte monolithische Ausführung in Köln schon seit Jahrzehnten nicht mehr angewandt wird, war die Tatsache, dass man dort ausschließlich mit einer Innenschalung arbeitete und als Außenschalung den Verbau benutzte. Die getrennte Fertigung von Boden und Kalotte hatte bei dieser Variante nicht unerhebliche Kosteneinsparungen beim Verbau zur Folge.

Eine weitere interessante Erkenntnis war, dass man durchaus über Jahrzehnte Erfahrung darin gesammelt hatte, dass Baulängen von 15 m zuverlässig ohne Trennrisse ausgeführt werden konnten. Die Theorie hätte solche im Abstand von 40 cm (klein) bzw. 5 m erwarten lassen. Bei Schalungslängen von 20 m sei es allerdings schon durchaus vorgekommen, dass die Betonierabschnitte einfach in der Mitte durchgerissen seien.

Die Hausaufgabe lautete nun, eine Betonrezeptur zu finden, die die antinomischen Ziele einer frühen Grünstandsfestigkeit wegen der monolithischen Bauweise auf der einen, einer niedrigeren Hydratationswärme wegen der Reißbildung und eine schnelle Frühfestigkeit wegen des frühen Ausschalens auf der anderen Seite vereinen sollte. Ja, das war laut Aussage führender Betontechnologen schlicht unmöglich.

Bei dem früheren Kostenvergleich war eine Ortbeton-Schalungslänge von 6 m untersucht worden und eine absetzige Bauweise, nämlich zuerst den Boden und in einem zweiten Schritt das Gewölbe zu betonieren. Die nunmehr angestrebte Lösung, 15 m monolithisch zu betonieren, bedeutete einen Quantensprung in der Produktivität, das heißt die Möglichkeit 30 m in 2 Tagen herzustellen statt in 10 Tagen. Dieses Ziel machte es erstrebenswert, die Quadratur des Kreises beim Betonrezept zu finden.

Aus diesen allgemeinen Ansätzen heraus und den vielfältigen Literaturfundstellen war die Fragestellung abzuleiten, wie man nun hin zu einer kostengünstigen Leitungshülle kommen könnte. In iterativen Schritten konnte dieses Problem gelöst werden.

Die richtige Betonrezeptur, welche wie schon aufgeführt zum eine frühe Grünstandsfestigkeit aufweisen sollte, um das monolithische Betonieren ohne plastische Verformung des Bodens zu bewirken. Des weiteren eine frühe

Mindestdruckfestigkeit, um das frühe Ausschalen zu gewährleisten und das alles ohne eine übermäßige Temperaturentwicklung zu generieren, um Schwindrisse, Zwängungen etc. zu vermeiden.

Die in Köln vorgefundene Betonrezeptur löste jedoch nur die letzte Problematik. Im Gegenteil, der Beton war so lange flüssig, dass der Schalungsauftrieb ein wesentliches zusätzliches Problem darstellte. Ausgeschalt werden konnte erst nach mehreren Tagen aufgrund der atemberaubenden Festigkeitsentwicklung. Nach tagelangen Internetrecherchen, Literaturlauswertungen und Expertengesprächen wurde eine Rezeptur, die nahezu zu gleichen Teilen aus Portlandzement und Flugasche bestand, ausgetüftelt. Der Zementgehalt lag allerdings deutlich unter den Mindestzementgehalten nach DIN 1045-1. Dies war jedoch insofern ohne Belang, da es sich hier um eine Norm für Stahlbeton handelt und unser Bauwerk ja unbewehrt gebaut werden sollte.

Im Labor eines Lieferanten von Flugasche konnten entsprechende Rezepturen getestet werden und diese wiesen viel versprechende Ergebnisse aus. Weitere Erkenntnisse konnten dann erst in der praktischen Erprobung gesammelt werden. Die Suche nach einer Faserbewehrung war von der Erkenntnis geprägt, dass es Deutschland zumindest keinerlei belastbaren Erkenntnisse über die Eignung von Glas- oder Kunststoff- oder sonstigen nicht metallischen Fasern als statische Bewehrung gab.

Da die statischen Berechnungen eine solche Notwendigkeit auch nicht ergaben, konnte sich die Anwendung auf die Rissebeschränkung bzw. -vermeidung im Aushärtungsprozess beschränken. Die gewählten Polypropylenfasern in einer entsprechend austarierten Mischung verschiedener Längen hatte diese Funktion insbesondere bei Estrichen bereits vielfach bewiesen. Darüber hinaus fand sich in der Literatur der Hinweis auf den Effekt einer „inneren Nachbehandlung“, d. h. aufgrund der riesigen Oberfläche der Fasern, die marginal mit Wasser benetzt wurde, konnte dieses Oberflächenwasser im Laufe des Aushärtungsprozesses an den Beton zurückgeben.

Die nächsten Untersuchungspunkte, Art und Umfang der Verdichtung sowie die Nachbehandlung lassen sich nicht von der Schalungskonstruktion trennen, deswegen komme ich bei dem Punkt „Optimierung der Schalungskonstruktion“ darauf wieder zurück bzw. bei den praktischen Erkenntnissen.

Die ursprüngliche Abwägung wurde bereits in einem frühen Projektstadium zugunsten der Ausführung als Fertigteilkonstruktion anstatt in Ortbeton vorgenommen. Zu diesem Zeitpunkt war die Bauform bereits optimiert und es hatte auf dieser Basis ein günstiges Fertigteilangebot vorgelegen. Die damals alternativ untersuchte Ortbetonvariante beruhte noch auf der Basis der konventionellen Vorgehensweise – getrenntes Betonieren des Bodens und dann am nächsten Tag der aufgehenden Bauteile. Aufgrund der üblichen Anordnung einer rißbeschränkenden Fuge alle 6 m war auch die Schalung nur so lang. Die sonstigen bautechnischen Probleme, die sich in diesem Zusammenhang ergeben hätten, wurden nicht weiter beleuchtet, da die kursorischen Untersuchungen in etwa Preisgleichheit mit der zu dem Zeitpunkt noch günstigeren Fertigteilvariante ergaben. Im Vergleich zu dieser noch nicht optimierten Ortbetonvariante schien die Fertigteillösung auch vom Handling und Bauablauf her vorteilhafter.

Diese Ausgangslage änderte sich erst dann schlagartig, als kurz vor Ausführungsbeginn der Fertigteillieferant sein ursprüngliches Angebot fast verdoppelte, wie bereits erläutert. Nach einer umfangreichen Literatur und Internetrecherche kristallisierte sich die Möglichkeit heraus, den ISK einstückig zu produzieren. Die klassische Methode der Tunnelbauer mit einer so genannten Fullroundschalung scheiterte jedoch an den damit verbundenen Auftriebsproblemen (siehe Ortbetonkanäle in Köln).

Der nächste Lösungsansatz war eine monolithische Schalung, die im Boden ein Stück weit offen ist und bei der der Betoniervorgang zwischen Boden mit Wandansatz und dem aufgehenden Bauwerk – wenn auch nur kurz – unterbrochen wird.

Auf Grund der Erkenntnisse aus Köln, dass bei bewehrungsfreier Bauweise die Gefahr vertikaler Trennrisse erst ab einer Baulänge des Betonierabschnitts von 20 m virulent ist, wurde nunmehr eine Schalungslänge zwischen 10 – 17,5 m anvisiert.

Auf der Basis der bis dahin gewonnenen Erkenntnisse wurde dann eine Ausschreibung an nahezu 20 Firmen auf der ganzen Welt verschickt.

Davon gaben fast die Hälfte ein Angebot ab. Davon wiederum war immerhin die Hälfte ernsthaft zu gebrauchen. Nach der ersten eingehenden Prüfung mussten jedoch aus preislichen, liefertechnischen oder technischen Gründen die meisten aus dem Wettbewerb ausscheiden. Am Schluss ging es dann zwischen zwei Anbietern in die Endrunde. Die Auswertung der vielen Angebote hatte natürlich auch eine Vielfalt von möglichen Varianten und Variationen eröffnet, die aufgrund der bis dahin fehlenden praktischen Erfahrung erhebliche Unsicherheiten hinterlassen hatten. Insbesondere wegen der kommerziellen Unsicherheiten des Projektes waren natürlich alle Kosten steigernden Optimierungen mit Fragezeichen zu versehen:

- 10 m oder länger?
- dünne oder dicke Schalhaut?
- manuelles oder hydraulisches Ein- und Ausschalen?
- eigenes Fahrwerk oder Verziehen mit Winde bzw. Baumaschine?
- Innen- oder Außenrüttler?
- wenn Außenrüttler kleine oder große?
- eher mehr oder weniger?

Nach Abwägung aller technischen, preislichen und liefermäßigen Gesichtspunkte wurde dem Schweizer Tunnelschalungshersteller Bernold-Ceresola der Auftrag erteilt. Auch nach der Auftragserteilung wurde ständig an der Optimierung der Schalung weiter gearbeitet. Dies geschah in unzähligen Telefonaten, mehreren Besuchen der zuständigen Mitarbeiter der Firma Bernold in Speyer sowie einem Besuch von mir an dem Firmensitz des Herstellers in der Schweiz. Trotz dieser vielfältigen Bemühungen stellte sich während des praktischen Betriebs noch einiges an Unvollkommenheit heraus. Die notwendigen Nachrüstungsarbeiten kosteten ca. 30 – 40.000 €, wobei schon allein aus technischen Gründen nicht alles nachgerüstet werden konnte. Auf die Details wird im einzelnen noch eingegangen. Da der Hersteller laut eigener Aussage auch kräftig bei diesem Projekt draufgelegt, kann man davon ausgehen, dass eine neue Schalung, die allen Anforderungen gerecht wird, 200.000 €, also das Doppelte des seinerzeitigen Preises kosten wird. Da die Firma offensichtlich auch bei anderen Projekten kräftig zugesetzt hat, wurde sie in

der Zwischenzeit liquidiert. Die Fertigungszeichnungen konnten jedoch gesichert werden.

Um einen Eindruck über die Komplexität einer solchen Schalungsmaschine zu bekommen, habe ich in der Anlage das Inhaltsverzeichnis der Betriebsanleitung beigelegt. Die Statik umfasst immerhin auch 77 Seiten, davon finden sich das Inhaltsverzeichnis und die Vorbemerkung ebenfalls in der Anlage.

Die Betonrezeptur, welche die bereits beschriebenen positiven Eigenschaften aufweist, hat sich jedoch bei kaltem Wetter als wenig reaktionsfreudig gezeigt. Um der möglichen Variante, mehr Zement zuzugeben, möglichst wenig nachgeben zu müssen, wurde die Schalung mittlerweile von außen komplett isoliert. In Skandinavien gibt es bereits seit langem positive Erfahrungen mit isolierten Schalungen im Winter. Eine Schalung auch im Sommer zu isolieren, hat bisher noch niemand probiert. Selbst in skandinavischen Wintern kann mit Hilfe der isolierten Schalung und vorgewärmten Beton sogar früher ausgeschalt werden als im Sommer. Bei den üblichen Betonrezepturen würde es den Beton in einer isolierten Schalung womöglich zerreißen. In Verbindung mit dem hohen Flugascheanteil wirkt sich die Isolierung eben auch im Sommer positiv aus, wobei ganz wichtig ist, dass direkt beim Ausschalen lückenlos eine Isolierfolie über das Bauwerk gelegt wird. Gegebenenfalls ist zusätzlich auch noch geringfügig mit Wasser zu berieseln. Das Bauwerk darf auf keinen Fall einen Temperaturschock bekommen. Damit innen keine Abkühlung eintritt, sind die Schalung und dann auch auf der anderen Seite beim Bauwerk die Öffnungen zu verschließen, damit es nicht zu einem Durchzug kommt. Bei extremer Kälte könnte von innen auch noch zusätzlich beheizt werden. Die Betontemperaturen werden mit Hilfe eines speziellen „Betonreifecomputers“ an drei verschiedenen Stellen gemessen, um die für die Qualität sowie die gewünschten Arbeitsergebnisse notwendigen oberen und unteren Temperaturschranken zuverlässig einzuhalten. Der bisher verwendete Fasermix aus unterschiedlich langen Polypropylenfasern hat die gewünschte Rissvermeidung zusammen mit der Betonrezeptur zuverlässig erfüllt.

Bei der Verdichtung des Betons hat sich mit den ausgewählten 42 Druckluftschalungsrüttlern, welche auf der Innenseite der Innenschalung angeordnet sind, lediglich in dem Übergangsbereich von Wandansatz zu Wand ein Problem ergeben. Hier ist es absolut notwendig, gemäß dem neu entwickelten Qualitätshandbuch die nötige Betonkonsistenz und die optimale Rütteldauer zum richtigen Zeitpunkt zu wählen. Für den Fall der mangelhaften Verdichtung kommt kein monolithisches Bauwerk zusammen, was für die Stabilität der unbewehrten Bauweise aber unbedingt erforderlich ist. Auf der anderen Seite besteht immer die Gefahr, dass die wegen des Auftriebs im Boden offene Schalung bei zu heftiger Verdichtung dazu führt, dass sich der Betonboden wieder fluidisiert und nach oben steigt. Man kann das Phänomen zwar in den Griff bekommen, aber Optimierungen sind hier durchaus noch denkbar.

Die Nachbehandlung außen erfolgt durch die Thermomatte zum einen 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. Mit den konventionellen Matten kann eine nahtlose Abisolierung des Baukörpers im Zuge des Ausschalens nicht bewerkstelligt werden. Die sowohl für die ökologische als auch für die ökonomische und technologische Bauweise optimierte Wandstärke von lediglich von 20 cm würden in einer weniger

schlanken Bauweise anderenfalls die Entropie in fataler Weise negativ beeinflussen. Schon seit den 40er Jahren gibt es Bemühungen, die Betonoberflächenqualität durch textile Schalungsapplikationen zu verbessern.

Die dazu heutzutage üblicherweise eingesetzten Gewebe sind nur sehr schwierig an der Schalung zu befestigen und kommen daher üblicherweise ausschließlich dort zum Einsatz, wo allerhöchste Anforderungen insbesondere an die Abrasion der Betonoberfläche gestellt werden. Es ist uns gelungen, durch eine Kombination dieser Textilien mit einer unterliegenden Gitterfolie einen zusätzlichen Effekt zu erzielen. Das nackte Drainagevlies übt lediglich die Funktion aus, Überschusswasser, das beim Verdichten aus dem Betongemisch freigesetzt wird, abzuleiten. Im Falle einer standardmäßig vorliegenden (insbesondere hier bei einer Stahlschalung) nicht saugenden Schalung führt das dazu, dass sich die Wassertropfen an der Oberfläche sammeln und kleine Löcher in der Betonoberfläche, so genannte Lunker hinterlassen, da sie dann nach einer gewissen Zeit verdunsten.

Bei der von uns gewählten Anordnung kann sich das Wasser in der Gitterfolie sammeln und wird dann im Laufe des weiteren Hydratationsprozess als Nachbehandlungsfeuchtigkeit wieder an die Betonoberfläche zurückgegeben. Durch eine eigens gewählte Befestigungsanordnung muss die Nachbehandlungsfolie zum Ausschalen nicht abgenommen werden und sie ist nach dem Wiedereinschalen automatisch an ihrem notwendigen Platz. Durch die spezielle Anordnung kann auch die Einsatzhäufigkeit des Vlies gegenüber der üblichen Anwendung deutlich erhöht werden. Des weiteren ergibt sich durch die riesige Oberfläche der Polypropylenfasern, die sich ebenfalls mit geringfügigen Wassermengen an der Oberfläche benetzen, eine Art innere Nachbehandlung.

Die Optimierung der Schalungskonstruktion war eine spannende Aufgabe. Eine 6 m lange Stahlschalung, bei der Boden und aufgehendes Bauteil getrennt betoniert wurden, war einfach und preiswert, aber von der Produktivität und Qualität her völlig inakzeptabel. Durch die Trennung der Betonage wären auch zusätzliche Fugen entstanden, die wiederum speziell mittels eines Fugenbleches oder Fugenbandes hätten gedichtet werden müssen, was bei unbewehrter Bauweise völlig unerprobt ist. Bei bewehrter Bauweise ist es üblich, alle 5 – 6 m eine Arbeitsfuge anzuordnen oder mindestens eine Scheinfuge vorzusehen. In den Zeiten, in denen noch häufiger auch bewehrte Ortbetonsammler gebaut wurden, kamen von daher Schalungslängen bis zu 30 m mit entsprechender Anordnung zum Einsatz. In unserem speziellen Fall hatten wir uns aufgrund der Erfahrungen der Stadt Köln und aus Produktivitätsüberlegungen in letzter Konsequenz auf eine Schalungslänge von 15 m festgelegt, wobei Schalungslängen zwischen 10 und 17,5 m untersucht wurden. Die einstückige Bauweise mit Hilfe einer so genannten Full-round-Schalung vorzusehen, wäre an den Problem gescheitert, die immensen Auftriebskräfte auf der Baustelle mit vertretbarem Aufwand in den Griff zu bekommen. Der Kompromiss, eine monolithische Bauweise vorzusehen, erfordert jedoch eine sehr sensible Vorgehensweise beim Betonieren. Darauf ist an anderer Stelle schon Bezug genommen worden. Bei der spezifischen Kölner Betonrezeptur hat der Einsatz von innen und unten offenen Schalungen dazu geführt, dass nach dem Betonieren des Bodens diese Öffnung nachträglich mit Brettern geschlossen werden musste, da sonst ein Weiterbauen nicht möglich gewesen wäre.

Die weitere Frage bezog sich auf die technische Qualität der Schalungen. Hersteller, die ursprünglich mehr aus dem Kanalbau kamen, hatten hier relativ leichte Stahlkonstruktionen vorgesehen, welche dem Grunde nach händisch bedient werden, insbesondere zum Ein- und Ausschalen. Die dünne Schalhaut, die aus Gewichtsgründen dafür notwendig war, spielt im konventionellen Kanalbau nicht so die große Rolle, da die Schalungen meistens objektspezifisch angefertigt und abgeschrieben werden. Unsere Intension ging jedoch dahin, in dieser standardisierten Bauweise eben nicht nur ein Projekt durchzuführen und von daher war uns der Ansatz der aus dem Tunnelbau herkommenden Hersteller eine starke Stahlhaut zu verwenden, sehr sympathisch.

Damit musste dann allerdings auch gleichzeitig die Entscheidung gefällt werden, den Ein- und Ausschalvorgang hydraulisch durchzuführen, da aufgrund der erhöhten Massen eine händische Betätigung ineffektiv geworden wäre. Der „Sparkompromiss“ dafür auf Fahrwerke zu verzichten, erwies sich jedoch als nachteilig. Im Nachgang wurde die Außenschalung mit einem elektrischen Fahrwerk ausgestattet. Der üblicherweise hydraulische Antrieb hätte ein zweites Aggregat erfordert, da aufgrund der Ein- und Ausschalvorgänge sonst bis zu 30 m lange Hydraulikleitungen von dem an der Innenschalung angeordneten Hydraulikaggregat notwendig gewesen wären, was im rauen Baustellenbetrieb sicher ständig zu Problemen geführt hätte. Insbesondere auch für die Umwelt, wenn die Schalungsmaschine über ihre eigene Hydraulikschläuche gefahren wäre.

Das Vorziehen der inneren Schalung mit Baustellenmitteln ist nicht ganz so aufwendig, so dass zunächst versucht wird, auf eine Nachrüstung der Innenschalung mit einem Fahrwerk zu verzichten. Für Folgeprojekte wäre jedoch die Ausstattung mit einem Hydraulikfahrwerk bei der Innenschalung insoweit weniger problematisch als dafür bereits das Hydraulikaggregat zur Betätigung der Ein- und Ausschalzyylinder vorhanden ist.

Weitere Aufgabenstellungen waren die technische Auswahl und Anordnung der Druckluftschalungsrüttler in Verbindung mit der Luftzufuhr, Luftaufbereitung und Rüttlersteuerung. Dies ist schon deshalb wichtig, da die Gewalt dieser Schalungsrüttler so groß ist, dass das Rütteln der leeren Schalung innerhalb von kürzester Zeit zu deren Zerstörung führen würde. Daraus kann man messerscharf schließen, dass das nachträgliche Erregen von bereits im Abbindeprozeß befindlichen Bauteilen, deren Qualität nicht zwingend steigert.

Eine weitere interessante Aufgabenstellung war die Befestigung des Drainagevlieses an der Innenschalung dergestalt, dass es eben beim Ein- und Ausschalen automatisch die Schalungsbewegungen nachfährt, ohne beim Ausschalen zu zerreißen und trotzdem beim Einschalen wieder straff an der richtigen Stelle zu sitzen. Die Ausbildung der Fuge zwischen zwei Betonierabschnitten schien dagegen trivial zu sein. Hierfür hatten sich herkömmliche Arbeitsfugenbänder in der einfachsten Ausführung aus PVC jahrzehntelang bewährt. Die Schalungen im Tunnelbau hatten üblicherweise in ihrer Stirnschalung eine Aufnahmetasche, in der dieses Fugenband lagerichtig und unverrückbar verwahrt werden konnte. Aber Fluch der guten Tat war, dass die jenseits des mittigen Schlauches angeordnete Flanke aufgrund der fehlenden Bewehrung nirgendwo gesichert werden konnte. Nach einigen Fehlschlägen konnte jedoch hier eine baustellengerechte Lösung gefunden werden.

Für den notwendigen Funktionsabstand dieses Fugenbandes zwischen zwei Betonierabschnitten sorgt eine vor dem Weiterbetonieren aufgeklebte zweiteilige Styroporschablone. Es ist eine Geschmacksfrage, ob man den inneren Teil des Styropors nach der Bauphase entfernt oder belässt. Was die äußere Schablone angeht, so sichert sie durch ihr Verbleiben einen gewissen Schutz der Fuge, weil z. B. eindringende Kieselsteine die notwendigen Spielräume bei etwaigen thermisch bedingtem Ausdehnen der Betonkonstruktion die Dehnungsmöglichkeit des Fugenbandes, die 300 % beträgt, beeinträchtigen würde. Wenn man ganz sicher gehen will, kann man die Fuge von außen auch zusätzlich durch eine Folie, Dachpappe etc. schützen.

Insgesamt ließ sich das Bauprojekt im 1. Bauabschnitt relativ problemlos abwickeln. Negativ war jedoch, dass durch die Verzögerung der Lieferung der Schalungsmaschine die Betonage bis in den Dezember lief. Da zu diesem Zeitpunkt die Schalung noch nicht isoliert war (Erkenntnis), konnte nach dem Oktober die Zielsetzung, jeden Tag einen Schuss zu betonieren, nicht mehr erfüllt werden, da der Beton zu spät ansteifte. Da der Bauleiter in dem Umgang mit dem Betonreifecomputer noch nicht geübt war, konnte auch dieser nicht zu einer exakten Prognose des richtigen Ausschalzeitpunktes herangezogen werden. Beim ersten Mal Ausschalen wurde durch eine Unachtsamkeit eine Kante des Bauwerks abgedrückt. Dieser deutliche Hinweis, dass bei einer unbewehrten Bauweise besondere Sorgfalt bei den Bauzwischenständen unbedingt gewahrt sein muss, wurde vielleicht nicht ernst genug genommen. Wie bereits erwähnt, ist unser Baugebiet aufgrund der Topografie und der Forderung des Stadtplanungsamtes nachträglich noch um bis zu 2,00 m aufgeschüttet worden. Das bedeutet, dass eine klassische Baugrube eigentlich nur andeutungsweise bestand und dass aufgrund verschiedener anderer projektbedingter Umstände die Überschüttung des Bauwerks erst ein $\frac{3}{4}$ Jahr später erfolgte. Lediglich an einer Stelle, nämlich dort wo der gesamte Baustellenverkehr darüber geführt werden musste, fand die Überschüttung sofort statt. Dies war dann auch später die einzige Stelle, an der keine Risse vorgefunden wurden. Das Bauwerk war den ganzen Sommer 2005 ungeschützt der Sonneneinstrahlung ausgesetzt, was aufgrund der relativ niedrigen Innentemperaturen zu Temperaturunterschieden von mindestens 30° zwischen Innen und Außen geführt hat. In der Folge kam es zu thermischen Spannungsrissen. Untersuchungen der Fachvereinigung Betonrohre hatte dieses Phänomen bei werksproduzierten Kanalrohren bereits in den 70er Jahren ausfindig gemacht. Dabei muss man bedenken, dass diese Rohre meist im kleiner im Durchmesser waren und aufgrund der kurzen Länge sicherlich der Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen nicht so groß war. Die Betonrohrindustrie hat sich dann damit geholfen, dass die Rohre im Scheitel weiß gekalkt wurden bzw. von der Ausrichtung nach Himmelsrichtung so gelegt wurden, dass zumindest außen die Belastung gleichmäßig ist, indem die einseitige Besonnung nur einer Rohrseite vermieden wurde. Die daraus notwendigen Schlüsse wurden in das Baustellenhandbuch eingepflegt, nämlich dass die nach unserer Schalungsoptimierung vorgesehene Thermofolien bis zur frühzeitig zu erfolgenden Verfüllung auf dem Bauwerk verbleiben muss. Obwohl es für dieses Rissephänomen eine nachvollziehbare und sehr plausible Erklärung gibt, hat unser Arge-Partner darauf bestanden, dass der Kanal von innen ausgesteift wird. Zu diesem Zweck wurden im Stollenbau übliche Profile eingebaut. Statische Untersuchungen haben jedoch eindeutig ergeben, dass selbst ohne die ebenfalls erfolgte kraftschlüssige Verpressung der Risse der ISK standsicher ist.

Ein weiterer, aber nicht so genau nachzuweisender Umstand ist in der sorglosen Verdichtung des Arbeitsraumes zu sehen. Dieser muss zukünftig gleichmäßig und lagenweise bei schonender Verdichtung auf beiden Seiten Zug um Zug erfolgen. Was die Kosten der Verlegung der Medien in dem Kanal angeht, haben wir von den Stadtwerken keine Auskunft bekommen. Die von uns selbst per Fremdantrag ermittelten Kosten werden jedoch dementiert und unbewiesener Maßen als ein Vielfaches davon dargestellt. Was die Befestigungsmöglichkeiten der Medien im Kanal angeht, haben sich tatsächlich bereits im 2. Bauabschnitt gegenüber dem 1. BA deutliche Einsparungspotentiale ergeben. Für weitere Vorhaben sind hier weitere Einsparungspotentiale sicher.

Bezüglich der Hausanschlüsse gab es verschiedene Möglichkeiten:

Die erste Möglichkeit hätte darin bestanden, durch Aussparungskörper auf der Schalung Öffnungen in dem Bauwerk anzuordnen. Oder statt dessen bereits fertige wasserdichte Durchführungen durch Fixieren an der Schalung einzubetonieren. Letztendlich überzeugte uns jedoch die Erkenntnis aus dem allgemeinen Hochbau, dass Aussparungen meistens an der falschen Stelle sitzen und es dann billiger ist, ausschließlich Kernbohrungen anzuordnen, statt diese nachträglich zusätzlich auszuführen. Durch die bewehrungslose Bauweise ist dies ohne weitere Untersuchungen nahezu an jeder Stelle möglich. Anordnungen im Scheitel würden jedoch einen zusätzlichen Aufwand fordern und sind im allgemeinen auch wenig sinnvoll, da die Weiterführung der Medien vom Infrastrukturkanal zum Gebäude üblicherweise in frostsicherer Tiefe vorgenommen werden sollten. Als optimal erwiesen sich in letzter Konsequenz modifizierte wasserdichte Mehrspartenhauseinführungen, die spiegelbildlich zu den in der Kellerwand angebrachten angeordnet wurden. Die Modifikation bestand lediglich darin, dass zusätzliche Medien vorgesehen werden mussten, da bei unserem Projekt in Speyer ja nicht nur Gas, Wasser, Strom, sondern auch Brauchwasser, Television, Telefon und Internet als Medien vorgesehen waren. Diese Vorgehensweise erlaubt es, bei Herstellung der Hausanschlüsse in offener Baugrube anschließend die aufgrabungsfreie Systematik beizubehalten dergestalt, dass Hüllrohrschläuche vom Haus zum Infrastrukturkanal auf die dafür vorgesehenen Stützen der Mehrspartenhauseinführung aufgesteckt werden. Da nach den üblichen Vorschriften die Verlegung von Gasleitungen in Hüllrohren verboten ist, gibt es dafür spezielle Entlüftungstücke, die in einer solchen Leitung eingebaut werden können. Für den Fall nachträglichen Herstellung eines Hausanschlusses ist es jederzeit möglich, auch bei hergestellter Oberfläche im Infrastrukturkanal nachträglich eine Kernbohrung anzuordnen und die Verlegung der Medien je nach Entfernung zum Haus mit gesteuerten oder ungesteuerten üblichen Horizontal-Bohrverfahren durchzuführen, wobei der Hauskeller entweder die Start- oder Zielgruppe darstellt.

Die Bilanzierung der Nachhaltigkeit müsste sich theoretisch auf zwei Bereiche abstützen. Zum einen die Nachhaltigkeit der Verlegung von Medien der Ver- und Entsorgung in begehbaren Leitungsgängen gegen die Verlegung der Medien in der Erde. Diesem Aspekt ist eigentlich in unserem Schreiben vom 22.06.2004 dem Förderantrag bereits hinreichend Rechnung getragen. Hierüber gibt es auch jede Menge Literatur, weil dieser Aspekt unbeschadet der besonderen Bauform der jeweiligen Infrastrukturkanäle relativ gleich sein dürfte. Der erweiterte Aspekt, dass der Nachhaltigkeit in noch größerem Maße Rechnung getragen wird, indem weitere zusätzliche Medien der Ver- und Entsorgung wie bereits ausgeführt zu noch größeren Nachhaltigkeitseffekten führen, kann in letzter Konsequenz nur in einem

weiteren Forschungsvorhaben aufgezeigt werden, da ja gerade diese Effekte zwar entdeckt, aber noch nicht gebündelt ausgeführt worden sind.

Da sich ja unser Projekt hauptsächlich darauf stützt, dieser positiven Wirkung des begehbaren Leitungsgangs dadurch Unterstützung zu geben, dass eine besondere bauliche Hülle insbesondere die Kosten aber auch die Umweltbelastungen senkt, reicht es hier die Bilanzierung der Nachhaltigkeit auf unser spezielles Bauvorhaben und unsere spezielle Bauart herunter zu brechen.

Daher wird der Ressourceneinsatz bei Wellstahl und PEHD nur grob verglichen.

Der Primärenergieinhalt von Wellstahlprofilen liegt in etwa bei 10.000 kWh/to und der CO²-Ausstoß bei 2.047 kg/to. Das heißt bei geschätzten 7,5 to/lfm für den Infrastrukturkanal in Wachau 75.000 kWh/to und 15.000 kg CO². Polyurethan hat einen Primärenergieinhalt von 26.300 kWh/to, was sich allerdings durch das geringere Gewicht relativieren dürfte. Beide Materialien konnten aufgrund der fehlenden Auftriebssicherheit für das Projekt in Speyer nicht eingesetzt werden. Zement liegt dagegen wesentlich günstiger mit 855 kg CO²/to. Das werden wir in dem Tableau noch darstellen. Der Primärenergieaufwand für die Herstellung einer Tonne Portlandzement beträgt 1.440 kWh /to. Dagegen Sand und Kies, die die Hauptmasse ausmachen, lediglich 5 kWh/to und das Anmachwasser, das in dem Rezept auch noch eine wesentliche Rolle spielt, lediglich 0,74 kWh/to. Bei einer vertiefenden Betrachtung müsste man natürlich auch noch die Transport- und Logistikaufwendungen berücksichtigen. Beton wird regional hergestellt und transportiert. Hier sind die Transportaufwendungen am niedrigsten. Es kommen natürlich noch Vorrachten dazu, z. B. für den Zement oder die Flugasche, aber das lässt sich nicht vernünftig quantifizieren.

Bei Fertigteilen kommt zusätzlich noch ein Montagegerät dazu, üblicherweise ein dieselhydraulisch betriebener Autokran, welcher den ganzen Tag gebraucht wird. Dagegen die Betonage mit Hilfe einer Autobetonpumpe in 1 ½ Std. abgeschlossen ist. Der Aufwand für die Erdarbeiten dürfte bei allen Verfahren in etwa gleich groß sein, so lange man vergleichbare Durchmesser betrachtet.

In einem vergleichenden Tableau werden die Primärenergieinhalte und der CO²-Ausstoß für die verschiedenen Betonvarianten untersucht. Einmal ein klassisches Kanalrohr mit einem lichten Innendurchmesser von 2,20 m und einer Wandstärke von 25 cm, ein Rechteckdurchlass mit den vergleichbaren Maßen von 1,75 m Breite und 2,00 m Höhe sowie unser Tunnelprofil, einmal in bewehrter und so wie ausgeführt in unbewehrter Bauweise. Der Vergleich zeigt, dass nach unserer Bauart der CO²-Ausstoß am geringsten und der Primärenergieverbrauch ebenfalls mit deutlichem Abstand am niedrigsten ist.

Ressourcenverbrauch Baustoffe

	Primärenergieinhalt <u>KWh/to</u>	CO² - Ausstoß <u>kg CO²/to</u>
PZ	1440	855
SFA	0	0
Kies	5	0
Wasser	0,74	0
Betonstahl	8350	2047

Massen Baustoffe

	Betonrezeptur unbewehrt <u>C 35/45</u>	STB <u>C 35/45</u>
PZ	190	350
SFA	200	30
H2 O	160	160
Kies	1800	1800

Massen Bauteile

	m³ Beton ISK unbewehrt	Betonstahl	STB
STB-Rohr 2200 x 25 cm		180 kg	1,8
STB Rechteckdurchlass 1,75 x 2,00		170 kg	2,00
STB-Tunnel		100 kg	1,5
Tunnel unbewehrt	1,5 m ³	--	--

Ressourcenverbrauch Bauteile

	<u>Primärenergie</u>	<u>CO 2</u>
STB-Rohr 2200 x 25 cm	2428 kg	1206
STB Rechteckdurchlass 1,75 x 2,00	2447 kg	946
STB-Tunnel	1606 kg	654
Tunnel unbewehrt	422kg	163

1



Außenschalung mit Isolierung bisher noch nicht eingeschalt.

2



Schalungsmaschine im Zuge des Ausschalens.

3



Schalungsmaschine sowie bereits betonierter Kanal mit Luftpolsterfolie abgehängt.

4



Innenschalungswagen mit Drainagevlies, Außenschalung noch nicht ausgeschalt.

5



Fertigbetonierter ISK und Schalungsmaschine mit einem weiteren Teilabschnitt eingeschalt.

6



Mehrere Abschnitte ISK zusammen mit Schalungsmaschine am Schluß.



ISK 1 in Ost-/Westrichtung fertigbetoniert, letzter Schuß noch nicht ausgeschalt. Im Vordergrund Einstiegsbauwerk sowie Anschluß Süd-Nordachse ganz im Vordergrund Regenwasserzisterne, alles in teilaufgefülltem Zwischenbaustand.



Fertiger ISK in teilverfüllter Bauweise die Stöße mit Schutzfolie überklebt.



Innenansicht ISK mit Mehrsparten Hausdurchführung Telekom und Kabelfernsehen sowie Internet noch nicht montiert, Brauchwasser vorgerüstet.



Ende der Installationen im Infrastrukturkanal.
Schwarz: Abwasserhausanschluß.



Teilmontierten Zustand des ISK Abwasserleitung 2 hüftig.

FAZIT

Ich möchte hier nicht die bereits im Projektkennblatt wiedergegebenen Feststellungen wiederholen. Es bleibt festzuhalten, dass in einem pathologischen Lernprozess alle mit der Bauausführung verbundenen Probleme erkannt und einer Lösung zugeführt werden konnten. Die Hoffnung, dass durch eine kostengünstige Bauweise die Vorbehalte gegen Erschließungen mit begehbaren Leitungsgängen ausgeräumt werden können, hat sich bisher leider nicht bestätigt. Daher bietet sich an, in einem neuen größeren Pilotvorhaben die zusätzlich erkannten Nachhaltigkeitsmöglichkeiten, wie dezentrale urbane Erschließung unter Einbeziehung moderner Sanitärsysteme, optimierte Nahwärmenetze unter Einbeziehung von Solarthermie und/oder anderer regenerativer Energien, automatisierte Müllentsorgung etc. zu integrieren, um zu zukunftsfähigen Erschließungsformen zu kommen. Die organisatorische Optimierung des ISK durch ein ÖPP-Contracting-Modell würde die Chance bieten, die von den üblichen Bedenkenträgern vorgebrachten Vorbehalte zu umschiffen. Bautechnische Optimierungen wären nur dann vonnöten, wenn man die Vorteile des begehbaren Leitungsganges für die unterirdische Verlegungen von Hochspannungsleitungen maximieren will. Vorteil wäre, dass aufgrund einfacherer planungsrechtlicher Genehmigungen die Netzengpässe bei der Einspeisung von Windparks schneller aufgelöst werden könnten. Die in der Denastudie geforderten Leitungstrassen scheinen darüber hinaus aufgrund des aktuellen Stands der Genehmigungsverfahren zum benötigten Zeitpunkt nicht einsatzbereit (Anlage).

Eine Abstrahlung von elektrischen Wellen von weniger als 10 Mikrottesla kann erreicht werden.

Der Geländeverbrauch ist wesentlich geringer als bei Freileitungen bzw. völlig vernachlässigbar, da bei entsprechender Anordnung die darüber liegende Fläche nahezu uneingeschränkt genutzt werden kann.

Vorliegende Untersuchungen zeigen, dass selbst der nicht optimierte natürlich belüftete Tunnel die Leistungsfähigkeit einer Kabelanlage gegenüber einer konventionellen Erdverlegung signifikant erhöht (Anlage). Die dadurch vorhandene Überlastungskapazität vermeidet die Notabschaltungen, die bei starker Windaktivität im heutigen Freileitungsnetz oftmals notwendig werden (ErzMan). Vielleicht gerade deshalb wird von der Versorgungswirtschaft die höhere Investition als k. o.-Kriterium ins Feld geführt. Bei einer Lebenszyklusbetrachtung, unter objektiver Einbeziehung aller relevanten Faktoren, glauben wir jedoch mit der Freileitung wirtschaftlich konkurrieren zu können. Insbesondere die geringeren Durchleitungsverluste bei Kabeln bringen einen erheblichen ökonomischen aber auch ökologischen Zusatznutzen, da jede Kilowattstunde, die nicht verloren wird, gar nicht erst produziert werden muss. Ein weiteres Kosteneinsparungspotential ist darin zu sehen, dass in einem Kanal auch Aluminiumkabel verlegt werden können, die wesentlich preiswerter sind als Kupferkabel. Die geringeren Wartungskosten, die längere Lebensdauer und die bei bisherigen Vergleichen nicht berücksichtigten Wertstofflöse beim Rückbau kommen hinzu.

Literaturverzeichnis

ATV-A 142:	Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungs- gebieten (10.92).
	Inspektion, Sanierung und Erneuerung von Entwässerungs- kanälen und -leitungen. - Teil 1: Grundlagen (12.89).
	Teil 2: Optische Inspektion (06.91).
	Teil 6: Dichtheitsprüfungen bestehender erdüberschüttete Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und unterdruck (06.98).
ATW-Forschung, Wiesb.	Jarass, L., Prof. Dr. und Obermair, G. M. Prof. Dr. Netzeinbindung von Windenergie: Erdkabel oder Freileitung? Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 55. Jg. (2005) Heft 6
Bauakademie	der DDR, Institut für Ingenieur- und Tiefbau (Hrsg.): Komplexrichtlinie Sammelkanäle. Schriftenreihe der Bauforschung, Reihe Ingenieur- und Tiefbau, Sonderheft 1. Berlin 1976.
Bauma 2004	27. Internationale Fachmesse für Baumaschinen, Baustoff- maschinen, Baufahrzeuge, Baugeräte und Bergbaumaschinen Offizieller Katalog, Messe München GmbH, Messegelände, 81823 München
Becker, K.:	Baumschäden durch Leitungsbau - Ursachen, Rechts- folgen, Folgekosten - Baumschutz durch grabenloses Bauen. In: Dokumentation Grabenloses Bauen, S. 149 - 153. Bertelsmann Fachzeitschriften GmbH, Gütersloh 1997.
Becker von, P.:	Folgewirkungen von Straßenschäden durch Aufbrüche - Teil 1. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Amtes für Straßen und Verkehrstechnik der Stadt Köln, Auftragnehmer: Technische Überwachung Hessen GmbH (TÜH). Darmstadt 1996.
Bellinghausen, G.	Temperaturspannungen in Beton- und Stahlbetonrohren Rundschreiben 13/78 der Fachvereinigung Betonrohre DIN 4032 vom September 1978
Berndt, Michael:	Bestimmung der technischen Restnutzungsdauer von Beton- rohren in Ortsentwässerungsanlagen Dissertation zur Erlangung des akad. Grades Doktor-Ingenieur an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Univ. Weimar vorgelegt von Dipl.-Ing. Michael Berndt aus Erfurt Weimar, September 2004, Bauhaus-Universität Weimar, 2005 Rhombos-Verlag
Biewald, H. Dr.-Ing.	Brakelmann H. Prof. Dr. Ing. Kabelbelastbarkeit im unbelüfteten Tunnel Elektrizitätswirtschaft, Jg. 94 (1995), Heft 26
Bolte, O.G.:	Praxis der Wasserverlustbekämpfung im Rohrnetz. 2. Auflage. Seminarreihe "Rohrnetz aktuell" 1992/93.
Bundesminister	für Verkehr (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS) - Teil:

Literaturverzeichnis

	Landschaftsgestaltung (RAS-LG), Abschnitt 4: Schutz von Bäumen und Sträuchern im Bereich von Baustellen. Aufgestellt von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Bonn 1986.
Bundesministerium für Bildung und Forschung:	Nachhaltige Ver- und Entsorgung Impulse aus der sozial-ökologischen Forschung Bonn, Berlin 2006
BVK/VGB Fachtagung	Flugasche im Beton - Neue Erkenntnisse - 3. März 2005 in Frankfurt, Vorträge -TB 708- VGB PowerTech Service GmbH, Postfach 103932, 45039 Essen
Damm, Hans-Thomas	Dipl.-Ing. Architekt: IfB Forschungsbericht November 1997 F 771 RKW-Projekt 5.3.1.05, Leitfaden zur Kostensenkung bei der Erschließung, Ergebnisbericht Institut für Bauforschung e.V., An der Markuskirche 1, 30163 Hannover
Decker, J.:	Jede Infiltration ist Belastung. ENTSORGA-Magazin Entsorgungswirtschaft (1995) H. 11, S 27-34.
Dinkgern, G.:	Energieinhalte bei Beton und Beton-Bauteilen - Teil 1. Betonwerk und Fertigteiltechnik 49 (1983), S. 588-591.
Dinkgern, G.:	Energieinhalte bei Beton und Beton-Bauteilen - Teil 2. Betonwerk und Fertigteiltechnik 49 (1983), S. 638-642.
Dohmann, M.	Hagendorf, U., Lühr, H.-P., Rott, U., Stein, D.: Wassergefährdung durch undichte Kanäle - Erfassung und Bewertung. Schlußbericht zum BMFT-Verbundprojekt (1995), 02 WA 9035-9039.
Dohmann, M.	Decker; J., Menzenbach, B.: Untersuchungen zur quantitativen und qualitativen Belastung von Untergrund, Grund- und Oberflächenwasser durch undichte Kanäle. Schlußbericht zum BMFT-Verbundprojekt (1995), 02 WA 9035.
Dohmann, M.,	Haußmann, R.: Belastung von Boden und Grundwasser durch undichte Kanäle. Gwf Abwasser Special II 137 (1996) Nr. 15, S. S2 - S6.
Dresdner Bauspar AG	2. Bad Vilbeler Gespräch Kostensenkung bei Erschließung und kommunalen Abgaben Chance durch Entmonopolisierung? 19. Mai 1999
Dujesiefken, D.	Kowol, T.: Gesunde Bäume trotz Leitungsbau: Handlungsempfehlungen für einen fachgerechten Baumschutz. Dokumentation 5. Internationaler Kongress Leitungsbau, S 771 - 782. Hamburg 1997.

Literaturverzeichnis

DVGW W 391:	Wasserverluste in Wasserverteilungsanlagen, Feststellung und Beurteilung (10.86).
Federow, N.F.	Weselow, S. F.: Unterirdische Versorgungsnetze und Sammelkanäle Teil 2. Moskau 1972.
Forschungsges.	für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Merkblatt über Baumstandorte und unterirdische Ver- und Entsorgungsanlagen. Köln 1989.
Girnau, G.	Begehbare Sammelkanäle für Versorgungsleitungen. Herausgeber: Stadt Frankfurt/Main und STUVA. Albis-Verlag GmbH, Düsseldorf 1968
GSTT:	Deutsche Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen e.V.: Leitfaden - Planung, Bau und Betrieb von begehbaren Leitungsgängen - Teil 1: Allgemeine Grundlagen (Entwurf des GSTT-Arbeitskreises 4).
GSTT:	Informationen Nr. 6: Bau und Betrieb begehbbarer Leitungsgänge - Status- bericht (September 1997).
Hagendorf, U.,	Krafft, H., Clodius, C.-D., Ikels, J.: Untersuchungen zur Erfassung und Bewertung undichter Kanäle im Hinblick auf die Gefährdung des Untergrundes. Schlußbericht zum BMFT-Verbundprojekt (1995), 02 WA 9036.
Hagendorf, U.:	Studie zum Nachweis von undichten Kanälen und ihre Auswirkungen auf den Untergrund. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Außenstelle Langen (unveröffentlicht).
Hantsche, U.:	Abschätzung des konkreten Energieaufwandes und der damit verbundenen Emissionen zur Herstellung ausge- wählter Baumaterialien. VDI-Berichte 1093, S. 151-165.
Härig, F.:	Auswirkungen des Wasseraustauschs zwischen un- dichten Kanalisationssystemen und dem Aquifer auf das Grundwasser. Dissertation. Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Hannover (1991).
Hartmann, A.,	Macke, E., Schulz, O.: Auswirkungen von Kanalschäden auf das Grundwasser. ATV-Schriftenreihe, Kanalbau und -sanierung im Zeichen Europas. ATV-Workshop (am 9./10. Mai 1996), anlässlich der IFAT 96.
Heierli, R.:	Planungen mit Ver- und Entsorgungstollen. Dokumen- tation ATV-Workshop "Undichte Kanäle", S. 74-91.1990
Hosser, Dietmar:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. et al.

Literaturverzeichnis

	Schlussbericht , Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit von Beton aus dem Schlusssentwurf prEN 1992-1-2 Fassung 10/02 durch Vergleich von berechneten und gemessenen Temperaturen Aktenzeichen P 32-5-7.225-1047/03 Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz Materialprüfanstalt für das Bauwesen - MPA Braunschweig
Klemmer, P.,	Köhler, T.: Dokumentation 5. Internationaler Kongress Leitungsbau, Hamburg 1997.
Köhler, T.:	Erneuerung urbaner Ver- und Entsorgungsinfrastruktur mit Hilfe begehbare Leitungsgänge - eine ökonomische Bewertung. Dissertation an der Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Wirtschaftswissenschaft, Bochum 1998.
König, Gert:	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing e.h. et al. Faserbeton, Innovationen im Bauwesen, Beiträge aus Praxis und Wissenschaft, Bauwerk, 1. Aufl. Berlin: Bauwerk, 2002 ISBN 3-89932-019-0
Kordina, E.h.K.	Prof. Dr.-Ing. und Dr.-Ing. M. Teutsch: Untersuchung zur Dauerschwingfestigkeit von Betonrohren Abschlußbericht, Braunschweig, im April 1989
Laistner, A.	Einsatz begehbare Leitungsgänge / Infrastrukturkanäle in der öffentlichen Ver- und Entsorgung (Dissertation)
Laistner, H.:	Infrastrukturkanal und Umwelt. In: Der begehbare Leitungsgang, Beiträge zur Kanalisa- tionstechnik - Band 1. Hrsg.: D. Stein. Analytica-Verlag, Berlin 1991.
Laistner, H.:	Der moderne Infrastrukturkanal. Sonderdruck aus: Ingenieurblatt für Baden-Württemberg, 1994.
Lambrecht, Heinz-Otto:	Opus caementitium: Bautechnik der Römer, 5. verb. Auflage Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 1996
Liersch, K.-M.:	Fremdwasser überlastet viele Schmutzwasser- kanalisationen, KA 32 (1985), H. 10, S. 820-824.
Lutze, D.:	vom Berg, W. Handbuch Flugasche im Beton: Grundlagen der Herstellung und Verwendung, 1. Auflage Düsseldorf Verlag Bau + Technik, 2004
NABau	Normenausschuß Bauwesen im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.): DIN 18920: Schutz von Bäumen, Pflanzenbeständen und Vegetations- flächen bei Baumaßnahmen. Berlin 1990.
Rayermann Dr. Marcus	Loibl, Helmut Energierrecht Handbuch Erich Schmidt Verlag, Berlin 2003

Literaturverzeichnis

Röhling, Stefan:	Zwangsspannungen infolge Hydrationswärme Düsseldorf: Verlag Bau + Technik GmbH, 2005
Schmitt, Roland:	Die Schalungstechnik, Systeme, Einsatz und Logistik Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2001
Schmuck, A., Maerschalk, G.:	Auswirkungen örtlich begrenzt auftretender Mängel der Straßenbefestigung auf die Notwendigkeit rechtzeitiger Erhaltungsmaßnahmen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 555. Bonn-Bad Godesberg 1989.
	Verlegung von unterirdischen Leitungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (Ausgabe 1984).
Stein, D.	Der begehbare Leitungsgang, Beiträge zur Kanalisations- technik, Bd. I, (Hrsg). Analytika-Verlag, Berlin 1990
Stein, D.	Drewniok, P., Klemmer, P., Köhler, T., Reinecke-Löser, R. Tettiner, P. J. Der begehbare Leitungsgang (Hrsg.: D. Stein) Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2002
Stein, D.	Möllers, K.; Bielecki, R.: Leitungstunnelbau: Neuverlegung und Erneuerung nicht- begehbbarer Ver- und Entsorgungsleitungen in geschlos- sener Bauweise. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1988.
Stein, D.	Erneuerung innerstädtischer Ver- und Entsorgungslei- tungen durch Leitungsgänge. In: Der begehbare Leitungs- gang, Beiträge zur Kanalisationstechnik - Band 1 (Hrsg.: D. Stein). Analytika-Verlag, Berlin 1991.
Stein, D.	Undichte Kanalisationen - was kommt auf die Kommunen zu? IWS-Schriftenreihe. Band 3, 1. Boden-/Grundwasser- Forum Berlin, (Oktober 1987). Erich Schmidt-Verlag, S. 351-364
Stein, D.	Undichte Kanalisationen - ein Problembereich der Zukunft aus der Sicht des Gewässerschutzes. Zeitschrift für angewandte Umweltforschung (ZAU) 1 (1988), H 7, S. 65-76.
Stein, D.	Luhr, H.-P., Niederehe, W., Willert, R., Petrich, W.: Undichte Kanäle als Ursache von Grundwasserverun- reinigungen, Studie über die Erfassung des Istzustandes unter besonderer Berücksichtigung des Betriebes und der Instandhaltung von Kanalisationen. Umweltfor- schungsplan des Bundesministers für Umwelt, Natur- schutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 10202609 (Juni 1987).
Stein, D.	Sind undichte Kanalisationen eine bedeutende Schad- stoffquelle für Boden und Grundwasser ? Kongreßvor- träge Wasser Berlin, S. 220-340. Berlin 1989.

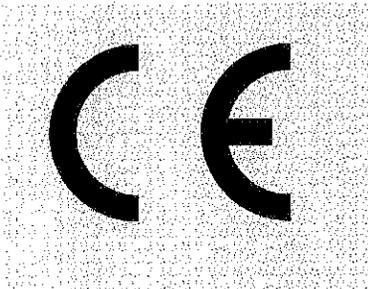
Literaturverzeichnis

Stein, D.	Drewniok, P., Körkemeyer, K.:
	Begehbare Leitungsgänge - bauliche, betriebliche und
	sicherheitstechnische Aspekte. Dokumentation Deutsche
	Leitungsbau-Tage, S. 321-335. Leipzig 1993
Toussaint, B.:	Die Kanalisation als Ursache von Grundwasser-Konta-
	minationen durch leichtflüchtige Halogenkohlenwasser-
	stoffe - Beispiele aus Hessen. gwf-wasser/abwasser
	130 (1989), H. 6, S. 299-311
ZTV-AA	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Bau
	von Abwasseranlagen in Köln (ZTV-AA K)
	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR, Abt. Netze
	(Planung und Bau), Stadthaus, Willy-Brandt-Platz 2, 50679 Köln
	6/1998, 2. neu bearbeitete Auflage
	Kumulierte Energie- und Stoffbilanzen.
	VDI-Berichte 1093 (1993), S. 119-123
	Merkblatt über Baumstandorte und unterirdische Ver-
	und Entsorgungsanlagen, Hrsg.: Forschungsgesellschaft
	für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 1989.



Betriebsanleitung

Gewölbeschalung



Ausgabedatum 03.11.2004

**Betriebsanleitung aufmerksam lesen und für weitere
Verwendungen griffbereit aufbewahren.**



INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	4
1.1 VORWORT	4
1.2 BETRIEBSANLEITUNG	5
2. SICHERHEIT	6
2.1 VORSCHRIFTEN	6
2.2 NICHTBEACHTUNG DER VORSCHRIFTEN	6
2.3 WARNHINWEISE UND GEFAHRENZEICHEN	6
2.4 SICHERHEITSAUFGABEN AN BETREIBER UND BEDIENPERSONAL	10
2.5 GEFAHRENANALYSE	12
3. BESTIMMUNGSGEMÄSSE AN- UND VERWENDUNG	21
4. TECHNISCHE DATEN	22
4.1 BEMESSUNGSDATEN	22
4.2 TOLERANZEN	23
4.3 NORMSCHNITTE	24
5. TRANSPORT	28
5.1 SICHERHEITSVORSCHRIFTEN	28
5.2 TRANSPORT UND UMSCHLAG	28
5.3 ABMESSUNGEN UND GEWICHTE	28
6. MONTAGE	29
6.1 ERSTMONTAGE	29
6.2 ELEKTRISCHER STROMANSCHLUSS	29
6.3 PNEUMATIK	30
6.4 HYDRAULIK	30
6.5 VORSPANNEN VON HV-SCHRAUBEN	30
6.6 SCHRAUBENANZUGSMOMENTE	31
7. INBETRIEBNAHME	32
8. BETRIEB	34
8.1 GRUNDINSTRUKTIONEN	34



2400170 Medienkanal Rheinufer Nord 2421012 Gewölbe- und Konterschaltung

8.2	SONDERARBEITEN	34
8.3	ELEKTRISCHE ENERGIE	35
8.4	BRENNBARE STOFFE	35
8.5	PNEUMATIK, HYDRAULIK	36
8.6	LÄRM	36
8.7	OELE, FETTE, UND ANDERE CHEMISCHE SUBSTANZEN	36
8.8	BELEUCHTUNG	36
8.9	BÜHNEN UND PODESTE	37
8.10	UMSETZTEN DER SCHALUNG	37
8.11	EINSCHALEN	38
8.12	BETONIEREN	46
8.13	AUSSCHALEN (UMSETZEN)	48
9.	WARTUNG / INSTANDHALTUNG	51
9.1	HINWEISE	51
9.2	WARTUNGARBEITEN	51
9.3	WARTUNGSPLAN	52
10.	STÖRUNGEN	53
11.	AUSSERBETRIEBNAHME / DEMONTAGE	54
11.1	WARTUNGARBEITEN BEI AUSSERBETRIEBNAHME	54
11.2	LAGERUNG	54
ANLAGEN		
BETRIEBSANLEITUNG HYDRAULIKANLAGE		
INKL. HYDRAULIKSCHEMA, PLAN HYDRAULIKBEDIENUNG		
BETRIEBSANLEITUNG DRUCKLUFT-AUSSENVIBRATOREN		
KONFORMITÄTSERKLÄRUNG		
SCHULUNGS- UND INBETRIEBNAHMEPROTOKOLL		
WARTUNGSRAPPORT (3 STÜCK)		
ZEICHNUNGEN	2421012 / 1	UEBERSICHT
	2421012 / 2	ABWICKLUNG
	2421012 / 19	LUFTLEITUNG
	2421012 / 49	BÜHNEN UND LEITERN
	2421012 / 53	BOLZENPLAN
	2421012 / 55	SCHRAUBENPLAN
		WARTUNGSPLAN

2400170

Medienkanal Rheinufer Nord Gewölbe- + Konterschaltung

Statische Berechnung

Bericht 2404-2400170

Ingenieurbüro
Rolf Burri
Dipl. Ing. ETH / SIA

Datum : 30.09 2004

Quaderweg 18, CH - 7206 Igis
Tel: +41 81 322 80 90
Fax : +41 81 322 80 91

INHALTSVERZEICHNIS

1	Vorbemerkung	1
2	Belastungsannahmen	4
3	Berechnungsgrundlagen	5
4	Schalhaut / Hutprofile	6
5	Umfangsträger	10
5.1	System Stabtragwerk	10
5.2	Querschnittswerte	11
5.3	Berechnungen	12
5.3.1	Berechnungen mit Betonspiegeldifferenz	12
5.3.2	Berechnung bei Vollfüllung	29
6	Gebrauchstauglichkeit	38
7	Tragfähigkeitsnachweise	41
7.1	Konterschaltung aussen	41
7.1.1	Längsträger Fussteil	41
7.1.2	Querspriess mit Längsträger oben	48
7.2	Gewölbeschalung innen	58
7.2.1	Gelenke am Fuss-Klappteil	58
7.2.2	Gelenke Seitenteil - Kalotte	60
7.2.3	Querspriess mit Längsträger	62
8	Transporter	70
8.1	Transporter Gewölbeschalung	70
8.2	Transporter Konterschaltung	73
9	Zusammenfassung	77

1 Vorbemerkung

Die vorliegende statische Berechnung betrifft die Gewölbe- und Konterschaltung des Medienkanal Rheinufer Nord.

Es handelt sich um ein Stahlschalungssystem von 15.0 m Länge, besteht aus der inneren Gewölbeschalung mit zwei Seitenelementen und einem Kalotteelementen sowie den seitlichen Konterschaltungen. (siehe Plankopien folgende Seiten 2 + 3)

Die Seitenteile sowie die Fuss-Klappteile der Innenschalung können über Gelenkverbindungen zum Verfahren ein- und ausgeschwenkt werden. Der Längsvorschub erfolgt über stirnseitig auskragende Radabstützungen, welche mit dem Kalotteelement fix verschraubt sind.

Zum Betonieren werden die Elemente mittels horizontal angeordneten Querspriessen über den Fusssteilen gehalten.

Die Konterschaltungen, bestehend aus den seitlichen Wandelementen, sind am darüberliegenden Transportwagen angehängt, zum Verfahren werden sie seitlich über Zylinder am Transporter leicht ausgeklappt.

Während dem Betonieren werden die Elemente im Sohlbereich mittels Ankerstangen und im Scheitel über Spindeln gegenseitig abgespriesst.

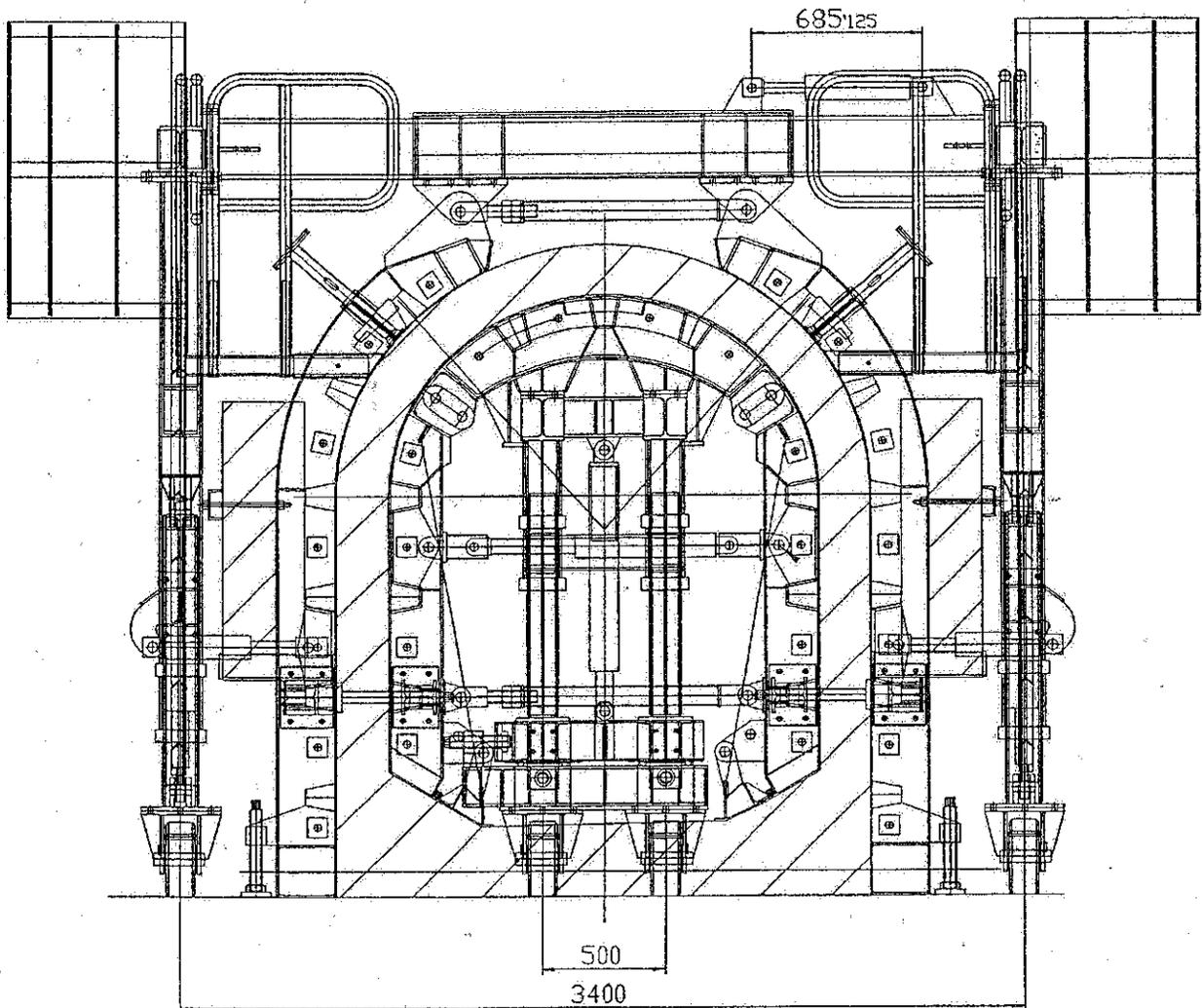
Zudem werden die Konterschaltungen mit Druckspindeln gegen die Gewölbeschalung abgestützt, diese werden zurückgezogen, wenn die Betonierhöhe die Abstützkote erreicht.

Der Aufbau der Schalelemente besteht aus der Schalhaut mit 8 mm Blechstärke im Gewölbe und 6mm an der Konterschaltung, verstärkt durch Hutprofilträger Bernold Typ C, 300x3 mm im Abstand von maximal 400 mm, die Umfangsträger im Abstand von 1.50 m leiten die Lasten letztendlich an die Auflager und Abstützungen ab.

Querschnitt

Ansicht A

Betonierstellung



Bernold-Ceresola AG, CH-8880 Walenstadt
Statik: Ingenieurbüro Rolf Burri, CH-7206 Igis

2400170 / Medienkanal Rheinufer Nord
Gewölbe- und Konterschaltung
Bericht 2428-2400170

Seite 3

Längsschnitt

