Konrad-Zuse-Zentrum
für Informationstechnik Berlin

Takustraße 7
D-14195 Berlin-Dahlem
Germany

ROLAND WESSÄLY[1]
AXEL WERNER
KLAUS ECKEL[2]
JULIA SEIBEL[3]
SEBASTIAN ORLOWSKI[1]
HADRIEN LOUCHET[4]
ERWIN PATZAK[5]
WINFRIED BENTZ[6]

Schätze heben bei der Planung von FTTx-Netzen: optimierte Nutzung von existierenden Leerrohren – eine Praxisstudie

Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) (Förderkennzeichen: 01BP0913)

[1] atesio GmbH, Berlin [2] R-KOM, Regensburg [3] REWAG, Regensburg
[4] VPIsystems, Berlin [5] Heinrich-Hertz-Institut, Berlin [6] Bentz Consulting, Bruckmühl

ZIB-Report 11-47 (März 2011)

Herausgegeben vom
Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin
Takustraße 7
D-14195 Berlin-Dahlem

Telefon: 030-84185-0
Telefax: 030-84185-125

e-mail: bibliothek@zib.de
URL: http://www.zib.de

ZIB-Report (Print) ISSN 1438-0064
ZIB-Report (Internet) ISSN 2192-7782

Schätze heben bei der Planung von FTTx-Netzen: optimierte Nutzung von existierenden Leerrohren – eine Praxisstudie

Roland Wessäly, atesio GmbH
Axel Werner, Zuse-Institut Berlin
Klaus Eckel, R-KOM
Julia Seibel, REWAG
Sebastian Orlowski, atesio GmbH
Hadrien Louchet, VPIsystems
Erwin Patzak, Heinrich-Hertz-Institut
Winfried Bentz, Bentz Consulting

Zusammenfassung: *Das vom BMBF geförderte Projekt* FTTX-PLAN *entwickelt mathematische Modelle und Optimierungsverfahren, um automatisiert kostenoptimierte* FTTX-*Netze berechnen zu können. Wir zeigen anhand einer Praxisstudie in Zusammenarbeit mit der Regensburger* R-KOM*, wie ein Planer von diesen Verfahren profitieren kann, um die Auswirkungen bestimmter Entscheidungen auf die Netzstruktur und -kosten zu untersuchen. Wir illustrieren dies am Beispiel eines* FTTB-/FTTH-*Vergleichs, der Variation von Kundenanbindungsraten und der gezielten Ausnutzung existierender Leerrohre, um Tiefbau zu vermeiden.*

Summary: *The project* FTTX-PLAN*, funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF), is developing mathematical methods and tools for automated planning of* FTTX *networks. In a common study with* R-KOM *from Regensburg, we show how a planner can profit from our methods to evaluate the effect of certain side constraints or planning rules on the network structure and cost. This is illustrated at the examples of planning either an* FTTB *or an* FTTH *network, varying the minimum customer connection rates, and systematically using existing ducts to avoid excavation.*

1 Einleitung

Im Boden sind große Schätze für den Aufbau einer FTTX-Netzinfrastruktur vergraben. Viele Versorger und Netzbetreiber verfügen über nennenswerte Mengen ungenutzter Leerrohre, Kabel und Glasfasern. Teile davon sind bereits im Infrastrukturatlas der Bundesnetzagentur dokumentiert.

Diese Ressourcen haben unglücklicherweise eine für die Planung unangenehme Eigenschaft: sie bilden einen Flickenteppich, bei dem das Leerrohr im Zweifel immer an der falschen Stelle liegt und Mikroröhrchen oder Kabel nicht in der gewünschten Menge aufnehmen kann. Angesichts des hohen Tiefbauanteils an den Gesamtkosten eines FTTX-Netzes ist die gezielte Ausnutzung der vorhandenen Infrastruktur somit eine der zentralen Aufgaben bei der Planung kostengünstiger Netze.

Zusammen mit der R-KOM aus Regensburg hat das Konsortium FTTX-PLAN eine Studie auf realen Basisdaten durchgeführt. Diese zeigt, unter welchen Voraussetzungen durch gezielte Ausnutzung existierender Rohrinfrastruktur Tiefbaukosten gespart werden können und welche Auswirkungen dies auf die Gesamtkosten und auf die Netzstruktur haben kann. Auf Basis solcher Information kann ein Netzplaner die Gesamtkosten des Netzes und die Konsequenzen von Entscheidungen wie der Nutzung oder des Anschneidens eines bestimmten Leerrohres besser abschätzen. So können sich Planer gezielter für oder gegen bestimmte Netzstrukturen vor Ort entscheiden.

Das FTTX-PLAN-Konsortium verfolgt konsequent den Weg, die Netze und die Planungsanforderungen in einem Systemmodell zu modellieren. Dies umfasst eine detaillierte Beschreibung der örtlichen Gebäude-, Trassen- und Leerrohrstrukturen sowie des verwendeten Netzkonzeptes in Form verwendbarer Hardwarekomponenten, Nutzungs- und Konfigurationsregeln sowie Material- und Installationskosten. Mit Hilfe abstrakter Optimierungsmodelle werden aus diesen Daten spezielle Anwendungsfälle und Optimierungsziele formuliert; diese werden schließlich für konkrete Netze durch modernste mathematische Methoden der ganzzahligen Optimierung gelöst.

Dieser Modellierungsansatz ist in Abschnitt 3 anhand der Rahmenbedingungen bei der R-KOM dargestellt. Abschnitt 4 erläutert die im Rahmen der Studie durchgeführten Planungen.

Als Fazit dieser Studie hat sich ergeben, dass durch gezielte Anpassung der Netzstruktur an die im Boden vergrabenen Rohre deutliche Kosteneinsparungen möglich sind. Dies gilt in besonderem Maße, wenn Leerrohre angeschnitten werden dürfen und wenn die Planung nicht auf einen Vollausbau abzielt, sondern nur die ökonomisch besonders interessanten Teilgebiete erschließt.

2 Planungsablauf

Ziel unseres Planungsansatzes ist es, zu einem bestimmten Satz von Inputdaten und Planungsparametern automatisiert kostenoptimierte FTTX-Netze zu berechnen. Dafür sind einige Basisdaten erforderlich, die zum Teil vom Projektpartner bereitgestellt oder mit ihm abgestimmt werden müssen, je nach Datenlage aber zum Teil auch aus anderen Quellen generiert werden können:

- die verwendbaren passiven und aktiven Komponenten mit ihren Kosten,
- ein potentielles Trassennetz,
- die anzubindenden Kundenstandorte mit Faseranforderungen, sowie potentielle Muffen- und Central-Office-Standorte,
- nutzbare Leerrohre (falls vorhanden)
- planerische Randbedingungen wie die Netzarchitektur, Längenbeschränkungen, etc.

All diese Daten sind auch für eine manuelle Planung erforderlich. Für unsere automatisierte Planung können sie in einem einfachen Tabellenformat spezifiziert werden. Ausgehend von diesen Basisdaten können wir mit ausgefeilten mathematischen Modellen und hochentwickelten Optimierungsalgorithmen innerhalb weniger Stunden ein kostenoptimiertes FTTX-Netz berechnen. Das Ergebnis umfasst die Menge der angebundenen Gebäude, Muffenstandorte und Central Offices mit der jeweiligen Hardware (Switches, Karten, Muffen, Splitter, ONUs, etc.) sowie die zugehörigen Anbindungen auf Faser-, Kabel- und Rohrebene. Auch die Ergebnisdaten werden wiederum in Tabellenform bereitgestellt.

Die kurze Berechnungszeit ermöglicht es, in vertretbarer Zeit mehrere Netze mit variierenden Planungsparametern zu berechnen und deren Effekt auf die Netzkosten und -struktur quantitativ zu untersuchen. Beispiele sind die Variation der

- Einblaslängen
- Schneidbarkeit von Leerrohren
- nutzbaren Kabel und Rohre
- Faseranforderungen an den Kundenstandorten
- nutzbaren Splittingfaktoren
- Mindestanbindungsraten
- Anzahl Röhrchen pro Muffe

Hier sind viele weitere Parameter denkbar. All diese Entscheidungen muss am Ende der Planer mit seiner genauen Kenntnis der Rahmenbedingungen vor Ort treffen; seine Ortskenntnis und planerische Erfahrung bleiben auch mit einer automatisierten Planung unverzichtbar. Unsere Modelle und Algorithmen können ihn aber dabei unterstützen, indem sie in kurzer Zeit unter verschiedenen Randbedingungen ein jeweils kostenminimiertes Netz berechnen können. Basierend auf den Ergebnissen, die mit den verschiedenen Parameterwerten berechnet wurden, kann sich der Planer dann gezielter für die eine oder andere Variante entscheiden als bisher, weil er deren Auswirkungen genauer abschätzen kann.

Darüber hinaus ist es nicht selten, dass zu einem späteren Zeitpunkt, wenn der tatsächliche Ausbau näher rückt, genauere Daten vorliegen als zum Zeitpunkt der Ausbauentscheidung. Mit unseren Methoden kann der Planer mit wenig Aufwand die ursprüngliche Planung mit genaueren Inputdaten noch einmal verfeinern.

3 Vorbereitung der Studie

Das FTTX-PLAN-Konsortium hat gemeinsam mit der Regensburger R-KOM eine techno-ökonomische Studie auf realen Basisdaten durchgeführt, um den Einfluss verschiedener Planungsparameter auf die Kosten und die Netzstruktur zu untersuchen. Die angenommenen Randbedingungen entsprechen im wesentlichen denen, die tatsächlich von der R-KOM im FTTH-Ausbau eingesetzt werden. Dieser Abschnitt beschreibt das Vorgehen bei der Vorbereitung der Daten für die Studie; die Ergebnisse werden in Abschnitt 4 dargestellt.

Wie im letzten Abschnitt erläutert, werden verschiedene Daten für eine automatisierte Netzplanung benötigt. Im folgenden werden wir detaillierter erläutern, welche dieser Daten unabdingbar vom Planer bereitgestellt werden müssen und welche wir aus anderen Datenquellen generieren können, falls keine vollständigen Informationen vorhanden sind. Dies ist insbesondere bei der Planung in kleineren Gemeinden oft der Fall. Tatsächlich sind für eine erste Netzberechnung zur Kostenabschätzung nur relativ wenige Inputdaten erforderlich; natürlich wird das Ergebnis umso realistischer sein, je genauere Inputdaten zur Verfügung stehen.

Netzarchitektur

Im Rahmen dieser Studie wurde ein Point-to-Point-Szenario vereinbart, d.h., die Fasern sollten von den anzubindenden Gebäuden aus zu Muffenstandorten geführt, dort 1:1 verspleißt und anschließend zu einem sogenannten FC-Raum geführt werden, der in der folgenden Betrachtung die Rolle des Central-Office (CO) übernimmt. In diesem Fall war nur ein konkreter CO-Standort vorgegeben; im allgemeinen können unsere Optimierungsalgorithmen auch eine kostengünstige Auswahl aus mehreren potentiellen CO-Standorten mitsamt der Anbindung an die Muffenstandorte berechnen.

Komponenten und Kosten

Die verwendeten Komponenten und deren Kosten entsprechen denen, die von der R-KOM eingesetzt werden. Es wurden durchgehend erdverlegbare Mikrorohrverbände mit verschiedenen Röhrchendurchmessern und Verbandsgrößen verwendet, die jeweils in unterschiedlichen Bereichen des Netzes eingesetzt werden konnten. Passend zu diesen

Röhrchen wurden die verfügbaren Mikrokabel festgelegt, sowie ein Muffentyp, der an den Muffenstandorten installiert werden konnte. Als maximale Einblaslänge wurden im Verteilbereich 300m definiert. Im Hauptkabelbereich gab es diesbezüglich keine Beschränkungen.

Für die vereinbarten Komponenten stellte die R-KOM Geräte- und Installationskostenwerte bereit. Da im Feld keine Splitter installiert wurden und nur ein CO verfügbar war, stand bei gegebenen Faseranforderungen die aktive Hardware an den Kundenstandorten und am CO fest und bot keinerlei Optimierungspotential. Sie stand deshalb im Rahmen dieser R-KOM-Studie nicht im Fokus der Betrachtung und wurde nicht mit Kosten belegt; die Netze mit verschiedenen Parametern wurden also ausschließlich auf der passiven Netzstruktur verglichen.

Trassennetz, Kundenstandorte

Als Planungsregion wurde ein Teil von Regensburg mit 1950 Hausanschlusspunkten und 7833 Wohneinheiten betrachtet. Aus diesen Wohneinheiten wurde für jedes anzubindende Gebäude eine FTTH-Faseranforderung abgeleitet.

Eine genaue Beschreibung des potentiellen Trassennetzes mit den verfügbaren Wege- und Grabeoptionen stand nicht in tabellarischer Form zur Verfügung. Wir haben daher aus öffentlich verfügbaren Straßendaten ein Straßenmodell von Regensburg extrahiert. Anhand der größtenteils vorhandenen Daten über den Straßentyp (Autobahn, Bundesstraße, Wohnstraße, Waldweg, etc.) haben wir abgeleitet, ob an einer Straße ein- oder beidseitig gegraben werden durfte, und haben daraus ein potentielles Trassennetz generiert. Dieses umfasst alle Trassenabschnitte, die überhaupt benutzt werden dürfen (insgesamt ca. 119 km ohne den Hausanschlussbereich, 153 km insgesamt); die Optimierung wählt davon eine Teilmenge aus. Als Grabekosten wurden in Absprache mit der R-KOM pauschal 80 Euro pro Meter angesetzt.

Im allgemeinen können Informationen über den Straßentyp auch vom Planer oder aus anderen Quellen für einzelne Straßen- oder Trassenabschnitte beigesteuert werden und z.B. für eine unterschiedliche Festsetzung der Grabekosten je nach Bodenbelag genutzt werden. Mit genauer Kenntnis der Lage vor Ort kann der Planer natürlich auch einzelne potentielle Trassenabschnitte hinzufügen, verbieten, oder die Kosten verändern.

Die Anbindung der Gebäude an die Straße wurde in all unseren Berechnungen von vornherein festgelegt und nicht in die Kostenvergleiche mit einbezogen, da sie in allen Berechnungen gleich ist. Darüber hinaus ist eine genaue Bewertung der Hausanschlusskosten oft erst in der Ausbauphase nach einer Begutachtung der Lage vor Ort möglich, weil diese Kosten u.a. von Verhandlungen mit Hauseigentümern abhängen können.

Potentielle Muffenstandorte

Der Optimierungsalgorithmus wählt aus einer Menge von potentiellen Muffenstandorten eine Teilmenge aus, an die dann die Gebäude angebunden werden. Zum Zeitpunkt der Studie war parallel eine manuelle Planung des betrachteten Gebietes im Gange; die dort bereits geplanten 31 Muffenstandorte wurden der Optimierung als Optionen zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus wurden noch 410 weitere potentielle Standorte automatisiert so generiert, dass kein Hausanschlusspunkt weiter als 100 Meter vom nächsten potentiellen Muffenstandort entfernt war. Von den insgesamt 441 potentiellen Muffenstandorten wurden in den berechneten Netzen meist ca. 110 ausgewählt. An diese Standorte wurden Setupkosten für den notwendigen Schacht geknüpft, die unabhängig von der Anzahl der installierten Muffen (maximal zwei) entstehen, sobald ein Standort genutzt wird.

Leerrohre

Falls Information über existierende Leerrohrinfrastruktur vorhanden ist, kann sie in unseren Optimierungsverfahren gezielt genutzt werden, um unnötiges Graben zu vermeiden. Dafür wird der Verlauf der Leerrohre im potentiellen Trassennetz benötigt, sowie die Information, welche neu verlegten Rohre in welcher Anzahl dort eingebettet werden können. Dies kann auch komplexe Einbettungshierarchien von Rohren in anderen Rohren umfassen; auch teilweise belegte Leerrohre können berücksichtigt werden. Im Fall von Regensburg gab es existierende 110mm-Rohre, die mangels genauerer Information für diese Studie als vollständig leer angenommen wurden. Da ihr genauer Verlauf im Trassennetz nicht als Serie von Koordinaten, sondern nur in Form von Bildern verfügbar war, wurde der Verlauf manuell eingepflegt, was angesichts der begrenzten Anzahl an Leerrohren in diesem Szenario mit vertretbarem Aufwand machbar war.

4 Techno-ökonomische Studie

Basierend auf den beschriebenen Inputdaten haben wir einige Parameter variiert und deren Effekt auf die Netzstruktur untersucht:

- FTTB vs. FTTH
- Anbindungsrate von Wohneinheiten
- Einbeziehung von Leerrohren
- Schneidbarkeit von Leerrohren

Mit diesen wechselnden Randbedingungen haben wir jeweils ein kostenoptimiertes Netz berechnet; diese Rechnungen dauerten jeweils nur wenige Stunden. Es ist anzumerken, dass eine grobe Kostenabschätzung oft auch in kürzerer Zeit möglich ist; eine längere Rechenzeit verbessert in der Regel die Qualität des Ergebnisses.

Die berechneten Netze wurden stichprobenartig von Planern der R-KOM begutachtet und mit den Ergebnissen einer manuellen Planung verglichen.

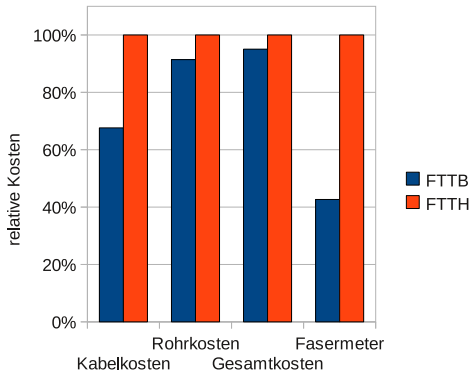
Es stellte sich heraus, dass sowohl die Netzstrukturen große Ähnlichkeiten aufwiesen als auch die Kosten in einem ähnlichen Bereich lagen. Der Hauptvorteil der automatisierten Planung liegt hier in der deutlich kürzeren Berechnungszeit von wenigen Stunden statt mehreren Wochen, die eine Studie mit verschiedenen Randbedingungen überhaupt erst ermöglicht.

Vergleich FTTH / FTTB

Eine grundlegende Entscheidung beim Netzausbau ist die zwischen FTTH und FTTB – soll jede Wohneinheit seine eigene Faser bekommen oder wird nur jedes Gebäude mit jeweils einer Faser angeschlossen? Diese Frage wurde mit der ersten Vergleichsrechnung untersucht, bei der die Anzahl von Fasern pro Gebäude einmal fest (FTTB), und einmal abhängig von der Anzahl der Wohneinheiten im Gebäude (FTTH) gesetzt wurde.

An dieser Stelle sei daran erinnert, dass bei diesen Rechnungen keine Kosten für aktive Komponenten am CO oder an Kundenstandorten berücksichtigt wurden – die erhöhte Faserzahl bei FTTH verursacht natürlich massive Kosten für die zusätzlichen Karten und Switches am CO, die auch nicht vermieden werden können. Bei Verfügbarkeit entsprechender Kostenwerte können diese Kosten aber natürlich in die Input-Daten aufgenommen und in den Rechnungen berücksichtigt werden.

In den berechneten kostenoptimierten Netzen unterscheiden sich zwar die Gesamtlängen der verbauten Fasern deutlich, die Trassenverläufe jedoch nur unwesentlich voneinander. Daher sind die jeweiligen Kosten für den Tiefbau praktisch gleich. Auch die Zahl der Muffenstandorte veränderte sich nur wenig. Unterschiede zeigen sich vor allem in den Kosten für Kabel und Rohre. Da diese aber einen deutlich geringeren Anteil an den Gesamtkosten haben, wirken sich diese Einsparungen nur wenig auf die Gesamtkosten aus.

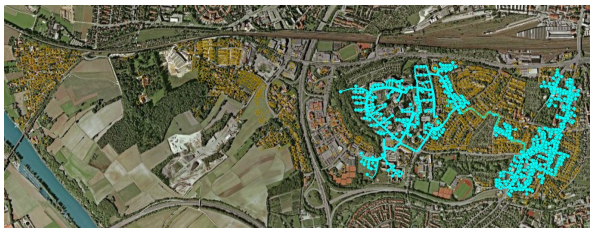


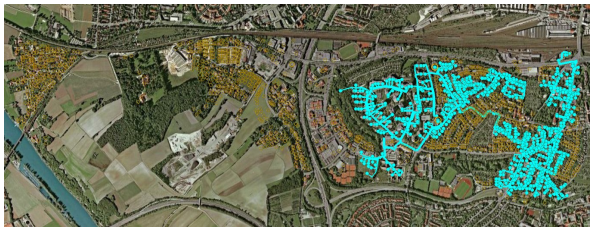
Wenn also beispielsweise Stadtwerke ein passives Netz aufbauen und dieses an einen Betreiber vermieten, der auch die aktive Hardware bereitstellt, erscheint es sinnvoll, die passive Infrastruktur – zumindest in Regensburg – gleich für FTTH zu dimensionieren.

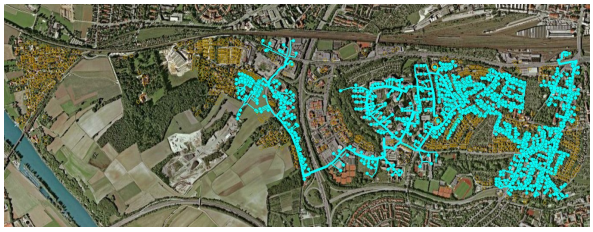
Anbindungsraten

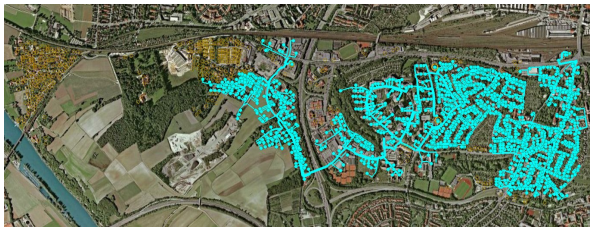
Da ein vollständiger Ausbau zur Anbindung aller Gebäude gewaltige Investitionen erfordert, ist es eine übliche Strategie, sich erst einmal auf Gebäude mit vielen Wohneinheiten zu konzentrieren und andere Gebäude nur dann mit anzubinden, wenn sowieso Rohre daran vorbei verlegt werden. Die Erfahrung zeigt, dass mit einer leicht reduzierten Anbindungsrate die Kosten gegenüber dem Vollausbau deutlich gesenkt werden können. Die geschickte Auswahl der anzubindenden Gebäude für eine bestimmte Anbindungsrate ist allerdings eine nicht triviale Aufgabe.

Im folgenden sind berechnete Netze dargestellt, bei denen der Zielausbau auf 60%, 70%, 80%, 90% und 100% aller Wohneinheiten (WE) festsetzt ist.

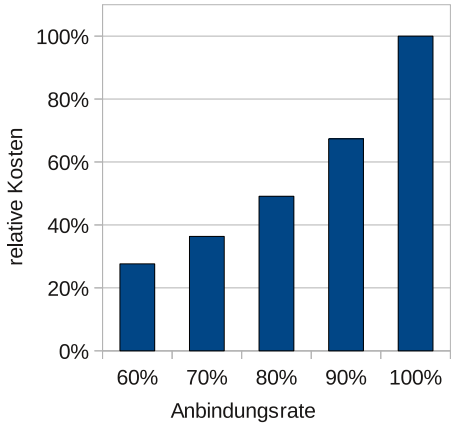






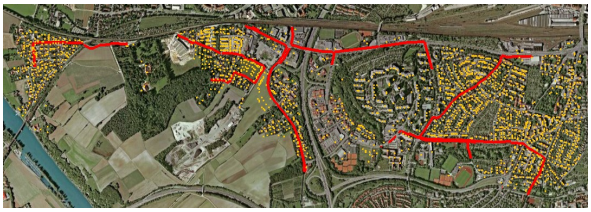


Nicht verwunderlich ist, dass es sich bei geringem Zielausbau zunächst lohnt, Gebiete mit wenigen großen Gebäuden anzuschließen. Der Bereich ganz im Westen wird dagegen wegen der großen Entfernung zum Rest des Netzes erst bei einem Vollausbau angebunden. Wie die folgende Übersicht zeigt, steigen die Kosten mit zunehmender Anbindungsrate überproportional an. Dieses Ergebnis war qualitativ zu erwarten, kann jetzt aber auch quantitativ bewertet werden. So können zum Beispiel 80% der Wohneinheiten mit nur 50% der Kosten eines Vollausbaus angebunden werden, wenn diese Wohneinheiten geschickt ausgewählt werden.



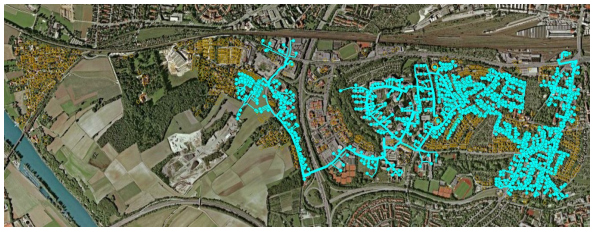
Berücksichtigung von Leerrohren

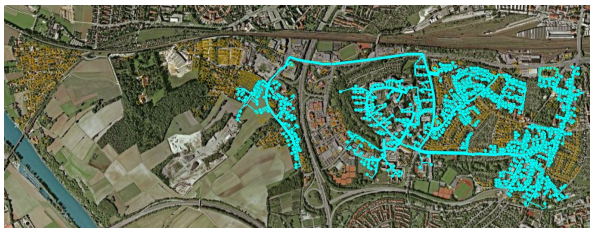
Wie beeinflusst nun die Berücksichtigung existierender Infrastruktur die Planung des Netzes? Im folgenden Bild sind vorhandene 110mm-Leerrohre im Ausbaugebiet rot markiert.



Nun wurden zwei Netzplanungen berechnet, die beide auf eine Anbindungsrate von 80% aller Wohneinheiten abzielen. Zunächst wurde ohne Berücksichtigung der existierenden Leerrohre gerechnet, beim zweiten Mal wurden diese in die Berechnung einbezogen. Ein wichtiger Parameter ist dabei die Entscheidung, an welchen Stellen Leerrohre zwischendurch aufgeschnitten werden können, um Mikroröhrchen einzuziehen. Einerseits ist das Aufschneiden von Leerrohren mit Aufwand verbunden und macht es nahezu unmöglich, später noch weitere Kabel einzuziehen. Andererseits ist ein langes Leerrohr, das entlang der Straße in einer Einfamilienhaus-Siedlung verläuft, nahezu nutzlos, wenn es nicht zwischendurch aufgeschnitten werden darf, weil die Hausanschlusskabel dann erst parallel zum Rohr in der Erde bis zum Beginn des Rohres verlegt werden müssen, um es nutzen zu können. Solch ein Rohr spart im Verteilbereich so gut wie keine Tiefbaukosten; es ist im wesentlichen für den Hauptkabelbereich von Interesse.

Um die maximal mögliche Einsparung durch Leerrohre auszuloten, haben wir zunächst angenommen, dass Leerrohre an beliebigen Stellen aufgeschnitten werden können. Die beiden folgenden Darstellungen visualisieren die jeweiligen Ergebnisse, oben ohne, unten mit Berücksichtigung der vorhandenen Infrastruktur. Es ist deutlich zu erkennen, wie die Trassenführung des Netzes bereits vorhandene Rohrkapazitäten ausnutzt.





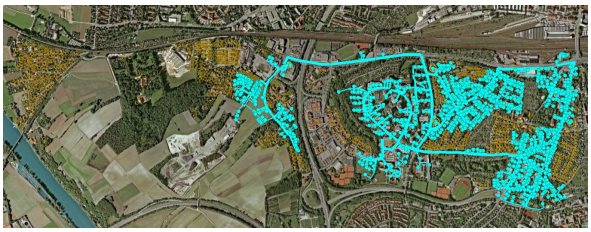
Eine genauere Analyse zeigt, dass 23,3 km von 119 km potentiellen Trassenabschnitten (ohne den Hausanschlussbereich) genutzt werden. Davon entfallen 4,9 km auf Strecken mit existierenden Leerrohren, also etwa ein Viertel der Gesamtlänge. Auf knapp 3,8 km Länge können Tiefbauarbeiten aufgrund der Leerrohrnutzung vermieden werden; auf den restlichen 1,2 km ist die existierende Infrastruktur nicht ausreichend, um alle benötigten Mikrorohrverbände aufzunehmen, so dass trotzdem gegraben werden muss. Insgesamt wird das Netz durch die Ausnutzung der Infrastruktur um knapp 9% kostengünstiger. Die deutlichsten Einsparungen werden im Bereich der Kosten für den Tiefbau sowie für die Kabel erreicht, wie die nachfolgende Tabelle zeigt.

Kosten (T€)	**ohne Leerrohrnutzung**	**mit Leerrohrnutzung**	**Änderung**
Gesamt	2352	2144	-8,85%
Tiefbau	1767	1564	-11,46%
Kabel	369	332	-10,16%
Rohre	83	80	-3,23%
Muffen	133	168	+25,9%

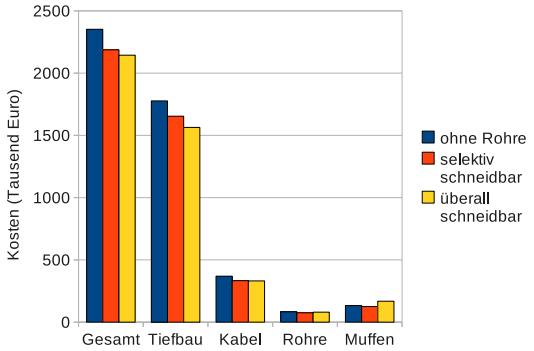
Die Muffenkosten (inklusive der Setupkosten für die Verteilerstandorte) nehmen zwar relativ betrachtet deutlich zu, aber absolut fällt diese Zunahme in den Gesamtkosten kaum ins Gewicht.

Zum Vergleich haben wir auch ein Szenario betrachtet, in dem Leerrohre nur an wenigen ausgewählten Stellen, nämlich Kreuzungen und

potentiellen Muffenstandorten, geschnitten werden durften. Die Struktur des hiermit berechneten Netzes, die im folgenden Bild dargestellt ist, hat erwartungsgemäß Ähnlichkeiten mit derjenigen mit überall schneidbaren Leerrohren, unterscheidet sich aber an einzelnen Stellen davon.



Die Gesamtkosten betragen ca. 2187 T€, also 7% weniger als ohne Ausnutzung von Leerrohren. Auch hier ist die Kostenersparnis im wesentlichen auf die beiden größten Kostenblöcke, Tiefbau und Kabel, zurückzuführen. Das folgende Diagramm zeigt die Aufteilung der Gesamtkosten auf die einzelnen Kostenblöcke ohne Leerrohrnutzung (blau), mit selektiv schneidbaren Leerrohren (rot) und mit überall schneidbaren Leerrohren (gelb).



Wie das Diagramm zeigt, lassen sich durch das Schneiden von Leerrohren gegenüber den nicht schneidbaren Rohren noch einmal deutlich Tiefbaukosten sparen, weil weniger parallel zu existierenden Rohren gegraben werden muss. Die Kabel dagegen kosten in beiden Fällen praktisch gleich viel.

Am Ende müssen bei der Entscheidung über die Schneidbarkeit natürlich noch die Kosten für das Schneiden und betriebliche Aspekte wie das nachträgliche Einziehen von Kabeln in Leerrohre mit berücksichtigt werden. Diese Aspekte wurden dieser Studie bewusst ausgelassen, weil sie von konkreten Gegebenheiten vor Ort abhängen, die sich zum Teil auch nicht genau quantitativ erfassen lassen. Diese Entscheidungen muss am Ende der Planer vor Ort treffen.

Wir haben in dieser Studie nur Szenarien betrachtet, bei denen die Entscheidung über die Nutzungsart von Leerrohren global für das ganze Netz getroffen wurde. In einer konkreten Planungssitatuation wird der Planer vermutlich erst einmal eines dieser Szenarien durchrechnen und dann an einzelnen Stellen im Netz gezielt Parameter wie die Schneidbarkeit bestimmter Leerrohre verändern, um den Effekt dieser Entscheidung zu untersuchen. Basierend auf den Ergebnissen kann er sich dann für die eine oder andere Variante entscheiden.

5 Fazit

Dieser Beitrag stellte eine gemeinsame Studie des FTTX-PLAN-Konsortiums mit der R-KOM auf der Basis realer Daten aus Regensburg vor. Einige dieser Daten, wie beispielsweise die verwendeten Komponenten, Kostenwerte und Kundenstandorte, wurden von der R-KOM bereitgestellt. Andere Daten, wie das potentielle Trassennetz und potentielle Muffenstandorte, wurden aus externen Datenquellen generiert.

Basierend auf den einmal erzeugten Input-Netzdaten haben wir mit verschiedenen Randbedingungen kostenoptimierte Netze berechnet, um den Effekt dieser Randbedingungen auf die Netzstruktur und die Kosten zu untersuchen: FTTH- oder FTTB-Faseranforderungen an den Kundenstandorten, unterschiedliche Anbindungsraten und unterschiedliche Arten der Nutzung von existierenden Leerrohren.

Für das betrachtete Netz in Regensburg ergab sich aus der Studie unter anderem,

- dass ein FTTH-Ausbau gegenüber einem FTTB-Ausbau nur sehr geringe Mehrkosten im passiven Netzteil verursacht,
- dass geschickt ausgewählte 80% der Wohneinheiten mit nur 50% des finanziellen Einsatzes gegenüber einem Vollausbau angebunden werden können,
- dass die gezielte Anpassung der Netzstruktur an existierende Leerrohre bis zu 7% der Kosten spart, wenn das Anschneiden von Leerrohren stark eingeschränkt wird, und bis zu 9%, wenn sie überall angeschnitten werden dürfen.

Für andere Städte können die Zahlen natürlich anders aussehen, je nach verwendeter Netzarchitektur, Komponenten, Kostenstrukturen, potentiellem Trassennetz, verfügbaren Leerrohren, usw.

Die vom FTTX-PLAN-Konsortium entwickelten mathematischen Modelle und Optimierungsalgorithmen erlauben es dem Planer, innerhalb weniger Stunden ein vollständiges FTTX-Netz zu berechnen. Damit kann er verschiedene Randbedingungen und Parameter variieren, in kurzer Zeit ihre Auswirkungen auf die Netzstruktur und -kosten bewerten und sich dann auf Basis dieser Ergebnisse und seiner Kenntnis der Lage vor Ort bewusst für die eine oder andere Variante entscheiden. Dies ist mit einer manuellen Planung, die mehrere Wochen dauern kann, kaum möglich.