



## Embedded-PCs verarbeiten 40.000 Datenpunkte in Basler Nordtangente

Die Basler Nordtangente N3 gehört zu den ehrgeizigsten und teuersten Straßenabschnitten, die je in der Schweiz gebaut wurden. Rund 1,2 Mrd. Euro kostete die 3,2 km lange, vierspurige und größtenteils unterirdisch geführte Stadtautobahn, die die Schweiz mit Frankreich und Deutschland verbindet. Allein 124 Mio. Euro wurden für die Betriebs- und Sicherheitsanlagen investiert, die mit Beckhoff-Technologie gesteuert werden.

Nahezu 50 Jahre nach Beginn der Planungsarbeiten und 13 Jahre nach dem ersten Spatenstich, im Jahr 1994, erfolgte im Juni 2007 die Freigabe der Stammlinie der Nordtangente für den Verkehr. Ein Jahr später fand die vollständige Eröffnung der Basler Stadtautobahn statt.

### **Konsequent umgesetzte Integration aller Funktionen in ein Gesamtsystem**

Zuständig für die Planungsarbeiten an der Nordtangente war das Tiefbauamt Nationalstraßen im Baudepartement des Kantons Basel Stadt. Unter der Projektleitung von Eugen Fuchs wurden detaillierte und zukunftsgerichtete Vorgaben für die steuerungstechnische Ausrüstung des Bauwerks erarbeitet. Die besondere Herausforderung bestand darin, dass sich durch die lange Bauzeit immer wieder Veränderungen ergaben, sowohl hinsichtlich der Technik als auch des Produktangebotes. So wurden die im Jahr 1999 realisierten Technikinstallationen bereits im Jahr 2003 überarbeitet und teilweise

ausgewechselt. Aufgrund der schweren Unfälle in anderen europäischen Autobahntunneln, im Jahre 2000, erfolgte eine grundlegende Überarbeitung der Sicherheitskonzepte. Auch die Anforderungen an die Tunnellüftung mussten, nach Einführung der Katalysatoren und der hierdurch entstandenen Reduktion der Abgaswerte, überarbeitet werden: Das Lüftungskonzept, ursprünglich nur für den Normalbetrieb gedacht, wurde auf Ereignisbetrieb, und damit auch für den Brandfall, ausgelegt.

Die „Allgemeine Technische Spezifikation“ (ATS) des Tiefbauamtes Basel umfasst die Leitdokumente für Planung und Ausführung des Informationsflusses, der Meldekonzepte und der Steuerung der Nordtangente. Sie beschreibt explizit die Anforderungen an die hierarchisch gegliederte Betriebs-, Prozess-, Gruppenleit- und Feldebene. Darin enthalten sind insbesondere die Prozessrechner (Kopfrechner und Gruppenrechner), inkl. der Anbindung der Prozesse an das übergeordnete Leitsystem (Knotenrechner). Des Weiteren regelt die ATS die Anbindung der Aktoren und Sensoren der Feldebene an die

Gruppenleitebene. Das Konzept unterscheidet sich von anderen Tunnelanlagen durch die konsequent umgesetzte Integration in ein Gesamtsystem mit klar aufeinander abgestimmten Funktionen und Komponenten. Für die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer sowie den optimalen Verkehrsfluss wurden alle elektromechanischen Einrichtungen sowie die Verkehrsleittechnik der Basler Nord- und Osttangente (Tunnel und offene Strecken) verknüpft und in das übergeordnete Leitsystem integriert.

### Komplexes Netzwerkkonzept

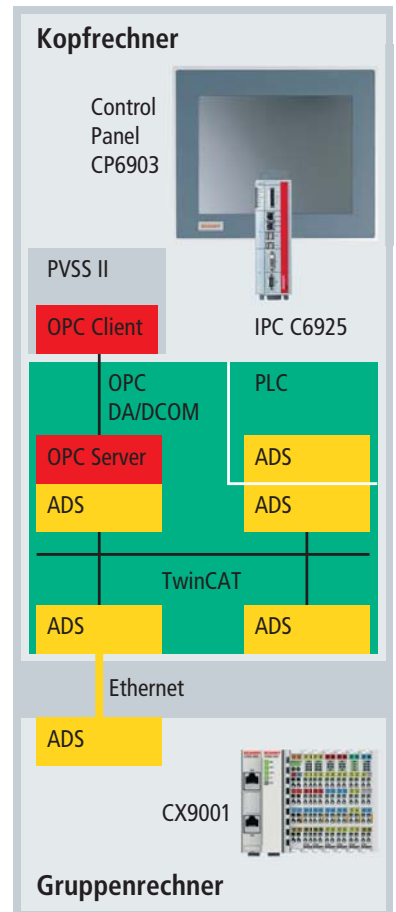
Das Prozessleitsystem ist streng hierarchisch aufgebaut. Der Grund dieser Hierarchisierung liegt in der angestrebten Autonomie der einzelnen Ebenen, d. h. jede Ebene muss funktional und technisch eine eigenständige Einheit bilden und darf nicht von fundamentalen Funktionen der darüber liegenden Ebene abhängig sein. Damit wird sichergestellt, dass bei Ausfall einer Ebene die Funktionalität der darunterliegenden nicht tangiert wird. Falls der Normalbetrieb einer Anlage ausfällt, übernimmt sofort eine Rückfallebene die Funktionen. Fällt z. B. das Kommunikationsnetzwerk aus, werden die wichtigsten Meldungen über Hardwareaustausch übermittelt.

Zusätzlich zu dem übergeordneten Betriebsleitsystem wurden für das Projekt Einzelanlagen für Beleuchtung, Ventilation, Sicherheit, Verkehrslenkung, Energieversorgung/Diverses und Rückfallebene in sechs Elektrozentralen spezifiziert. Die zusammengehörenden Einzelanlagen sind in übergeordneten Anlagen zusammengefasst, arbeiten aber soweit als möglich autonom.

Drei unterschiedliche Netzwerke stellen die Infrastruktur für alle Anlagen der Nordtangente dar:

- | Ethernet-Ring mit einer Datenübertragungsrate von 10 GBit/s
- | Ethernet-Ring 100 MBit/s für die Rückfallebene (zweiter redundanter Kommunikationsweg mit eigenen Lichtwellenleiterverbindungen)
- | Ethernet-Ring 100 MBit/s für jede der sechs Anlagensteuerungen mit eigenen Lichtwellenleiterverbindungen

Aufgrund der Vorgaben durch das TBA Basel wurden alle an das 10-GBit-Ethernet-Netzwerk gekoppelten Rechner über TCP/IP pro Anlage mit einem eigenen Virtual Local Area Network (V-LAN) angebunden. Jede Anlage verfügt über ein eigenes Netzwerk; die Elektrozentralen sind untereinander galvanisch getrennt. Innerhalb der Betriebsleitebene wird über Ethernet mittels des Prozessvisualisierungs- und Steuerungssystems PVSSII kommuniziert. Die Kommunikation zwischen Anla-



Kommunikations-Architektur  
des Kopf- und Gruppenrechners





Kurt Salvisberg, Geschäftsführer Ticos AG:

„Wir haben von unserem Auftraggeber wirklich sehr gute Vorgaben erhalten. So konnten wir bei der Realisierung der Steuerung der Gesamtanlage ebenfalls eine ganz klare Strukturierung vorgeben.“



Eugen Fuchs, Projektleiter des Tiefbauamtes

Basel und zuständig für die Planungsarbeiten der Basler Nordtangente: „Die Entscheidung für den durchgehenden Einsatz von Beckhoff-Hardwarekomponenten fiel aufgrund der Robustheit und ihres in der Industrie bewährten Einsatzes.“



gen- und Betriebsleitebene sowie innerhalb einer Ebene erfolgt über Ethernet/Fast-Ethernet TCP/IP mittels OPC und der Beckhoff-Software TwinCAT ADS. Von der Anlagenebene zur Gruppenleitebene wird ebenfalls über Fast-Ethernet und TwinCAT ADS kommuniziert.

#### Hard- und Softwareredundanz garantieren Ausfallsicherheit

Die Kommunikationsverbindungen sind softwaremäßig alle nach dem Client-Server-Prinzip aufgebaut. Das bedeutet, dass sich der Kommunikations-Client (IS-Server) mit dem Kommunikations-Server (Kopfrechner pro Anlage und Elektrozentrale) verbindet. Der Server ist in der Lage, mehrere Verbindungen zu mehreren Clients gleichzeitig zu verwalten. Auf übergeordnete, automatische Schaltungen wurde soweit als möglich verzichtet; übergeordnete Funktionen wurden, um Sonderfälle zu minimieren, auf der Prozessebene realisiert.

Das implementierte Redundanzprinzip basiert nicht auf reiner Hardwareredundanz, sondern bezieht auch die Software mit ein. Ein zweiter Server sammelt, unabhängig vom ersten, die relevanten Daten und führt die entsprechenden Funktionen durch. Einzig die aktiven Komponenten werden vom redundanten System nicht ausgelöst. Ein ausgeklügeltes Überwachungsverfahren stellt den Ausfall des jeweiligen Rechners fest, wobei in diesem Fall der zweite Rechner die Funktionen des ersten übernimmt. Der erste Rechner wechselt in den Status eines redundanten Servers und führt keine aktiven Befehle und Schaltungen mehr aus. Sollte, aus welchem Grund auch immer, der erste Server seinen Zustand nicht ändern, wird er vom zweiten blockiert; d. h. es werden nie zwei Server gleichzeitig automatische Schaltbefehle ausführen. Die Bedienstationen erkennen den Zustand jedes Servers und kommunizieren ausschließlich mit dem aktiven.

#### Robuste und zuverlässige Steuerungsplattform

Der Einsatz der Beckhoff-Automatisierungskomponenten wurde aufgrund einer gründlichen Marktevaluation, vom TBA Basel vorgegeben. „Die Entscheidung für den durchgehenden Einsatz von Beckhoff-Hardwarekomponenten fiel aufgrund der Robustheit und ihres in der Industrie bewährten Einsatzes“, erläutert Eugen Fuchs, zuständiger Projektleiter des Tiefbauamtes: „Weitere Pluspunkte sind die vielfältigen Möglichkeiten der Softwarekopplung durch den Einsatz

der Microsoft-Betriebssysteme Windows XP Embedded und Windows CE, der IEC 61131-3 basierenden Software-SPS TwinCAT und OPC bzw. OLE for Process Control (Object Linking Embedded).

Mit der gesamten Software-Erstellung wurde das Unternehmen Ticos AG, ansässig in Feuerthalen, in der Schweiz, beauftragt, das Erfahrung mit großen, anlagenübergreifenden Steuerungen von Tunnelanlagen vorweisen konnte. Ticos-Geschäftsführer Kurt Salvisberg betont: „Wir haben von unserem Auftraggeber wirklich sehr gute Vorgaben erhalten. So konnten wir bei der Realisierung ebenfalls eine ganz klare Strukturierung vorgeben, sodass wir unsere Programmierung nur noch vervielfältigen mussten.“

Die Betriebsleitebene stellt mit den Knotenrechnern das übergeordnete Leitsystem (IS) dar, das die zentrale Steuerung, Visualisierung und Überwachung der übrigen Anlagen ermöglicht. Jeder IS-Knotenrechner ist daher mit einer lokalen Visualisierung ausgerüstet.

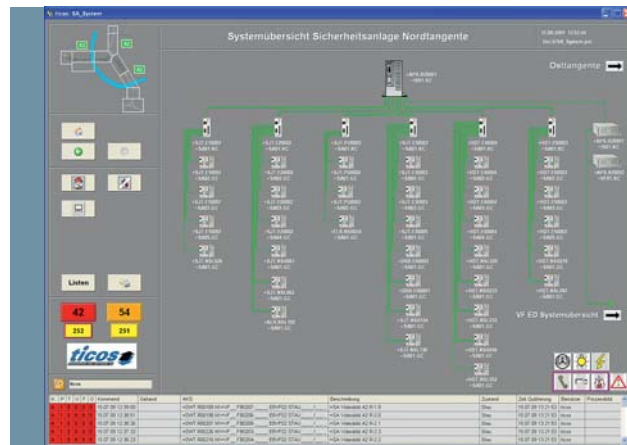
Die Anlagenebene ist datentechnisch als Anlagennetz mit Ethernet TCP/IP strukturiert und umfasst die Kopfrechner. Die Steuerung der Anlagen erfolgt ab der Anlagenebene autonom und dezentral, d. h. auch bei einem Ausfall der Betriebsleitebene führen die Kopfrechner die Steuerung der ihnen untergeordneten Prozesse autonom aus. Als Kopfrechner sind insgesamt 35 Beckhoff Industrie-PCs der Serie C6925 mit Beckhoff Control Panels des Typs CP6903 zur Visualisierung im Einsatz.

Die der Betriebsleitebene unterlagerte Gruppenleitebene besteht aus den kompakten Beckhoff Embedded-PCs der Serie CX9001. Über Ethernet TCP/IP steuern sie die an die Beckhoff Busklemmen angeschlossenen Aktoren und Sensoren, wie z. B. Relais, Schütze, usw. Das Betriebssystem der CX9001-Gruppenleitnehmer ist Windows CE mit TwinCAT als Software-SPS. Insgesamt sind in der Gruppenleitebene 185 Embedded-PCs CX9001 mit annähernd 40.000 physikalischen Datenpunkten implementiert.

Die Feldebene besteht aus dezentral montierten Busklemmenstationen. Zu den Besonderheiten der eingesetzten Busklemmen gehören, neben den analogen Busklemmen, die DALI-Klemmen, die zur Ansteuerung der Beleuchtung verwendet werden. Alle Messeingänge wurden – soweit möglich – mittels Stromeingängen (4 bis 20 mA) realisiert, mit dem Ziel, klar messbare Schnittstellen zu schaffen.



Nach einer rund 50-jährigen Planungs- und Baugeschichte wurde Mitte 2007 die Stammlinie der Nordtangente Basel in Betrieb genommen. Mit der Eröffnung der Anschlussstelle Luzerner-Ring ist das Jahrhundertwerk Basler Nordtangente fertig gestellt. Von der 3,18 km langen Stadtautobahn sind insgesamt 2,79 km überdeckt durch Tunnel bzw. Brücken. Die Nordtangente beginnt von Frankreich her mit einer 240 m langen offenen Strecke und geht dann in den Tunnel Großbasel (1432 m) über. Auf der östlichen Seite des Bahnhofs St. Johann führt der Abschnitt unter der stark befahrenen Voltastrasse hin bis zum Rhein. In diesem Abschnitt liegt auch die unterirdische Verzweigung des 600 m langen Anschlusses St. Johann. Am Rhein taucht die Autobahn aus dem Tunnel auf und führt über die zweistöckige, 266 m lange Dreirosenbrücke in den 1092 m langen Tunnel Kleinbasel. Der letzte Abschnitt führt die Autobahn an die bestehende Rampe der Osttangente. Dank der fünf Anschlussstellen kann die Nordtangente nicht nur den Transitverkehr von und nach Frankreich, sondern auch einen großen Teil des städtischen Verkehrs übernehmen und dadurch die lärm- und verkehrsgeplagten Wohngebiete entlasten.



Systemübersicht Sicherheitsanlage Nordtangente. Insgesamt sind in der Gruppenleitebene 185 Embedded-PCs CX9001 mit annähernd 40.000 I/O-Anschlüssen implementiert.

### Bewährt im täglichen Betrieb

Die hierarchische Struktur sowie das verteilte Konzept der Projektlösung bewähren sich täglich durch einen reibungslosen Betriebsablauf. Die Prozessbilder des Leitsystems stellen die einzelnen Anlagen dar und enthalten die entsprechenden grafischen Elemente für Zustandsanzeigen und Eingriffe, signaltechnisch bedient durch die Sensorsignale von der Feldebene. Auch die autonom agierenden Anlagen arbeiten optimal mit der Leittechnik zusammen: Wichtige Alarmer und Störungen werden via Fernalarmierung weitergeleitet. Beispielsweise stehen für die Prozessbilder der Ventilationsanlage alle relevanten Informationen, inkl. der Luftgeschwindigkeitsmessung, welche zum Betrieb der Lüftungsanlagen nötig sind, zur Verfügung.

### Tunnelsteuerung umfasst eine Fülle von Funktionen

Eines der zentralen Elemente für die Sicherheit ist die Steuerung der Tunnellüftung. Durch die bestmöglichen Strömungsverhältnisse werden die Sicherheit der Tunnelbenutzer und der Ablauf im Falle eines Brandes massiv beeinflusst. Die Messrichtungen im Tunnel informieren die Steuerung jederzeit über die aktuellen Strömungs- und Druckverhältnisse. Daraus errechnet die Steuerung die erforderlichen Schaltungen der 82 Strahlventilatoren (insgesamt über 2 MW Leistung), um die optimalen Druckverhältnisse zu erreichen. Auf diese Weise werden in einem Brandfall die Fluchtwege rauchfrei gehalten, und ein Rauchübertritt in die benachbarten Tunnelröhren kann verhindert werden. Die Sicherheitsanlage erfasst alle sicherheitsrelevanten Informationen zur Weiterleitung an die Polizei: Diese wird z. B. sofort informiert, wenn die Türe eines Notausganges betätigt wird, ein Fahrzeug im Tunnel steht oder wenn ein Feuerlöscher aus seiner Halterung genommen wird. Ebenso stellt die Steuerung der Beleuchtungsanlage alle relevanten Informationen zur Verfügung, welche zum Betrieb der verschiedenen Beleuchtungssysteme nötig sind: z. B. die manuelle oder automatische Anschaltung von diversen Betriebsarten, wie Notbetrieb oder Brand/Unfall. Beleuchtungssensoren messen die Außenhelligkeit und regeln die Adaptionsbeleuchtung, so dass sich das menschliche Auge bei der Tunneleinfahrt an die reduzierte Lichtmenge gewöhnen kann. Lichtsensoren im Tunnel messen die effektive Beleuchtungsstärke und ermöglichen so, die Verschmutzung und Alterung der Leuchtmittel zu korrigieren. Die Verkehrssteuerung übernimmt ein vielschichtiges Verkehrsleitsystem, damit

alle auftretenden Betriebszustände ohne Schwierigkeiten für den Benutzer abwickeln werden können: Die Signalisation dient in erster Linie zur Sperrung des Tunnels bzw. der Ein- und Ausfahrten, zum Warnen der Verkehrsteilnehmer über verschiedene Gefahrensituationen, zum Sperren einzelner Fahrspuren, zur Überleitung auf die benachbarte Röhre etc. Die Anlage „Energieversorgung und Diverses“ überwacht sämtliche Infrastrukturanlagen der Elektrozentralen, wie Gebäudebrandmeldeanlagen, Sicherungen, Energieeinspeisungen, Trafos, Messeinrichtungen der zentralen Gebäude- und Infrastrukturanlagen.

### Integration bestehender Teilanlagen optimiert die Überwachung und reduziert Kosten

Während der Projektumsetzung wurden die bestehenden Teilanlagen der in den Jahren 1970 bis 2003 erstellten Osttangente auf das IS aufgeschaltet. Aufgrund der durchgängigen Integration stehen damit den Betreibern alle Informationen und Eingriffsmöglichkeiten auf einer gemeinsamen Plattform zur Verfügung. Alle jetzigen und zukünftigen Datenpunkte werden durch die flexiblen Beckhoff-Gruppenrechner mit der umfangreichen Auswahl von Klemmen einheitlich und kostengünstig erfasst. Roland Gysin von der „Nationalstrassen Nordwestschweiz AG“ (NSNW), zuständig für den Betrieb und Unterhalt der Stadtautobahn, meint zu den bisherigen Erfahrungen: „Das System läuft sehr stabil und wir haben selten Störungen. Früher haben wir für die Leitsystemwartung mehr bezahlt, als uns jetzt die Wartung der gesamten Anlage kostet.“

Der Investitionsanteil für die gesamten Betriebs- und Sicherheitsanlagen beläuft sich auf rund 124 Mio. Euro. Ein großer Teil der Anlageninvestition wurde somit in die Sicherheit der Tunnelnutzer investiert. Die umfangreichen Mess-, Steuer- und Regelaufgaben konnten mit der Beckhoff-Technologie zukunftsweisend erfüllt werden. Der komplexe Stand der Autobahnüberwachung ermöglicht im Störfall eine rasche und gezielte Intervention und bietet damit ein Höchstmaß an Sicherheit.

Basel-Stadt Stadtentwicklung Basel Nord [www.baselnord.bs.ch](http://www.baselnord.bs.ch)  
Ticos AG [www.ticos.ch](http://www.ticos.ch)  
Beckhoff Schweiz [www.beckhoff.ch](http://www.beckhoff.ch)