



CASE STUDY

Sicherheit und Anlagenverfügbarkeit im St. Gotthard Basistunnel

Zwei kompetente Partner – eine Lösung: Schaltschrankbauer und Klimatisierungsspezialist entwickeln ein Konzept, das der Druckwechselbelastung in Tunneln standhält.

Das Schaltschrank-Klimatisierungskonzept der Firmen Pfannenberg und Swibox für die 176 Querschlüge im St. Gotthard Basistunnel hält hohen Wechseldruckbelastungen, Temperaturunterschieden und staubiger Umgebung erfolgreich stand. Schaltschränke mit einem speziell entwickelten Druckkörper zum Schutz des Kühlkreislaufs und integriertem Controller stellen die hohe Anlagenverfügbarkeit sicher.

Der Gotthard Basistunnel kann mit vielen herausragenden Zahlen beeindruckend: Mit 57 km ist er der längste Eisenbahntunnel der Welt und seine Tunnelstrecke mit allen Quer- und Verbindungsstollen erstreckt sich über rund 154 km. Mit bis zu 250 km/h sollen hier ab 2016 Personenzüge die Reisezeit zwischen z. B. Mailand und Zürich auf weniger als 3 Stunden verkürzen und die Transportleistung auf der Schweizer Nord-Süd-Achse soll mit 40 Mio. Tonnen Gütern nahezu verdoppelt werden.

Betrachtet man diese Zahlen wird klar, dass der sichere und reibungslose Betrieb im Tunnel stets gewährleistet sein muss. Um diese Sicherheit zu erreichen, müssen die im Tunnel eingesetzten Technologien auf dem neuesten Stand sein; das gilt sowohl für die gesamten Anlagen als auch für die einzelnen Komponenten. Wichtigste Komponenten sind hier die Schaltschrank-Klimageräte der Firma Pfannenberg, die sich u. a. in den 176 Querschlügen des



Abb. 1: Innenansicht Gotthard Tunnel

Tunnels befinden. Diese Klima- bzw. Kühlgeräte stellen sicher, dass es in den Schaltschränken nicht zu einer zu hohen thermischen Belastung der dort verbauten elektronischen Komponenten kommt und diese über ihre gesamte Lebenszeit sicher und zuverlässig funktionieren.

Pfannenberg und Swibox – ein erprobtes Team

Bei dem Projekt Gotthard Basistunnel haben sich zwei langjährige Partner erneut zusammengetan: Die Firma Pfannenberg, ein mittelständiges Unternehmen mit Hauptsitz in Hamburg und Spezialist für Schaltschrank-Klimatisierungslösungen und die Firma Swibox, ebenfalls ein Spezialist auf dem Gebiet des Sonderschaltschrankbaus mit Sitz in Balzerswil in der Schweiz.

In den Anfängen der Zusammenarbeit wurden von Pfannenberg Standardprodukte aus dem umfangreichen Produktportfolio in den Swibox Schaltschränken verbaut. Mit dem Projekt „Lötschberg Tunnel“ im Jahre 2003 kam es zum ersten Mal zu einer kundenspezifischen Entwicklung eines Klimatisierungskonzeptes, das speziell für die anspruchsvollen Anforderungen von Bahn-Tunnel-Applikationen erarbeitet wurde.

Schaltschränke halten jedem Wechseldruck stand

Die größten technischen Herausforderungen waren die hohen Anforderungen an die Schutzklasse der Schaltschränke mit IP 65 sowie die hohe Wechseldruckbelastung, die durch die durchfahrenden Züge verursacht wird. Beim Einfahren schiebt der Zug die Luft vor sich her und es entsteht ein Überdruck bis der Zug den Querschlag, in dem die Schaltschränke stehen, passiert. Sobald der Zug vorüber ist, wandelt sich der Überdruck dann schlagartig zu einem entsprechenden Unterdruck. Diesen

Wechseldruckbelastungen von bis zu +/-5 kPa sind alle Schaltschränke und damit auch die angebauten Kühlgeräte ausgesetzt. (Abb. 2 Querschlag Lötschberg Tunnel mit Schaltschränken und Klimageräten) Es musste also sichergestellt werden, dass alle Geräte diesem Druckwechsel mechanisch standhalten, bei gleichzeitiger Realisierung der hohen Schutzart.



Abb. 2 Querschlag Lötschberg Tunnel mit Schaltschränken und Klimageräten

Dank dem in Zusammenarbeit mit der Firma Swibox speziell entwickelten mechanischen Geräteaufbau, (Abb 3: Swibox Schaltschrank mit Pfannenberg Kühlgerät DTGT ohne Abdeckung) der auch unter Druckbelastung eine dichte Trennung zwischen der Umgebung (Geräte-Außen-seite) und dem Schrank Innenraum (Geräte-Innenseite) sicherstellt, konnten diese Anforderungen erfüllt werden. Eine Besonderheit ist hier der entwickelte Druckkörper, in dem die Komponenten des inneren Kühlkreislaufes untergebracht sind. Dabei war es nicht einfach mit dem Einsatz eines verstärkten Bleches getan: Erst die Auswahl eines geeigneten Materials und die erhöhte Materialstärke in Kombination mit speziell angebrachten Versteifungsblechen führten zur gewünschten Druckfestigkeit.



Abb 3: Swibox Schaltschrank mit Pfannenberg Kühlgerät DTGT ohne Abdeckung

Schaltschrank-Klimakzept heißt nicht nur einfach kühlen

Eine weitere Herausforderung in Tunneln ist die Umgebungsluft. Große Temperaturunterschiede von -20 °C bis zu $+40\text{ °C}$, maximale Luftfeuchtigkeit von 100%, sowie eisenhaltiger Abrieb der Bremsen, Schienen und Fahrleitung in der Umgebungsluft erhöhen die Korrosionsgefahr und zeigen, wie unterschiedlich zu Standardanwendungen eine Tunnelapplikation ist.

Es musste also ein spezielles Klimakzept für genau diese Anwendung ermittelt werden. Dass es dabei nicht ausschließlich um die Kühlung der Komponenten gehen kann wird klar, wenn man sich noch einmal die Aufgabe der Schaltschrank-Klimatisierung genauer betrachtet. Sie beinhaltet einen umfänglichen Schutz für die elektronischen Komponenten vor schädlichen Umgebungseinflüssen wie Staub, Feuchtigkeit und Temperatur.

Der Schutz spielt natürlich eine besondere Rolle, aber auch andere Faktoren, wie z. B. die Lebensdauer von elektronischen Komponenten können durch die Klimatisierung beeinflusst werden. Dass eine Schaltschrank-Klimatisierung notwendig ist, ist vielen Entwicklern und Konstrukteuren bewusst, aber woher die eigentliche Anforderung kommt, oftmals nicht. Hier hilft es, wenn man die technischen Daten von häufig verbauten Komponenten näher betrachtet, insbesondere kostenintensive Komponenten, wie Steuerungen. Die technischen Daten enthalten Angaben zur minimalen/maximalen Betriebstemperatur, Luftfeuchtigkeit, Kondensat aber auch zu anderen kritischen Parametern, wie etwa der Staubbelastung.

Die Steuerungen in modernen Schaltanlagen basieren auf Halbleiter-Bauelementen. Immer leistungsfähigere Überwachungs- und Regelungselemente kommen hier zum Einsatz. Die extrem hohen Packungsdichten haben eine höhere Verlustleistung zur Folge. Je größer der Temperaturstress dieser Komponenten ist, desto geringer ist deren Lebensdauer. So kann es z. B. leicht zu Überhitzungen, den so genannten Hotspots und im schlimmsten Fall zu vorzeitigen Ausfällen kommen.

Die Luftfeuchtigkeit ist ein weiterer Parameter, den man im Rahmen eines Schaltschrank-Klimakzeptes bewerten muss. In der Umgebungsluft befindet sich immer ein Anteil von gelöstem Wasser. Je nach Temperatur kann von der Luft eine mehr oder minder große Menge an Wasser aufgenommen werden. Nimmt die Temperatur z. B. durch Tag-/Nachtwechsel ab, so besteht die Gefahr der Kondensatbildung auf und zwischen elektronischen Bau-

teilen. Korrosion und Ausfälle der Elektronik können auch hier die Folge sein.

Seit 2005 wurde begonnen, das gemeinsam entwickelte Klimatisierungskonzept zu implementieren. Nebst den Kühlgeräten, welche vor allem im Berginneren (Umgebungstemperaturen bis $+40\text{ °C}$) zum Einsatz kommen, mussten in den Portalbereichen (Umgebungstemperaturen bis -20 °C) auch Pfannenberg Heizungen verbaut werden.

Diese Heizungen stellen sicher, dass die Temperatur im Schaltschrank nicht unter den so genannten Taupunkt fällt. Der Taupunkt beschreibt die Temperatur von feuchter Luft, die bei unverändertem Druck unterschritten werden muss, damit sich die in der Luft gelöste Menge an Wasser als Kondensat abscheidet. Am Taupunkt beträgt die relative Luftfeuchtigkeit 100% d. h., die Luft ist dann mit Wasserdampf gesättigt.

Mit dem neuen Projekt Gotthard Basistunnel folgt nun die Fortsetzung der erfolgreichen Zusammenarbeit beider Unternehmen. 2006 begann man auf Basis des bewährten Konzeptes an der Erarbeitung einer Lösung für die gestiegenen Anforderungen an die Schaltschrankklimatisierung. Zum Beispiel wurden die Anforderungen an die Wechseldruckwechselbelastung mit $\pm 10\text{ kPa}$ verdoppelt, was eine komplette mechanische Überarbeitung des Kühlgerätes notwendig machte. Das neue Design bewies seine Funktionalität zusammen mit dem Schaltschrank in einem extra für solche Projekte entwickelten Prüflabor der Firma Swibox und durchlief erfolgreich 200.000 Druckwechselbelastungen $\pm 10\text{ kPa}$.



Abb 4: Pfannenberg Kühlgerät DTGT auf der Schaltschrankrückseite montiert

Controller sichern Anlagenverfügbarkeit

Die Einbindung der Schaltschrank-Klimageräte an das

zentrale Tunnelleitsystem war eine weitere Anforderung, die es zu realisiert galt. Durch die Anbindung hat man zukünftig die Möglichkeit, auf alle Betriebsdaten des Kühlgerätes zuzugreifen. So kann man z. B. die aktuelle Schaltschranktemperatur auslesen oder die Betriebsstunden der wichtigsten Hauptkomponenten überwachen. Dies ist besonders wichtig, um ungeplante Ausfälle zu vermeiden und so durch im Vorfeld geplante Wartungsarbeiten eine hohe Anlagenverfügbarkeit zu garantieren. Diese dafür neu entwickelte Pfannenberg Controller Generation mit einem Ethernet Übertragungsprotokoll bietet eine Vielzahl von Parametern, die nun in der zentralen Tunnelsteuerung überwacht werden können.

Die Controller kommen jedoch nicht nur direkt in den Kühlgeräten zum Einsatz. Auch in 500 weiteren Schaltschränken ohne Kühlgerät wurde der Klima-Controller eingebaut. Dieser ermöglicht eine Temperaturüberwachung, welche wie die Klimageräte mit dem Tunnelleitsystem kommunizieren können und bei Bedarf ohne Umbau der Datenübertragung mit einem solchen ersetzt werden können.

Ein weiteres Novum in dieser Entwicklung ist die Beachtung der Energieeffizienz. Daher wurde ein intelligentes Steuerungskonzept implementiert, durch das man die ohnehin schon sehr gute Energieeffizienz im aktiven Kühlmodus des Gerätes, zusätzlich im passiven Kühlmodus (nur die Schaltschrankluft wird umgewälzt) optimiert hat. Durch den Einbau eines Temperatursensors an der vermeintlich

kritischsten Stelle im Schaltschrank, wird der interne Lüfter, der für die Umwälzung der Luft im Schaltschrank verantwortlich ist, nur dann zugeschaltet, wenn eine definierte Grenztemperatur überschritten wird. Das Kühlgerät fängt erst dann wieder an aktiv zu kühlen, wenn trotz des Umwälzens der Luft eine Grenztemperatur überschritten wird. Dieses Steuerungskonzept hilft den Energieverbrauch weiter zu reduzieren, da im Falle des beschriebenen Energiesparmodus alle aktiven Komponenten ausgeschaltet werden.

Ein anderer wichtiger Punkt ist die garantierte Geräteverfügbarkeit von 10 Jahren nach Inbetriebnahme des Tunnels 2016. Hieraus leiteten sich auch die erhöhten Anforderungen an die Wartungsfreundlichkeit ab. So musste erreicht werden, dass die MTTR (Mean Time to Repair) Zeiten möglichst kurz sind, also die Zeit, die notwendig ist Komponenten im Rahmen von definierten Wartungsarbeiten einfach und schnell zu tauschen.

Im Jahr 2010 begann die Auslieferung der ersten Kühlgeräte an die Firma Swibox. Mittlerweile sind alle Geräte ausgeliefert und werden sukzessive in den 176 Querschlägen des Gotthard Basistunnels zusammen mit den Schaltschränken verbaut. Schon jetzt beweisen sie täglich ihre Zuverlässigkeit, denn die verschiedenen Testphasen, bis zum Start des fahrplanmäßigen Bahnbetriebes in 2016, haben schon lange begonnen.

Auf einen Blick

Aufgabe	Schaltschrank-Klimatisierungskonzept für 176 Querschläge im St. Gotthard Basistunnel entwickeln
Projektzeitraum Geräte-einbau	2013 / 2014
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • Wechseldruckbelastung von bis zu +/-10 kPa • Temperaturunterschiede von -20 °C bis zu 40 °C • Luftfeuchtigkeit von bis zu 100%
Eingesetzte Produkte	DTGT 9041, DTGT 9541; ca. 980 Geräte
Erfolgsfaktoren	<ul style="list-style-type: none"> • Speziell entwickelter Druckkörper mit integrierten Kühlkreislaufkomponenten • Pfannenberg Controller Generation mit Ethernet Übertragungsprotokoll für zentrale Überwachung • Steuerungskonzept der Energieeffizienz • 10 Jahre garantierte Geräteverfügbarkeit und definierte Wartungsarbeiten für kurze MTTR

Zusammenfassung

Der Betrieb von Tunneln stellt Ingenieure und Betreiber immer wieder vor große Herausforderungen. Alle Produkte und Lösungen müssen den höchsten Anforderungen entsprechen und auch bei schwierigen Umgebungsbedingungen einwandfrei funktionieren.

Dies gilt insbesondere für Schaltschränke und deren Klimatisierung, die hier extremen Druckwechselbelastungen, Temperaturunterschieden sowie der Belastung durch Staub und Feuchtigkeit ausgesetzt sind. In enger Zusammenarbeit haben Swibox und Pfannenberg ein spezielles Klimakonzept für Tunnel-Applikationen entwickelt. Robuste Swibox-Schaltschränke mit einem eigens zum Schutz des Kühlkreislaufs entwickelten Druckkörper und die Seitenanbau-Kühlgeräte mit integriertem Controller und Heizung von Pfannenberg gewährleisten eine hohe Anlagenverfügbarkeit.