**Anwendung der speicherprogrammierbaren Steuerung am   
 Beispiel der Hochleistungsseilbahn Montjuic**

O.I.T.A.F. SEMINAR Bozen 1997

**Anton HUBER**

Siemens AG Österreich Siemensstraße 24

ANL-SL/CL A-6063 Rum bei Innsbruck

Tel (+43) 512-1707\*270

Fax (+43) 512-1707\*580

e-mail anton.huber@siemens.at

**EINLEITUNG**

Ohne den Einsatz von speicherprogrammierbaren Steuerungen sind weder in der Industrie noch bei Seilbahnanlagen die komplizierten Prozesse zu beherrschen.

Diese Mikroprozessor-Technik ist mittlerweile bereits seit ca. 20 Jahren am europäischen Markt etabliert und hat auf Grund ihrer Systemcharakteristik einen beispiellosen Siegeszug in der Steuerungs-, Regegelungs- und Überwachungsfunktion bei Seilbahnen gehalten.

Keine noch so komplizierte Funktion einer Seilbahn läßt sich nicht mit SPS-Technik ausführen, sogar die Regelung der mechanischen Bremsen wird seit einigen Jahren in unserem Haus mit dieser Technologie realisiert.

Veränderungen am Markt verstärken den wirtschaftlichen Druck auf die Seilbahnbranche und zwingen den Unternehmer zu Produktivitätssteigerungen in den betrieblichen Abläufen, die ihrerseits den Trend zur Automatisierung verstärken. Hier liegt die Stärke der speicherbaren Steuerungstechnologie, aber auch die Gefahren.

Wo Licht ist, ist auch Schatten. Man muß der Technik selbstkritisch gegenübertreten, wenn es um sicherheitstechnische Aspekte geht. Die Sicherheit von Hard- und Software sind sehr komplexe Themen und nur von Spezialisten zu verifizieren.

Der Vortrag zeigt am Beispiel einer Hochleistungsseilbahn, die im öffentlichen Nahverkehr (ÖPNV) eingesetzt ist, das auch sehr umfangreiche und komplexe Automatisierungsaufgaben sicher und zuverlässig mit der SPS-Technik ausgeführt werden können.

Die dazu notwendigen Grundsatzfragen der Zuverlässigkeit und Sicherheit werden in vereinfachter Form dargestellt

**Key Words**

Speicherprogrammierbare Automatisierungssysteme (SPS, PLC)- Sicherheit- Zuverlässigkeit - Verfügbarkeit - öffentlicher Personen-Nahverkehr (ÖPNV)

**STANDSEILBAHN MONTJUIC - BARCELONA**

**Allgemeines**

Für die verkehrstechnische Erschließung der auf dem Montjuic-Hügel gelegenen Wettkampfstätten der olympischen Sommerspiele 1992 wurde die bestehende Seilbahn durch ein neues vollautomatisches System ersetzt.

Die neue Standseilbahn ist im öffentlichen Nahverkehrsnetz der Stadt integriert und verbindet direkt die U-Bahn Linie 3 mit den Sehenswürdigkeiten und Freizeiteinrichtungen des Montjuic.

Für die Planung und Ausführung der Anlage waren auf Grund der Einsatzbedingungen im ÖPNV nachstehende Anforderungen zu erfüllen.

1. hohe Transportkapazität
2. automatischer Betrieb
3. geringe Betriebskosten
4. geringe Wartungs- und Instandhaltungskosten
5. kurze Intervallzeiten
6. hohe Verfügbarkeit des Systems
7. hohe Sicherheit für Benutzer und Betriebspersonal
8. vandalensichere Ausführung

BILD 1



**Konfiguration Steuerung - Überwachung**

Der hohe Automatisierungsgrad der Anlage in Verbindung mit der geforderten Systemverfügbarkeit von 99,65% bestimmte die Ausführung der Steuer- und Überwachungsebenen des Systems ausschließlich mit speicherprogrammierbaren Automatisierungsgeräten ohne zusätzlicher Unterstützung durch konventionelle Hardware (Relais oder diskrete Elektronik).

Die gesamten Abläufe der Fahrgast- und Fahrtabwicklung werden vom Leitsystem selbsttätig gesteuert und von der Sicherheitsebene ( Überwachungsebenen ) auf ordnungsgemäßen Ablauf kontrolliert.

Kernstück der Sicherheitseinrichtungen bildet ein FAIL SAFE-Automatisierungsgerät SIMATIC -F, das einen Sicherheitsnachweis vom TÜV Süddeutschland nach Anforderungsklasse 6 nach DIN 19250 besitzt.

Die komplexe Aufgabenstellung der Automatisierung der Gesamtanlage einschließlich der seriellen Datenkopplung der Fahrzeuge sowie der Stationsinfrastrukturen führte zum Einsatz von insgesamt 11 Speicherprogrammierbaren Systemen (PLC’s). Dies bildet den Vorteil einer strukturierten Verteilung der Anlagenfunktionen.

BILD 2



**Vergleich Hardware - Software**

Der komplexe Charakter der Anlage ist ersichtlich, wenn man den Ausbau der Hardware- Module der Standseilbahn Montjuic mit dem einer kuppelbaren Sesselbahn vergleicht, die ja auch bereits sehr umfangreiche Überwachungsfunktionen beeinhaltet, z.B. bei der Sicherung der Stations-Ein- und Ausfahrten.

BILD 3



Bei der Planung des Systems waren die Zuverlässigkeit und Sicherheit die tragenden Prämissen für die involvierten Ingenieure.

Automatisierung bedeutet, daß der Faktor Mensch im betrieblichen Ablauf keinen unmittelbaren Beitrag zur Erreichung der Sicherheit des Systems leisten kann. Die Sicherheit des gesamten Systems (= Sicherheitsfunktionen) der Anlage wird nahezu ausschließlich durch die Maschine erzielt.

Dementsprechend hohe Sicherheits-Standards sind dem gesamten Lebenszyklus des Systems zugrundegelegt.

Die Planung der Hard- und Software, Fertigung, Montage und Inbetriebnahme unterliegen strengen Qualitätssicherungsmaßnahmen und vermeiden systematische Fehler bereits im Ansatz.

Nach nunmehr fünfjährigem Betrieb der Bahn und der dabei gewonnenen Erfahrung bezüglich der Zuverlässigkeit und Sicherheit kann man sagen, daß sich der Einsatz einer reinen Steuer- und Überwachungsebene auf PLC-Basis als der richtige Weg gezeigt hat.

Die verlangte Anlagenverfügbarkeit von 99,65 % konnte nicht nur eingehalten werden ,sie wurde sogar verbessert.

In der fünfjährigen Betriebszeit ist nur eine Eingabebaugruppe des gesamten PLC-Systems ausgefallen, das entspricht einer reinen Verfügbarkeit der PLC-Systeme von größer

99,95 % und zeigt eindrucksvoll die hohen Zuverlässigkeitswerte von speicher-

programmierbarer Elektronik.

Die Standseilbahn Montjuic ist mit einer Förderleistung von 8000 Personen pro Stunde und Richtung die leistungsstärkste Seilbahn der Welt.

Anläßlich der Olympischen Sommerspiele wurden täglich bis zu 55000 Personen in einer Richtung transportiert. Diese Zahlen zeigen, daß Seilbahnsysteme in Verbindung mit einem hohen Automatisierungsgrad durchaus als alternative Lösungen im ÖPNV-Bereich einsetzbar sind und die übertragenen Transportaufgaben zuverlässig abwickeln.

Die PLC’s stellen eine wesentliche Voraussetzung für die Erschließung dieses zukünftigen Marktsegmentes dar.

**SPS-TECHNIK**

Speicherprogrammierbare Steuerungsgeräte sind mittlerweile in Europa seit mehr als zwei Jahrzehnten am Markt und stellen in der industriellen Anwendung seit Jahren den Standard in der Automatisierungstechnik dar (Automobilherstellung, chemische Industrie, Grundstoffindustrie, um einige Beispiele für die Anwendung aufzuzeigen).

Siemens setzte konsequent die speicherprogrammierbare Technologie in der Steuerung und Überwachung von Seilbahnen seit Beginn der Marktetablierung dieses Produktes Mitte der siebziger Jahre ein.

So gesehen ist diese Technik nicht mehr als eine junge zu bezeichnen, aber die stürmischen Innovationsprozesse der Industrie verbessern in Zyklen von ein bis zwei Jahren permanent das Produkt PLC und erschließen somit für den Anwender immer neue Möglichkeiten, komplexe Aufgaben wirtschaftlich und prozeßorientiert zu lösen.

BILD 4



Die SPS-Technik ist seit mehr als 20 Jahren bei Anwendungen im Seilbahnbereich im Einsatz und kann daher als “bewährte Technologie” gesehen werden.

Der weltweite Siegeszug dieser Technik in allen Anwendungsbereichen ist auf die damit verbundenen Systemvorteile gegenüber der konventionellen Elektronik oder Relaistechnik zurückzuführen.

Unbestritten sind diese Vorzüge auch für den Einsatz bei allen Seilbahnanlagen von der einfachen fixgeklemmten Sesselbahn bis hin zu hochkomplexen automatisierten Systemen wie die Standseilbahn Montjuic geeignet wenn die notwendigen Maßnahmen in der Projektierung und Ausführung eingehalten werden.

BILD 5



**ZUVERLÄSSIGKEIT UND SICHERHEIT**

**Definition der Begriffe**

Besonders die Themen Zuverlässigkeit und Sicherheit spielen in der Anwendung bei Steuer- und Überwachungsfunktionen von Seilbahnen eine bedeutende Rolle.

Die Begriffe Zuverlässigkeit, Sicherheit und letztlich auch die Verfügbarkeit stehen in einem klaren Kontext zu-einander und sind wie folgt definiert:

1. Unter ZUVERLÄSSIGKEIT einer elektronischen Steuerung versteht man die Fähigkeit, innerhalb vorgegebener Grenzen über einen bestimmten Zeitraum hinweg die ihr zugedachte Funktion zu erfüllen.
2. Unter VERFÜGBARKEIT versteht man die Wahrscheinlichkeit ein System zu einem vorgegebenen Zeitpunkt in einem funktionsfähigem Zustand anzutreffen. Voraussetzung dafür ist, daß ein defekter Zustand durch Reparatur oder Erneuerung beseitigt werden kann. Das Ziel ist die Erhaltung der Funktion.
3. Unter SICHERHEIT versteht man die Sachlage, bei der das mit der Benutzung einer Anlage verbundene Risiko kleiner ist als das vom Gesetzgeber nach gesellschaftspolitischen, juristischen und wirtschaftlichen Kriterien festgelegte Grenzrisiko.

BILD 6



**Ausfallverhalten Hard- und Software**

Die Zuverlässigkeit eines Systems wird im wesentlichen bestimmt durch das Ausfallverhalten des Hardwareteiles.

Charakteristisch bei der konventionellen Ermittlung von Hardwareausfällen ist, daß sich das Ausfallverhalten im wesentlichen auf die Lebensdauer (Verschleiß) der Bauteile und damit Baugruppen bezieht, die man durch entsprechende Algorithmen auf Produkte oder Systeme hochrechnen kann.

Statistisch wird das Ausfallverhalten durch die sogenannte Badewannenkurve ausgedrückt.

BILD 7



1. Frühausfallsphase

In der Anfangsphase weist die Ausfallsrate eine fallende Tendenz auf. Grund dafür ist, daß in dieser Zeit konstruktive Fehler rasch erkannt und durch Korrekturen solche Ausfälle zukünftig vermieden werden.

Mit Hilfe spezieller Vorbehandlungen der Bauteile durch “Burn-in-Tests” und der Baugruppen und Geräte durch “Run-in-Tests” läßt sich die Frühausfallsphase erheblich verkürzen.

1. Nutzungsphase

In dieser Phase kann die Ausfallsrate als annähernd konstant angenommen werden. Eine Vermeidung von Ausfällen durch konstruktive Maßnahmen ist kaum möglich.

1. Verschleißphase

In dieser Phase wird das Lebensdauerende der Bauelemente bzw. Baugruppen in stärkerem Maße erreicht. Ausfälle kann man durch geeignete Wartungsstrategien verringern.

Die Häufigkeit des Ausfalles eines Bauteils wird durch die Ausfallsrate (failure rate) definiert.

Die Einheit ist

**1 fit** = **10-4 h-1**

dh. 1 Ausfall in 10-4 Stunden entspricht z.B. 1 Ausfall pro Jahr

Die Größe “Mittlerer Ausfallabstand” **MTBF** wird für Geräte angesetzt. Sie gibt die mittlere Zeitdauer zwischen zwei Geräteausfällen an.

SPS-Automatisierungsgeräte besitzen auf Grund ihrer Struktur und eingesetzten hochzuverlässigen Bauelemente große MTBF-Werte der einzelnen Module und damit auch des Gesamtsystems.

Die für industrielle SPS-Steuerungen wie z.B. SIMATIC durchgeführte Fehleranalyse im Feldeinsatz gilt auch für die Anwendung bei Seilbahnanlagen und bestätigt die besonders hohe Zuverlässigkeit der speicherprogrammierbaren Technik.

BILD 8



**Redundanz**

Die Verfügbarkeit einer Anlage läßt sich durch Steigerung der Zuverlässigkeit der einzelnen Systembaugruppen verbessern, die ideale Verfügbarkeit von 100 % kann jedoch nicht erreicht werden.

Durch Verdoppelung der eingesetzten Geräte oder Systeme lassen sich die Zuverlässigkeitswerte MTBF und damit verbunden die Verfügbarkeit einer Anlage jedoch wesentlich steigern.

Mehrkanalige redundante Systeme vom einfachen “Stand by-System” bis hin zu 2-oder 3-kanaligen Systemen garantieren Verfügbarkeitswerte bis nahezu 100 %.

Die Verfügbarkeit ist definiert durch

**V = MTBF / MTBF+ MTD** ( % )

MTD....Mean Down Time (mittlere Ausfallszeit )

BILD 9



Maßgebend steigern läßt sich die Verfügbarkeit einer Anlage unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher Gesichtspunkte auch durch Strategien zur Verkleinerung der Ausfallzeiten durch entsprechende Wartungs- und Instandhaltungs-Konzepte in Verbindung mit einer Ersatzteilvorhaltung.

Gezielte Aus- und Weiterbildung des Bedienungs- und Wartungspersonals sowie Bereitstellung von intelligenten Diagnosefunktionen des Bedien- und Beobachtungssystems der Anlage gehören selbstverständlich dazu.

**Sicherheit**

Neben der Zuverlässigkeit, die natürlich für den Betreiber einer Anlage einen wesentlichen Aspekt der Anlagenausführung darstellt, ist selbstverständlich die Sicherheit des Systems und alle damit zusammenhängenden Fragen die wichtigste Anforderung an die Steuer- und Überwachungsfunktion.

Gerade der Einsatz von sogenannter “komplexer Elektronik” (= SPS-Technik) führt erfahrungsgemäß oft zu Problemen bei der Beurteilung von Sicherheitsanforderungen.

Definition Sicherheit

Sicherheit ist letztendlich Risikoreduzierung, eine vollständige Abwendung von Gefahren gibt es nicht.

Sicherheit wird durch eine Kombination von Maßnahmen erreicht.

1. Verringerung des von der Anlage ausgehenden Risikos, wobei unter Anlage der mechanische und elektrotechnische Teil sowie das Umfeld der Gesamtanlage zu betrachten ist (Definition der Systemschnittstelle Seilbahn)
2. Risikoreduzierung durch organisatorische (personelle) und technische Maßnahmen
3. Information des Betreibers über die verbleibenden Risiken. Hinweise welche die Gefahr und ihre Vermeidung verdeutlichen (Manuals für Betrieb, Wartung und Instandhaltung)

Aus der Sicht des Elektronikers stellt sich die Sicherheit als binäre Größe dar, man liegt entweder unter- oder oberhalb des festgelegten Grenzrisikos.

BILD 10



Die Sicherheitsanforderungen an die elektrotechnischen Ausrüstungen für Personenseilbahnen sind derzeit in den Ländern der Europäischen Gemeinschaft landesspezifisch sehr unterschiedlich geregelt.

Gerade beim Einsatz von komplexer Elektronik sind die Anforderungen bezüglich der anzuwendenden Fehlerbetrachtungen qualitativ schwierig vergleichbar, weil derzeit die Gesamtsicherheit der Anlagen durch unterschiedliche Maßnahmen im organisatorischen und technischen Bereich erzielt wird.

Hersteller, Behörden und Betreiber arbeiten mittlerweile seit Anfang der 90er Jahre im TC 242 in verschiedenen Arbeitsgruppen an einer harmonisierten Richtlinie und Norm für Seilbahnen und Schleppaufzüge. Die Erfahrungen der Vergangenheit lassen allerdings eine kurzfristige Umsetzung dieser zukunftsweisenden Regelung als nicht realistisch erscheinen.

Kernthema der zukünftigen EN-Norm wird eine Gefahrenanalyse des gesamten Systems sein, die je nach festgestelltem Gefährdungsgrad und Eintrittswahrscheinlichkeit des unerwünschten Ereignisses unterschiedliche Anforderungen an das Fehlerverhalten der Elektrischen Steuer- und Überwachungseinrichtung (=Sicherheitsfunktionen) stellt.

**Ausfallverhalten der elektrischen Ausrüstung**

Für die Sicherheitsbetrachtung ist das Ausfallverhalten der E-Ausrüstung wesentlich.

Das elektrische System besteht aus Hardware und Software.

Hardware ist materiell und fällt statistisch gesehen während der technischen Lebensdauer über eine Zufallsverteilung (Bild 7) aus.

Dabei unterscheidet man aktive und passive Fehler.

Die Software zeigt ein vollkommen unterschiedliches Ausfallsverhalten. Software ist immateriell und kennt demnach keine Verschleißerscheinungen.

Man berücksichtigt daher Ausfälle die durch logische Fehler (menschliche) zustande kommen = systematische Fehler.

BILD 11



Als elementare Forderung der zukünftigen EN “Sicherheit für die elektrische Ausrüstung von Seilbahnen für den Personentransport” sind je nach Gefährdungsgrad unterschiedliche Anforderungen an die Fehlerbeherrschung des Sicherheitssystems definiert.

Vereinfacht sind dies:

|  |  |
| --- | --- |
| **Schadensausmaß** | **Anforderungen an das Sicherheitssystem** |
| keine Personengefährdung | Stand der Technik |
| leichte Verletzung | Test der Sicherheitsfunktionen zwischen den Testintervallen ist Verlust  der Sicherheitsfunktion möglich |
| schwere Verletzung, Todesfall | 1. **geringe Eintrittswahrscheinlichkeit**   ein einzelner Fehler darf nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen  ein zweiter Fehler kann zum Verlust führen   1. **hohe Eintrittswahrscheinlichkeit** Erkennung des einzelnen Fehlers bei oder vor Anforderung oder Beherrschung eines zweiten anzunehmenden Fehlers |

Wie können diese Forderungen umgesetzt werden?

**Beherrschung Einfachfehler**

Theoretisch kann ein Einfachfehler durch ein einkanaliges System mit einer Fehleroffenbarungszeit kleiner der zulässigen Prozeßtoleranzzeit (Sicherheitszeit) der Seilbahnanlage beherrscht werden. Solche Systeme sind allerdings wenig am Markt verbreitet.

Die mehrkanalige Anordnung von Automatisierungsgeräten ist der Weg, den die meisten Hersteller am Markt beschritten haben.

Eine zweikanalige Anordnung beherrscht grundsätzlich den einzelnen Fehler, das System ist jedoch in geeigneten Zeitabständen mit einem mittleren Fehleraufdeckungsgrad zu testen.

Ein zweiter Fehler kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen.

**Beherrschung Zweifachfehler**

Der Einfachfehler muß vor oder spätestens bei Anforderung erkannt werden, oder wenn dies nicht möglich ist, darf ein zweiter Fehler nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen.

Wenn Tests in geeigneten Zeitabständen (vor dem Auftreten eines zweiten Fehlers) mit hohem Fehleraufdeckungsgrad im System implementiert sind, muß ein zweiter Fehler nicht betrachtet werden.

Mit dem Auftreten von zwei unabhängigen zufälligen Fehlern in der Sicherheitsfunktion muß nicht gerechnet werden.

BILD 12



Der Nachweis der vorstehenden Fehlerbetrachtungen ist naturgemäß für die komplexe Elektronik sehr aufwendig und nur von Systemspezialisten durchführbar.

Deshalb hat die Industrie in Zusammenarbeit mit zertifizierten Prüflabors sogenannte FAIL SAFE-Automatisierungsgeräte entwickelt, die den sicherheitstechnischen Anforderungen der einschlägigen internationalen Standards (DIN, IEC, CEN) entsprechen.

Systemsicherheit der Hardware und der Firmware sind daher für den Hersteller und die relevanten Behörden leicht zu verifizieren.

Man spricht auch von “baumustergeprüften Automatisierungsgeräten”.

Der Hersteller der Seilbahnausrüstung und die zuständige Behörde prüfen in Bezug auf die Sicherheit der SPS nur mehr die systemgerechte Hardwarekonfiguration einschließlich der Sensoren und Aktoren der Anlage.

Der Sicherheitsnachweis beschränkt sich dadurch im wesentlichen auf die Anwendersoftware, die alle Sicherheitsfunktionen der Anlage beinhaltet.

**Software**

In der Anwendersoftware sind alle Steuer- und Überwachungsfunktionen der Seilbahn hinterlegt, die ihrerseits wiederum aus sicherheitsrelevanten und nichtsicherheitsrelevanten Elementen oder Modulen bestehen.

Die übersichtlichste Art der Softwarestrukturierung besteht im Splitting nach sicherheitsrelevanter und nichtsicherheitsrelevanten Funktionen, die auf unterschiedliche Hardwaresysteme aufgeteilt werden. Nicht immer ist eine solche klare Trennung möglich.

Man muß daher die Rückwirkungsfreiheit der nichtsicherheitsrelevanten Software überprüfen.

Der sicherheitsrelevante Teil besteht zu ca. 60 % aus sehr komplexen Funktionsbausteinen die jedoch einen immer wiederkehrenden Standard darstellen und daher als bewährte Softwaremodule angesehen werden können. Eine Überprüfung kann sich auf einen Vergleich der Bausteine reduzieren

Die restlichen 40 % des sicherheitsrelevanten Teils sind anlagenspezifische Anpassungen die zum Großteil aus reinen binären Verknüpfungen bestehen.

BILD 13



In den nahezu unbegrenzten Potentialen der heutigen SPS Technik, die kaum mehr Einschränkungen in der softwaremäßigen Umsetzung von kreativen Lösungen kennt, liegen aber auch nicht zu unterschätzende Gefahrenpotentiale.

Vor allem die für die Erstellung von sicherheitsrelevanter Software geltenden Maßnahmen im Qualitätssicherungsbereich sind strengstens einzuhalten.

Die Hantierung von sicherheitsrelevanter Software durch “Unbefugte” kann zum Verlust der Systemsicherheit und damit zur Gefährdung von Personen führen.

**SCHLUSSBETRACHTUNG**

Das Anwendungsbeispiel Seilbahn Montjuic zeigt, daß durch den Einsatz von SPS Technik die gestellten komplexen Anforderungen einer durchgehenden Automatisierung in bezug auf Sicherheit und Zuverlässigkeit voll erfüllt werden können.

Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für die Erschließung des Marktsegmentes öffentlicher Nahverkehr durch seilgezogene Personentransportsysteme gegeben.

Der CABLE LINER als neue Generation von APM- Systemen (Automated People Mover) stellt eine Entwicklung in dieser Richtung dar, die auf zwanzigjähriger Erfahrung mit SPS- Technologie des Hauses Siemens in Verbindung mit den neuesten Hardwaresystemen und Softwaretools beruht.

Darüber möchte ich gern anläßlich eines anderen Referates berichten.

**Adresse des Autors:**

Ing. Anton Huber

Siemens AG

Siemensstr. 24

##### A-6063 RUM bei INNSBRUCK

Tel. +43-512-1707\*270

Fax. +43-512-1707\*580