

ALPHORN - ADVANCED LOW POWER WIRELESS NODE

ALPHORN entwickelte prototypisch ein System zur Funkübertragung sicherheitsrelevanter Daten von Eisenbahnkreuzungssicherungsanlagen (EKSA). ALPHORN berücksichtigte dabei gültige Sicherheitsanforderungen und eine netzautarke Energieversorgung der Sensoren, sowie Auswertelektronik und Funkkomponenten an der Strecke. Tests an einer ÖBB Strecke zeigten die Machbarkeit, erforderliche Parameter sowie Herausforderungen im Rahmen einer Industrialisierung.

Die folgenden Ergebnisse und Erkenntnisse von ALPHORN wurden während der prototypischen Realisierung der sicheren Funkübertragung von Sensordaten und Signalen gemäß den gültigen Sicherheitsanforderungen im Bahnbereich, zwischen Einschaltstelle und EKSA gewonnen:

- Der Energieverbrauch der Sensorik und Elektronik an der Einschaltstelle ist eine Herausforderung für eine hochzuverlässige autarke Energieversorgung
- Die Zuverlässigkeit der Funkstrecke ist nur durch geringe Abstände von Funkknoten und Redundanz erreichbar, dies reduziert die wirtschaftliche Attraktivität der Lösung im Vergleich zu einem konventionellem Streckenkabel.
- Anforderungen an Safety und Security gemäß den relevanten Bahnnormen ist erreichbar.
- Energieverbrauch der elektronischen Komponenten ist mit „vernünftigen“ Größen von Solar-Panelen abdeckbar
- Höhere Life-Cycle Kosten als mit konventioneller Verkabelung sind durch die höhere Anzahl an Typen und die Menge von elektronischen Komponenten im Außenbereich zu erwarten.
- Größere Distanzen erfordern eine andere Funktechnologie als die im Rahmen von ALPHORN erprobte Beistellung.

Facts:

- **Laufzeit:**
 - 08/2016 – 08/2019
- **Auftraggeber:**
 - ÖBB-Infrastruktur AG
- **Forschungskonsortium:**
 - EBE Solutions GmbH
 - AIT Austrian Institute of Technology GmbH
 - Zöllner Signal GmbH
 - Cargomon Systems GmbH
 - Rail Expert Consult GmbH
 - Frauscher Sensortechnik GmbH

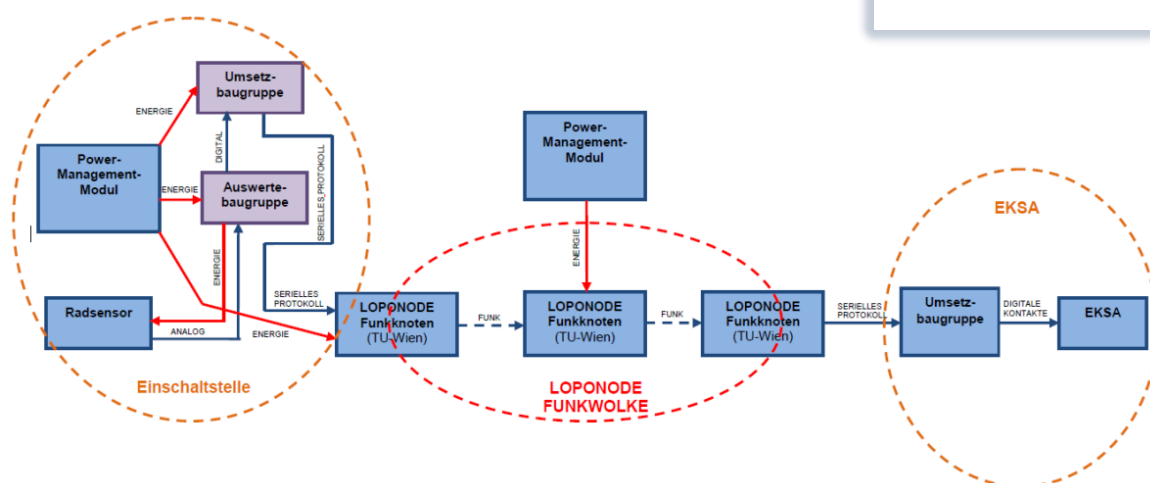


Abbildung 1: Architektur ALPHORN



Abbildung 2: Schaltschrank mit Solarpanel, Auswertung, Umsetzbaugruppe und erstem Funkknoten

Kurzzusammenfassung

Problem

Die Verkabelung streckenseitiger Sensorik und EKSA kann bei Nebenbahnen bis zu 50 % der Gesamtkosten der Errichtung betragen. Safety, Security und Zuverlässigkeit sind die primären Kriterien für eine kabellose Übertragung der relevanten Daten.

Gewählte Methodik

Eine solar-basierte autarke Energieversorgung ermöglicht mit neuen low-power Komponenten ein Setup einer sicheren Funkübertragung von Sensordaten zur EKSA sowie erste Feldmessungen.

Ergebnisse

Das System zur netzautarken Versorgung der Einschaltstelle der EKSA und der sicheren Funkstrecke wurde konzipiert, entworfen, umgesetzt und getestet.

Schlussfolgerungen

Das erarbeitete Konzept zeigt die grundsätzliche Machbarkeit auf und beschreibt künftige, noch nicht gelöste Herausforderungen vor allem hinsichtlich Energieverbrauch und unterbrechungsfreier Übertragung.

English Abstract

Trackside cabling between signalling facilities and trackside sensors is a major element in the cost structure of level crossing systems. A proper solution to this problem is to use wireless communication to transmit safety-relevant data combined with autonomous powered outdoor-units. Project ALPHORN aims on the design, implementation and evaluation of a wireless solution that integrates the following components: Power-management-module to autonomously supply the components; a novel, low-power wheel sensor-technology and a communication module for secure and safe transmission to enable SIL4. An overall assessment is showing the feasibility and challenges for a product in the future.

Impressum:

**Bundesministerium für Verkehr,
Innovation und Technologie**

DI Dr. Johann Horvatits
Abt. IV/ST 2 Technik und
Verkehrssicherheit
johann.horvatits@bmvit.gv.at

DI (FH) Andreas Blust
Abt. III/14 Mobilitäts- und
Verkehrstechnologien
andreas.blust@bmvit.gv.at
www.bmvit.gv.at

ÖBB-Infrastruktur AG

Dr. Thomas Petraschek
Streckenmanagement und
Anlagenentwicklung
Stab LCM und Innovationen
thomas.petraschek@oebb.at
www.oebb.at

Österreichische Forschungs-förderungsgesellschaft mbH

DI Dr. Christian Pecharda
Programtleitung Mobilität
Sensengasse 1, 1090 Wien
christian.pecharda@ffg.at
www.ffg.at

Dezember, 2019

Advanced Low Power Wireless Node ALPHORN

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2015
(VIF2015)

Dez 2019



Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Radetzkystraße 2
A – 1030 Wien

 Bundesministerium
Verkehr, Innovation
und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG
Nordbahnstraße 50
A – 1020 Wien

 **ÖBB**
INFRA

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-
Aktiengesellschaft
Rotenturmstraße 5-9
A – 1010 Wien

 **ASFINAG**

Für den Inhalt verantwortlich:
EBE Solutions GmbH
Rautenweg 14
A - 1220 Wien

 **EBE SOLUTIONS**

Programmmanagement:
Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Thematische Programme
Sensengasse 1
A – 1090 Wien

 **FFG**
Forschung wirkt.

Advanced Low Power Wireless Node ALPHORN

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2015)

AutorInnen:

Dipl.-Ing. (FH) Laurenz Trunner, MBA

Dr. Robert Schönauer

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

EBE Solutions GmbH

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | ABSTRACT | 6 |
| 2 | Management Summary | 7 |
| 3 | Projektübersicht ALPHORN | 8 |
| 3.1.1 | Stand der Technik bzw. Stand des Wissens..... | 8 |
| 3.1.2 | Innovationsgehalt des Vorhabens und erwartete Ergebnisse | 11 |
| 3.2 | Lösungsansatz | 12 |
| 3.2.1 | Innovationsgehalt..... | 17 |
| 3.3 | Methode und wissenschaftlicher Lösungsansatz | 18 |
| 3.3.1 | Schritt 1 – Anforderungsanalyse..... | 19 |
| 3.3.2 | Schritt 2 – Systementwurf..... | 20 |
| 3.3.3 | Schritt 3 – Implementierung..... | 20 |
| 3.3.4 | Schritt 4 - Verifikation & Validierung | 21 |
| 4 | ANFORDERUNGSANALYSE | 23 |
| 4.1 | Gesamtsystem | 23 |
| 4.2 | Essenzielle Weitere Anforderungen | 24 |
| 4.2.1 | Stromversorgung | 24 |
| 4.2.2 | Verfügbarkeit Gesamtsystem | 24 |
| 4.2.3 | Signaltechnische Sicherheit nach CENELEC / SIL4..... | 24 |
| 4.2.4 | Security..... | 25 |
| 5 | SYSTEMENTWURF..... | 26 |
| 5.1 | Aufbaukonzepte | 26 |
| 5.2 | Sicherheitskonzept..... | 27 |
| 6 | ENTWICKLUNG..... | 28 |
| 6.1 | Power-Management-Modul..... | 29 |
| 6.2 | Umsetzungsbaugruppe | 30 |
| 6.3 | Neuer Radsensor | 32 |
| 6.4 | Gesamtaufbau..... | 34 |
| 7 | TESTING..... | 35 |
| 7.1 | Testing Labor | 35 |
| 7.2 | Testing Feld | 35 |
| 7.3 | <i>Gleistopologie</i> | 35 |
| 7.4 | Hardware Aufbau | 36 |
| 7.5 | Verifikation Teilkomponenten und Gesamtsystem im Feld..... | 38 |

| | | |
|--------|--|----|
| 7.6 | Validierung: Betrachtung funktionale Gesamtanforderungen | 38 |
| 7.7 | Maßnahmenkatalog als Empfehlung an die ÖBB | 38 |
| 8 | Anhang A: Liste der Anforderungen | 45 |
| 9 | Anhang B: Verifikationsergebnis | 48 |
| 9.1 | Gesamtsystem | 48 |
| 9.2 | SubS A: Radsensor mit Auswertebaugruppe | 55 |
| 9.3 | SubS B: Umsetzbaugruppe | 56 |
| 9.4 | SubS C: Power Management Modul | 59 |
| 9.5 | SubS D: LOPOLINK | 60 |
| 9.6 | SubS E: EKSA | 61 |
| 9.7 | SubS F: Radsensor mit Bus Schnittstelle | 62 |
| 9.8 | SubS H: Fernüberwachung | 62 |
| 9.9 | SubS I: EKÜS | 63 |
| 9.10 | SubS J: Bahnhof | 63 |
| 9.11 | SubS K: LOPONODE | 64 |
| 9.12 | Datenschnittstellen (DIF) | 64 |
| 9.13 | Versorgungsschnittstellen (PIF) | 66 |
| 10 | Anhang C: Die weiteren Ausführungen | 67 |
| 10.1 | Systemarchitektur Ausführung A.1 | 67 |
| 10.2 | Systemarchitektur Ausführung B | 67 |
| 10.3 | Systemarchitektur Ausführung C | 68 |
| 10.4 | Systemarchitektur Ausführung D | 68 |
| 10.5 | Systemarchitektur Ausführung E | 69 |
| 11 | Anhang D: Testing Power-Management | 70 |
| 11.1 | Testobjekt | 70 |
| 11.2 | Testkriterien | 70 |
| 11.3 | Testergebnis | 70 |
| 11.3.1 | Power Line Conducted Emission | 71 |
| 11.3.2 | Electrostatic Discharge Test | 75 |
| 11.3.3 | Radio- Frequency, Electromagnetic Field Immunity Test | 76 |
| 11.3.4 | Transient Burst Susceptibility Test | 77 |
| 11.3.5 | Surges Test | 77 |
| 11.3.6 | Radio-Frequency, Conducted Disturbances Immunity Test | 78 |
| 12 | Anhang E: Weitere Abbildungen | 79 |

1 ABSTRACT

Trackside cabling between signalling facilities and trackside sensors is a major element in the cost structure of level crossing systems. A proper solution to this problem is to use wireless communication to transmit safety-relevant data combined with autonomous powered outdoor-units. Project ALPHORN aims on the design, implementation and evaluation of a wireless solution that integrates the following components: Power-management-module to autonomously supply the components; a novel, low-power wheel sensor-technology and a communication module for secure and safe transmission to enable SIL4. An overall assessment is showing the feasibility and challenges for a product in the future.

2 MANAGEMENT SUMMARY

Problemstellung

Die Verkabelung streckenseitiger Sensorik und EKSA kann bei Nebenbahnen bis zu 50 % der Gesamtkosten zur Errichtung betragen. Sicherheit, Security und Zuverlässigkeit sind die primären Kriterien für eine kabellose Übertragung der relevanten Daten.

Gewählte Methodik

Eine solar-basierte autarke Energieversorgung ermöglicht mit neuen low-power Komponenten ein Setup einer sicheren Funkübertragung von Sensordaten zur EKSA sowie erste Feldmessungen.

Ergebnisse

Das System zur netzautarken Versorgung der Einschaltstelle der EKSA und der sicheren Funkstrecke wurde konzipiert, entworfen, umgesetzt und getestet. Diese Ergebnisse und Erkenntnisse von ALPHORN wurden während der prototypischen Realisierung einer sicheren Funkübertragung von Sensordaten und Signalen gemäß den gültigen Sicherheitsanforderungen im Bahnbereich, zwischen Einschaltstelle und EKSA gewonnen:

- Energieverbrauch der Sensorik und Elektronik an der Einschaltstelle ist eine Herausforderung für eine hochzuverlässige autarke Energieversorgung
- Die Zuverlässigkeit der Funkstrecke ist nur durch geringe Abstände von Funkknoten und Redundanz erreichbar, dies reduziert die wirtschaftliche Attraktivität der Lösung im Vergleich zu konventionellem Streckenkabel
- Safety und Security gemäß den relevanten Bahnnormen ist erreichbar. Der Energieverbrauch für die elektronische Lösung ist akzeptabel
- Höhere Life-Cycle Kosten sind durch die höhere Anzahl an Typen & Menge von elektronischen Komponenten im Außenbereich zu erwarten
- Größere Distanzen bedingen eine andere Funktechnologie als die im Rahmen von ALPHORN erprobte Beistellung

Schlussfolgerungen

Das Konzept zeigt die grundsätzliche Machbarkeit auf sowie die Probleme und Parameter hinsichtlich Energieverbrauch und Übertragungszeiten.

3 PROJEKTÜBERSICHT ALPHORN

3.1.1 Stand der Technik bzw. Stand des Wissens

Problemstellung

Die Installation der Verkabelung zur Energieversorgung / Datenübertragung streckenseitiger Sensorik bzw. zur Datenübertragung zwischen Eisenbahnsicherungsanlagen (z.B. EK und STW) entlang der Eisenbahninfrastruktur ist aufwendig und meist mit sehr hohen Kosten verbunden. Dieser Aufwand kann bei Nebenbahnen bis zu 50 % der Gesamtkosten zur Errichtung einer Eisenbahnkreuzungssicherungsanlage (EKSA) ausmachen und somit in vielen Fällen auch die Möglichkeiten der Sicherungen von EKs reduzieren.

Schienenfußverkabelung ist mittlerweile zwar Stand der Technik, reduziert den Aufwand aber in einem nicht zufriedenstellenden Ausmaß. Zudem ist die Schienenfußverkabelung installationsbedingt Gefahren durch umweltbedingter Beschädigung ausgesetzt.

Eine mögliche Lösung ist der kombinierte Einsatz von Funkkommunikation zur Übertragung von Sensordaten u. Signalen und energieautarker Teilsystemen. Abgesehen von GSM-R kommt Funkkommunikation im Bahnbereich aus verschiedenen Gründen kaum zur Anwendung:

- Viel der bereits verfügbaren proprietären Lösungen im Funkbereich sind nicht zukunftssicher, bringen keine ausreichende Verfügbarkeit und sind schwierig in bestehende Systeme einzubinden.
- Hoher Sicherheits- und Securityanforderungen im Bahnbereich
- Funk-unfreundliche Umgebung im Bahnbereich (Störungsquellen)
- Elektromagnetische Störquellen unterschiedlicher Spektren entlang der Strecke (Umrichter von Fahrzeugen, Induktion von Traktionsströmen)
- Teilweise ungünstige Topographien
- Das Sensorwirkprinzip vereint oft Energieversorgung mit dem elektrischen Wirkprinzip (Schleifen, Radsensoren)
- Fehlen eines Standards in Bezug auf Schnittstellen
- Hoher Energieaufwand nötig um Funkstrecken auf zu bauen

Funkübertragungssysteme gehören zu den offenen Netzen, mit standardbezogenen Anforderungen an Übertragungs-, Fehleroffenbarungs- und Fehlerkorrekturprotokollen. Zudem sind weitere Schutzmaßnahmen (Security) auszuführen.

In den vergangenen Jahren gab es einige F&E-Projekte auf nationaler und internationaler Ebene, die sich mit den Themen Funkkommunikation und autarke Energieversorgung auseinandergesetzt haben:

Projekte/Produkte national:

- **LOPONODE Middleware:** Der Hauptfokus des LOPONODE-Middleware Projektes war die Erforschung von geeigneten Koordinationsmechanismen und Middleware-Konzepten für Low-Power-Nodes anhand von Anwendungsfällen im Bahnbereich (Eisenbahnkreuzungssicherungsanlage). Die technische Machbarkeit von robusten, wiederverwendbaren Koordinationsbausteinen für die sichere Kommunikation und Kollaboration von Lopo-Nodes zwecks konsistenter Informationsverteilung im Netzwerk wurde im Rahmen des Projekts nachgewiesen.
- **ISIS-EK:** Ziel des Projektes „ISIS-EK - Intelligentes System zur Identifikation und Signalisierung an nicht-technisch gesicherten Eisenbahnkreuzungen“ war die Wahrnehmung und Erkennbarkeit von Eisenbahnkreuzungen zu erhöhen, die nicht mit Schranken oder Lichtzeichenanlagen gesichert sind. Zu den Projektzielen zählten unter anderem:
 - **Berührungslose Detektion von Zügen:** Dafür wurde prototypisch ein Detektionssystem entwickelt, bei dem Radarsensoren mit Lichttastern logisch miteinander verknüpft wurden um ankommende Züge zu detektieren.
 - **Funkübertragung der Detektionsdaten:** Über ein Funkmodul (800 MHz) wurden die Detektionsdaten zum Zentralrechner übertragen. Von der Zentralsteuerung aus, wurden die Wechselverkehrszeichen sowie die LaneLights über Bluetooth angesteuert.

Die berührungslose Detektion und die drahtlose Datenübertragung konnte erfolgreich umgesetzt werden. Die Funktionalität war gewährleistet, die Verfügbarkeit war in einem hohen Ausmaß gegeben.

- **ISIS EK 2:** Ziel des Projektes „ISIS II – Intelligentes System zur Identifikation und Sicherung an Eisenbahnkreuzungen im Bereich der Neben- und Anschlussbahnen“ war aufbauend auf den Ergebnissen des Vorgängerprojektes „ISIS-EK“ die Eisenbahnkreuzungs-Warnanlage ISIS-EK durch Neuentwicklung schienenseitiger Komponenten in Kombination mit bereits bestehenden sicherungstechnischen Komponenten zu verbinden und somit eine kostengünstige technische Sicherung zu entwickeln.

Das System ISIS-EK II basierte unter anderem auf folgenden Eckpunkten:

- **Berührungslose Detektion der schienengebundenen Fahrzeuge:** Weiterentwicklung des Detektionssystems. Einsatz von Radarsensoren und Magnetfeldsensoren zur Detektion von schienengebundenen Fahrzeugen.
- **Drahtlose Kommunikation der Schienenverkehrskomponenten zur Zentraleinheit (im EK-Steuerungshaus) mittels Datenfunk:** Einsatz eines verschlüsselten Verfahrens zur Funk-Datenübertragung
- **Einschaltpunkte der Sicherungsanlage mittels ISIS-Sensorik und autarker Energieversorgung** (Entfall der kostenintensiven Grabungs- und Verkabelungsarbeiten)

Projekte/Produkte international:

- Flammini et al. (2010) zeigen ein Konzept eines wireless sensor networks (WSN) zur Überwachung von Anlagen der Infrastruktur. Der Fokus liegt auf dem Zustand von Kunstbauten und Gleisen und vernachlässigt die Energieversorgung der Sensorik.
- Wireless Level Crossings im australischen Country Regional Network: Hier wurde die drahtlose Anbindung der Einschaltpunkte über redundante Funk-Übertragung realisiert. Dazu kamen Funk-Module von Moxa und Tranzeo zum Einsatz. Die redundante Übertragung wurde auf einer Frequenz von 900Mhz realisiert.
- Wireless Level Crossings bei ARTC Adelaide: In diesem Projekt wurde die Anbindung der Einschaltpunkte mittels 4G realisiert. Dies hat den Vorteil, dass 4G-Netze flächendeckend verfügbar sind und genutzt werden können, wobei die schwankende Übertragungsqualität eine Herausforderung ist.
- In Kolumbien werden derzeit 22 EK mit einer Sicherungsanlage der US Firma Railroad Signal International ausgestattet, welches ein solargespeistes Zugerfassungssystem der kanadischen Firma Argenia Railway Technologies einsetzt (Railway Gazette, 2015).

3.1.2 Innovationsgehalt des Vorhabens und erwartete Ergebnisse

Projektziele

Ziel des Projektes „ALPHORN“ ist die prototypische Realisierung einer sicheren Funkübertragung von Sensordaten und Signalen gemäß den gültigen Sicherheitsanforderungen im Bahnbereich, zwischen Einschaltstelle und Eisenbahnkreuzungssicherungsanlage (EKSA), Eisenbahnkreuzungssicherungsanlage und Fernüberwachungseinrichtung bzw. Eisenbahnkreuzungsüberwachungssignal (EKÜS) und zwischen zwei Bahnhöfen.

Kernpunkte des Projektes sind:

- a) **Ausarbeitung der Aufbaukonzepte unter Nutzung der LOPONODE-Funkknoten für die Funk-Datenübertragung** in vier unterschiedlichen Szenarien:
 - EKSA zu Einschaltstelle
 - EKSA zu EKÜS
 - EKSA zu Fernüberwachungseinrichtung
 - Bahnhof zu Bahnhof
- b) **Die (Weiter)Entwicklung einer sicheren Umsetzbaugruppe gemäß SIL4**
- c) **Die Entwicklung eines Power-Management-Moduls zur sehr langlebigen netzautarken Energieversorgung** der LOPONODE-Funkknoten, der erforderlichen Sensorik und Signale sowie der notwendigen Umsetzbaugruppen.
- d) **Erprobung neuer Radsensor-Technologien** mit geringem Energieverbrauch und seriellem Datenprotokoll.
- e) **Die Einbindung der bestehenden LOPONODE-Funkknoten (TU-Wien) zur Funkübertragung der Sensordaten und Signale** von Radsensor zur EKSA sowie von der EKSA zur Fernüberwachungszentrale / EKÜS und Bahnhof zu Bahnhof.
- f) **Die Erarbeitung eines Security-Konzeptes**, gemeinsam mit der Technischen Universität Wien – Institut für Computersprachen, zur Erreichung des SIL4 für den Betrieb der LOPONODE-Funkknoten
- g) **Evaluierung des Gesamtsystems** an einer Eisenbahnkreuzung sowie im Bereich einer 20 Kilometer langen Nebenstrecke des Auftraggebers.

Die Entwicklung erfolgt nach den (bekannten) Anforderungen der Ausschreibung.

Zur Übertragung der Sensordaten bzw. Signale gibt es folgende Möglichkeiten:

3.2 Lösungsansatz

Um die beschriebenen Projektziele zu erreichen werden folgende Lösungsansätze verfolgt:

a) Ausarbeitung der Aufbaukonzepte unter Nutzung der LOPONODE-Funkknoten für die Funk-Datenübertragung

Für die Funk-Datenübertragung zwischen

- EKSA zu Einschaltstelle,
- EKSA zu EKÜS,
- EKSA zu Fernüberwachungseinrichtung und
- Bahnhof zu Bahnhof

werden Aufbaukonzepte erarbeitet. Die verschiedenen Aufbaukonzepte wurden schon zuvor grundsätzlich beschrieben. In die Ausarbeitung fließen die definierten Systemanforderungen ein.

b) Die (Weiter)Entwicklung einer sicheren Umsetzbaugruppe gemäß SIL4

Prinzipiell dienen die beiden im System integrierten Umsetzbaugruppen, dazu die Daten für die transparente Übertragung durch das LOPONODE-Netzwerk aufzubereiten. Hierzu sind neben technischen Aspekten vor allem Sicherheitsaspekte zu berücksichtigen. Neben der funktionalen Sicherheit („Safety“) spielt auch der Schutz gegen bewusste Manipulation („Security“) eine wichtige Rolle. Im Rahmen der Entwicklung dienen die geltenden Normen der CENELEC (EN5012x, EN50159 etc.) bezüglich der funktionalen Sicherheit und der IEC (IEC62443) als Stand der Technik und als Richtschnur für die durchzuführenden Entwicklungen.

Praktisch dient die Umsetzbaugruppe auf der einen Seite dazu, verschiedene Eingangsinformationen (z.B. digitale Signale des Radsensors) einzulesen und für die Datenübertragung durch den LOPONODE-Funkknoten aufzuarbeiten und an diesen zu übergeben. Auf der anderen Seite empfängt die Umsetzbaugruppe die Daten vom LOPONODE-Funkknoten, analysiert und validiert diese und stellt sie, wenn die Datenintegrität nachgewiesen ist, den nachfolgenden Einrichtungen (z.B. EKSA Steuerung) zur Verfügung.

Folgende Kern-Ansprüche/-Merkmale bestehen bezüglich der Umsetzbaugruppe **auf der Seite des Einschaltpunkts**:

- Bereitstellung einer funktional sicheren (SIL4 nach CENELEC) digitalen Eingangsschnittstelle zum Auslesen des Radsensorzustands
- Integrierte, funktional sichere (SIL4 nach CENELEC) Steuerung, welche die Radsensorinformation für eine sichere Datenübertragung (nach EN50159) aufbereitet und an den LOPONODE Funkknoten übermittelt

- Verschlüsselung/Sicherung des zu übertragenden Datentelegramms unter Berücksichtigung von Security Aspekten (In Anlehnung an die IEC62443) unter Einbeziehung des notwendigen Key-Managements
- Optimierung/Minimierung des Energiebedarfs zum Einsatz in autark betriebenen Systemen

Folgende Kern-Ansprüche/-Merkmale bestehen bezüglich der Umsetzbaugruppe **auf der Seite der Steuerung (z.B. EKSA)**:

- Entschlüsselung der Datennachricht bzw. Überprüfung der Integrität bezüglich eventueller Manipulationsversuche
- Bewertung des empfangenen Datentelegramms bezüglich der funktionalen Integrität durch eine sichere (SIL4) Steuerung
- Bereitstellung einer funktional sicheren (SIL4 nach CENELEC) digitalen Ausgangsschnittstelle zur Steuerung, einschließlich der Auswertung, ob die Information bezüglich etwaiger Zeitansprüche „aktuell“ ist
- Optimierung/Minimierung des Energiebedarfs zum Einsatz in autark betriebenen Systemen

Neben den minimal umzusetzenden Schnittstellen sollen in der Umsetzbaugruppe weitere Schnittstellen vorgesehen werden, um das System offen für Erweiterungen zu halten. Konkret sollen neben den digitalen Ein- bzw. Ausgängen, eine CAN-Bus und eine Ethernet Schnittstelle bereitgestellt werden. Auch hier werden die Informationen ausgelesen, funktional gesichert, verschlüsselt und übertragen. Die Gegenstelle durchläuft den Prozess dann reziprok und stellt die Informationen an einer CAN-Bus und/oder Ethernet Schnittstelle wieder zur Verfügung.

Im Rahmen des Projektes wird ein Prototypenstadium der Umsetzbaugruppe angestrebt.

c) Die Entwicklung eines Power-Management-Moduls zur netzautarken Energieversorgung der LOPONODE-Funkknoten, der erforderlichen Sensorik und Signale sowie der notwendigen Umsetzbaugruppen:

Die netzautarke Energieversorgung der LOPONODE-Funkknoten, der Sensorik und Signale sowie der notwendigen Umsetzbaugruppen, etc., erfolgt über das Power-Management-Modul.

Der Energieautarke Betrieb wird mit einer solarbasierten fehlertoleranten Stromversorgung sichergestellt. Je nach Energieverbrauch der angeschlossenen Komponenten kann die Größe bzw. Anzahl der Photovoltaikmodule und Akkus variieren. Der Ausfall von Solarzelle, Kabel oder interner Solarbatterie (Defekt,

Vandalismus, Diebstahl) kann ohne Betriebsunterbrechung für eine Dauer von mehreren Tagen bis zum Eintreffen des Servicepersonals mittels eines zweiten internen Primärspeichers (Notstromversorgung) überbrückt werden. Die Überwachung sämtlicher Stromversorgungsparameter werden vom Power-Management-Controller registriert und im Fehlerfall umgehend über das Fernwartungsinterface (GSM Modul) gemeldet.

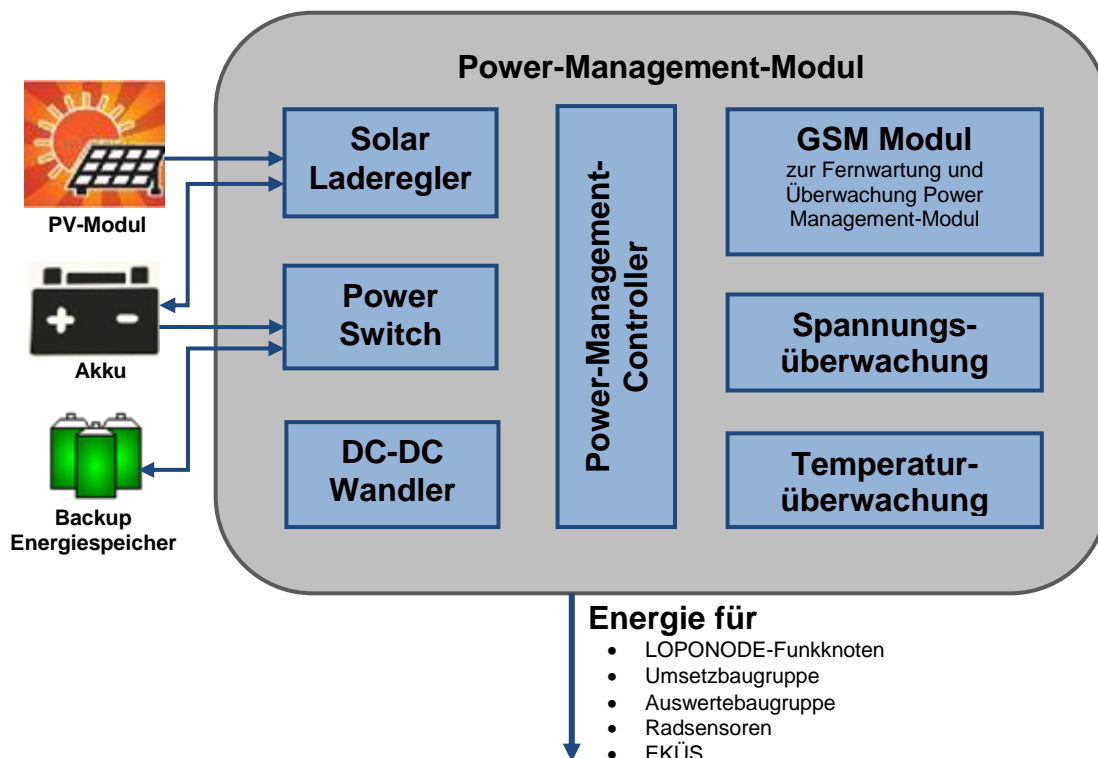


Abbildung 1: Systemarchitektur Power-Management-Modul

Was die Stromversorgung betrifft soll ein modularer und flexibler Ansatz mit einstellbaren Spannungen es auch ermöglichen andere Feldelemente (Radsensoren, Umsetzbaugruppen, Auswertebaugruppen, EKÜS, etc.) oder Funkkomponenten (andere Funkstandards) zu versorgen.

Die Steuerung des Power-Management Moduls übernimmt der zentrale Power-Management-Controller, dieser leitet auch eventuell anfallende Fehlermeldungen bzw. Fehlfunktionen an das Fernwartungsinterface weiter.

d) Erprobung neuer Radsensor-Technologien mit geringem Energieverbrauch und seriellem Datenprotokoll.

Während oben genannte Ausführung A mit bestehender und vielfach erprobter Technologie im Bereich der Raddetektion realisiert werden kann, ist für die

Implementierung der Ausführung B aufgrund der Rahmenbedingungen (serielle Datenübertragung vom Sensor zur EKSA, Minimierung des Energiebedarfs) der Einsatz innovativer neuer Technologien erforderlich. Aus diesem Grund ist geplant, Radsensoren bzw. Prototypen aus dem FFG-geförderten Projekt „Gleissensorik“, in das vorliegende Projekt zu implementieren und zu erproben.

e) Die Einbindung der bestehenden LOPONODE-Funkknoten (TU-Wien) zur Funkübertragung der Sensordaten und Signale:

Die Funk-Datenübertragung erfolgt über die bestehenden LOPONODE-Funkknoten. Gemeinsam mit der Technischen Universität Wien – Institut für Computersprachen werden die für die Einbindung erforderlichen technischen Anforderungen spezifiziert.

f) Die Erarbeitung eines Security-Konzeptes zur Erreichung des SIL4 für den Betrieb der LOPONODE-Funkknoten:

Gemeinsam mit der Technischen Universität Wien – Institut für Computersprachen wird ein Security-Konzept zur Erreichung des SIL4 für den Betrieb der LOPONODE-Funkknoten nach den im Bahnbereich gültigen Sicherheitsanforderungen erarbeitet.

Die Projektpartner verfügen über ein umfangreiches Wissen und Erfahrung im Gebiet der Funkkommunikation im Bahnbereich und bringen dieses in das Projekt ein. Dieses Know-how kann auch in die Weiterentwicklung der LOPONODE-Funkknoten einfließen.

- EBE Solutions GmbH: In den beiden Projekten ISIS EK und ISIS EK II wurde unter anderem ein System zur Funkkommunikation von Sensordaten im Bahnumfeld prototypisch entwickelt und getestet.
- Zöllner Signal GmbH entwickelt seit 2004 SIL 4 zertifizierte Automatische Funkwarnsysteme nach CENLEC EN50126, EN50128, EN50129 und EN50159. Hierbei werden die sicheren Sensordaten ausgewertet und mittels Funk an die Zentrale des Automatischen Funkwarnsystems übertragen. Sichere SIL4 Datenübertragung bei gleichzeitig hoher Verfügbarkeit stehen im Fokus.

g) Evaluierung des Gesamtsystems an einer Eisenbahnkreuzung sowie im Bereich einer 20 Kilometer langen Nebenstrecke des Auftraggebers.

Dafür werden die beschriebenen Ausführungen (A bis E) zur Funkübertragung von Sensordaten bzw. Signalen in Abstimmung mit dem Auftraggeber entlang der definierten Teststrecken aufgebaut. Zuvor definierte Funktionstests werden durchlaufen und dokumentiert. Die Testergebnisse werden in Hinblick auf die grundlegenden, funktionalen Anforderungen betrachtet.

Eine übergeordnete Zusammenfassung der erfolgten Validierungstests und Verifikationen der involvierten Teilsysteme wird erstellt. Ausgehend vom methodischen Zugang und den Ergebnissen wird ein Maßnahmenkatalog abgeleitet, in dem die weitere Vorgehensweise zur Industrialisierung des im Projekt entwickelten Systems aufgezeigt wird.

h) Kleines, robustes, betriebssicheres und schnell montierbares Gehäuse:

Ziel ist die prototypische Entwicklung eines kleinen, robusten, betriebssicheren und schnell montierbaren Gehäuses in welches die Systemkomponenten (Power-Management-Modul, Auswertebaugruppe, Umsetzbaugruppe, Akkus, etc.) integriert sind. Durch eine geschickte Konstruktion wird versucht die Photovoltaikmodule in die Wände des Gehäuses zu integrieren. Für Anlagen mit einem größeren Energieverbrauch werden Anschlüsse zur Erweiterung mit Photovoltaikmodulen vorgesehen.

Das Gehäuse wird robust aber möglichst leicht konzipiert werden und die Windangriffsflächen gering gehalten. Die Befestigung soll z.B. an den Oberleitungsmasten mittels einfach montierbarer Montageschellen erfolgen.

Sofern machbar werden die Antennen intern angebracht.

Nach einer ersten Dimensionierung des Lösungsansatzes gehen wir von einer Solarfläche in A4-A3 Blattgröße aus und einem Gesamtgewicht des Gehäuses von < 15 Kg inkl. sämtlichen Batterien. Auch ohne Sonnenlicht soll das Konzept bis zu 3 Wochen ohne Solarstrom überbrücken können.

Die Projektpartner können auch hier auf ihr umfangreiches Knowhow im Bereich von Gehäuse und dessen Konstruktion zurückgreifen.

i) Einfache und leichte Wartung sowie Überwachung der ordnungsmäßigen Funktion:

- **Störungsmeldungen Gesamtsystem:** Fehler- und Störungsmeldungen der LOPONODE-Funkknoten sowie aller angebundener Feldelemente (Radsensoren) werden in das Diagnosesystem der EKSA angebunden. Dieses basiert ebenso auf offenen Standardschnittstellen und stellt dem Instandhaltungspersonal alle erforderlichen Informationen sowohl von der EKSA als auch der LOPONODE-Funkknoten zur Verfügung.
- **Störungsmeldungen/Überwachung Power-Management-Module:** Im Power-Management-Modul findet eine Selbstüberwachung der Funktionalität aller Energieversorgungs-komponenten durch den Power-Management-Controller statt. Ein sich ändernder Funktionszustand wird über ein standardisiertes GSM basiertes Fernwartungsinterface gemeldet. Das

Fernwartungsinterface ermöglicht die effiziente Echtzeitüberwachung des Power-Management-Moduls. Bei Spannungsausfall der Solarzelle (z.B. Abdeckung, Kabel abgeschnitten usw.) sowie bei unerwartetem Batterieabfall können von vornherein Grenzen definiert werden, sodass die Überwachungseinheit eine direkte Alarmmeldung an das Servicepersonal schickt. Ebenso werden Fehlerzustände wie Einbruch der geregelten Ausgangsspannungen gemeldet.

j) Nicht-proprietäre Entwicklung und Nutzung offen zugänglicher Protokolle und Entwicklung

Das Gesamtsystem wird, nicht-proprietär entwickelt. Das bedeutet, dass die im vorliegenden Projekt zu entwickelnde Funkkommunikation und die netzautarke Energieversorgung unabhängig von den eingesetzten Sensoren (z.B. Radsensoren) bzw. Sicherungsanlagen (z.B. EKSA) verwendet werden kann.

k) Entwicklung eines modular aufgebauten Systems:

Das Gesamtsystem wird so entwickelt, dass sämtliche Systemkomponenten einfach ausgetauscht werden können und eventuell durch alternative kompatible Komponenten ersetzt werden können.

Die Modular einfach auszutauschenden Subkomponenten umfassen:

- Solarzelle (Extern, teil des Gehäusedaches)
- Solarbatterie (Verschiedene Typen können eingesetzt werden)
- Backup Primärzelle (Standardzellen oder Batteriepacks in D- Größe)
- Radsensor
- Richtantenne
- Power-Management-Modul
- Auswertebaugruppe
- Umsetzbaugruppe

3.2.1 Innovationsgehalt

- **Signaltechnisch sichere und verfügbare Funkübertragung:** Als Hauptinnovation im Projekt kann die signaltechnisch sichere und verfügbare Funkübertragung (Erfüllung der funktionalen Sicherheitsanforderungen „Safety“ (SIL4)) genannt werden. Darüber hinaus werden die Anforderungen der Sicherheit in Bezug auf Manipulation und Attacken „Security“ ebenso erfüllt. Dafür werden die notwendigen Prozesse zur Einhaltung der Security über den gesamten Lebenszyklus betrachtet und definiert.

- **Offene Protokolle:** Eine weitere Innovation ist die Nutzung von bereits offen zugänglichen Protokollen, was im Bahnbereich bis heute unüblich ist.
- **Sichere Umsetzbaugruppe:** Die Entwicklung einer sicheren Umsetzbaugruppe zählt ebenso zu den wesentlichen Innovationen im vorliegenden Projekt. Die sichere Umsetzbaugruppe ermöglicht die Anbindung beliebiger Feldelemente (wie z.B. Radsensoren, EKÜS, etc.) und die Übertragung beliebiger Signale (herstellerunabhängig).
- **Netzautarke, dezentrale Energieversorgung:** Auch der Entwurf und die Entwicklung einer netzautarken Energieversorgung der im Projekt eingesetzten Komponenten (LOPONODE-Funkknoten, Einschaltstellen, EKÜS) unter Berücksichtigung der bei Eisenbahnsignalsystemen üblichen Lebenszyklusdauer (25 bis 30 Jahre), kann als Innovation bezeichnet werden, denn bis heute ist es im Bahnbereich aus RAMS bezogenen Gründen unüblich, Sensoren und Teilsysteme netzautark mit Energie zu versorgen.
- **Erprobung neuer Batterietechnologien:** Geplant sind Li-Ionen-Akkus einzusetzen, da diese Technologie vor allem bei tiefen Temperaturen Vorteile gegenüber herkömmlicher Blei-Akkus bieten. Neben der Gewichtsersparnis kommt noch der Vorteil der Langlebigkeit der neuen Li-Ionen-Akku-Generationen hinzu.
- **Drastische Reduktion des Verkabelungsaufwands** und damit Kostenersparnis gegenüber herkömmlichen Lösungen für EK

3.3 Methode und wissenschaftlicher Lösungsansatz

Um die zuvor beschriebenen Ziele des Projektes ALPHORN zu erreichen, kommen die nachfolgend beschriebenen Methoden und Arbeitsschritte zur Anwendung.

Die Entwicklung des Gesamtsystems orientiert sich an dem in EN 50126 und EN 50129 vorgegebenen V-Modell. Abbildung 2 zeigt die einzelnen Entwicklungsphasen im Projekt.

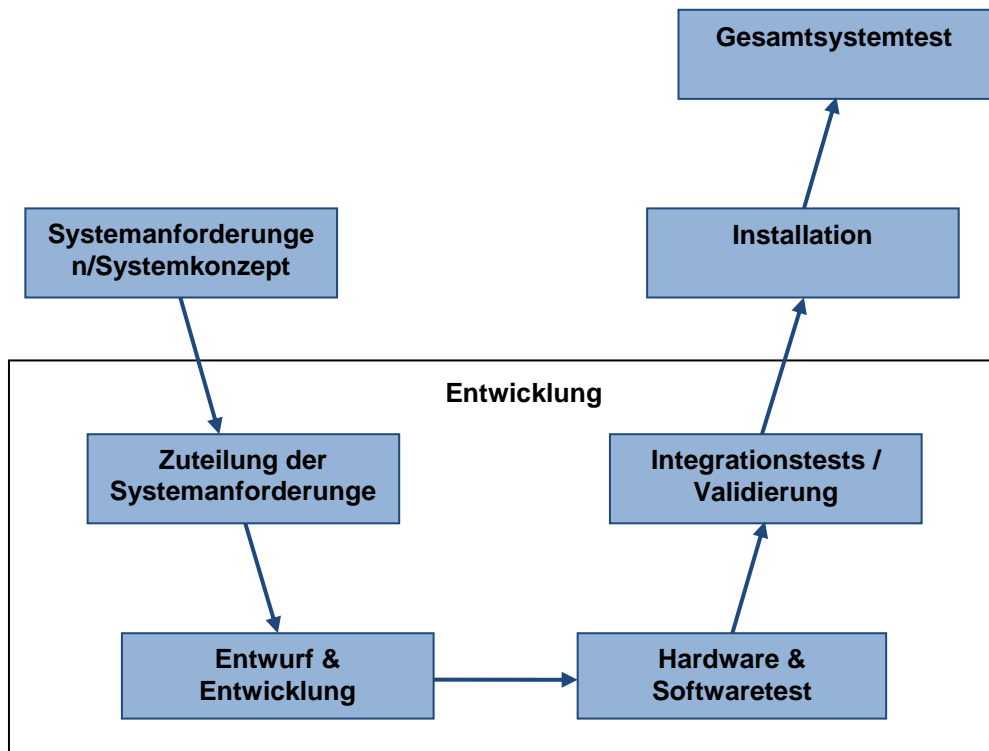


Abbildung 2: Entwicklung Gesamtsystem nach dem V-Modell

Aufbauend darauf ergibt sich für das vorliegende Projekt folgende Vorgehensweise:

3.3.1 Schritt 1 – Anforderungsanalyse

Im ersten Schritt werden von den Projektpartnern die Systemanforderungen (gemeinsam mit den relevanten Stakeholdern (Auftraggebern, Technische Universität Wien – Institut für Computersprachen, etc.) erhoben, analysiert, spezifiziert und bewertet. Dabei werden sowohl die technischen Anforderungen (wie z.B. funktionale Anforderungen, konstruktive Anforderungen, Umwelanforderungen, sonstige Anforderungen) als auch die Sicherheitsanforderungen und RAMS-Anforderungen (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) betrachtet.

Angewandte Methoden:

- Recherche der relevanten Verordnung u. Normen (z.B. EN 50126, EN 50128, EN 50129, EN 50159, IEC 62443 und weiteren)
- Workshops mit den relevanten Stakeholdern

Erwartete Ergebnisse:

- Technische Anforderungen (Funktionale Anforderungen, Umwelanforderungen, Konstruktive und sonstige Anforderungen)

- Sicherheitsanforderungen- & RAMS-Anforderungen
- Lastenheft u. Pflichtenheft

3.3.2 Schritt 2 – Systementwurf

Auf Basis der Anforderungsanalyse werden im zweiten Schritt die Systemarchitekturen des Gesamtsystems und der Teilkomponenten von den jeweils verantwortlichen Projektpartnern entwickelt. Dazu zählen folgende Tätigkeiten:

- Ausarbeitung der Aufbaukonzepte unter Nutzung der LOPONODE-Funkknotten für die Funk-Datenübertragung Funkkommunikation
- Entwurf Energieversorgungskonzept (Erzeugung und Speicherung)
- Entwurf Sensorkonzept
- Entwurf Sicherheitskonzept
- Entwurf Umsetzbaugruppe
- Entwurf Gehäuse
- Entwurf Gesamtsystem

Angewandte Methoden:

- Konzeptentwicklung nach den im Bahnbereich gültigen Normen
- Workshops

Erwartete Ergebnisse:

- Systementwürfe der Teilkomponenten
- Systementwurf des Gesamtsystems

3.3.3 Schritt 3 – Implementierung

Im dritten Schritt werden die einzelnen Komponenten des Gesamtsystems entwickelt und unter Laborbedingungen getestet. Dazu zählen folgende Tätigkeiten:

- Entwicklung und Test Energieversorgungskonzept (Erzeugung und Speicherung)
- Entwicklung und Test Sensorkonzept
- Entwicklung und Test Sicherheitskonzept
- Entwicklung und Test Umsetzbaugruppe
- Entwicklung Gehäuse

Angewandte Methoden:

- Entwicklung der Teilkomponenten und des Gesamtsystems nach den im Bahnbereich gültigen Normen
- Hardware- u. Softwaretests
- Integrationstests

Erwartete Ergebnisse:

- Getestete und prototypisch einsatzfähige Teilkomponenten sowie Gesamtsystem

3.3.4 Schritt 4 - Verifikation & Validierung

Im letzten Schritt werden die unter Kapitel 0 beschriebenen Ausführungen (A bis E) zur Funkübertragung von Sensordaten bzw. Signalen unter realen Bedingungen getestet. Dafür wird das im Projekt entwickelte System entsprechend der beschriebenen Ausführungen entlang der definierten Teststrecke aufgebaut, ausführlich getestet und bewertet.

Aufbauend auf den Ergebnissen wird ein Maßnahmenkatalog abgeleitet, in dem die weitere Vorgehensweise zur Industrialisierung des im Projekt entwickelten Systems aufgezeigt wird.

Dazu zählen folgende Tätigkeiten:

- Aufbau der Ausführungen A, B, C, D, E entlang eines Abschnittes der definierten Teststrecke (Nebenbahn).
- Funktionstests der einzelnen Teilkomponenten und des Gesamtsystems unter realen Bedingungen (Verifikation). Direkter Vergleich mit konventioneller (verkabelter) Datenübertragung in Ausführung A (EKSA zu Einschaltstelle).
- Funktionale Validierung des Gesamtsystems
- Dokumentation, Erstellung eines Verifikations- und Validierungsprotokolls
- Ableitung des Maßnahmenkatalogs zur notwendigen Vorgehensweise bei der Industrialisierung des Gesamtsystems

Angewandte Methoden:

- Verifikation und Validierung

Erwartete Ergebnisse:

- Unter realen Bedingungen verifiziertes und funktional validiertes Gesamtsystem
- Maßnahmenkatalog zur Industrialisierung des Gesamtsystems

Die Systemkonzeption wurde in zwei Teile aufgegliedert:

- die Konzeption von ALPHORN als Upgrade des bestehenden AWS mit GNSS-Ortung,
- die Konzeption des Demonstrators.

Das Konzept von ALPHORN als AWS-Upgrade sieht vor, dass jedem Endgerät bei Anmeldung auf Grundlage der aktuellen Position ein Warnbereich zugeordnet wird. Es wurde gezeigt, wie bei Anmeldungen und Positionsänderungen der AWS-Warngeräte dynamisch neue Warnbereiche berechnet werden können.

Für die genaue Positionsbestimmung der AWS-Warngeräte mittels GNSS-Ortung wurden die Korrekturdaten des TEPOS/EPOSA Diensts herangezogen.

Der Demonstrator wurde so konzipiert, dass die Funktionen der AWS-Warngeräte mit GNSS-Ortung abgebildet wurden. Zusätzlich wurden die Funktionen für die Zuordnung von Warnbereichen zu einem AWS-Warngerät und deren Aktivierung nachgebildet (keine Realisierung einer Anbindung an die Leit- und Sicherungstechnik des bestehenden AWS).

Anhand der Konzeption des Demonstrators wurden funktionale Anforderungen in einem Pflichtenheft (en: *functional requirements specification*; kurz: FRS) verfasst, an der sich die nachfolgende Entwicklung des Demonstrators orientierte.

4 ANFORDERUNGSANALYSE

Das vorliegende Dokument beschreibt die Funktionalen-, Technischen- und Sicherheitsanforderungen an das im Rahmen des Projekts „ALPHORN“ umzusetzende Gesamtsystem mit folgenden Schwerpunkten:

- Gesamtfunktionalität
- Umsetzbaugruppe
- Power-Management-Modul
- Schnittstellen

Im Anhang A ist die Struktur der erstellten Anforderungsspezifikation dargestellt.

4.1 Gesamtsystem

Abbildung 3 zeigt die verbindliche Anforderung an die Systemarchitektur Ausführung A.

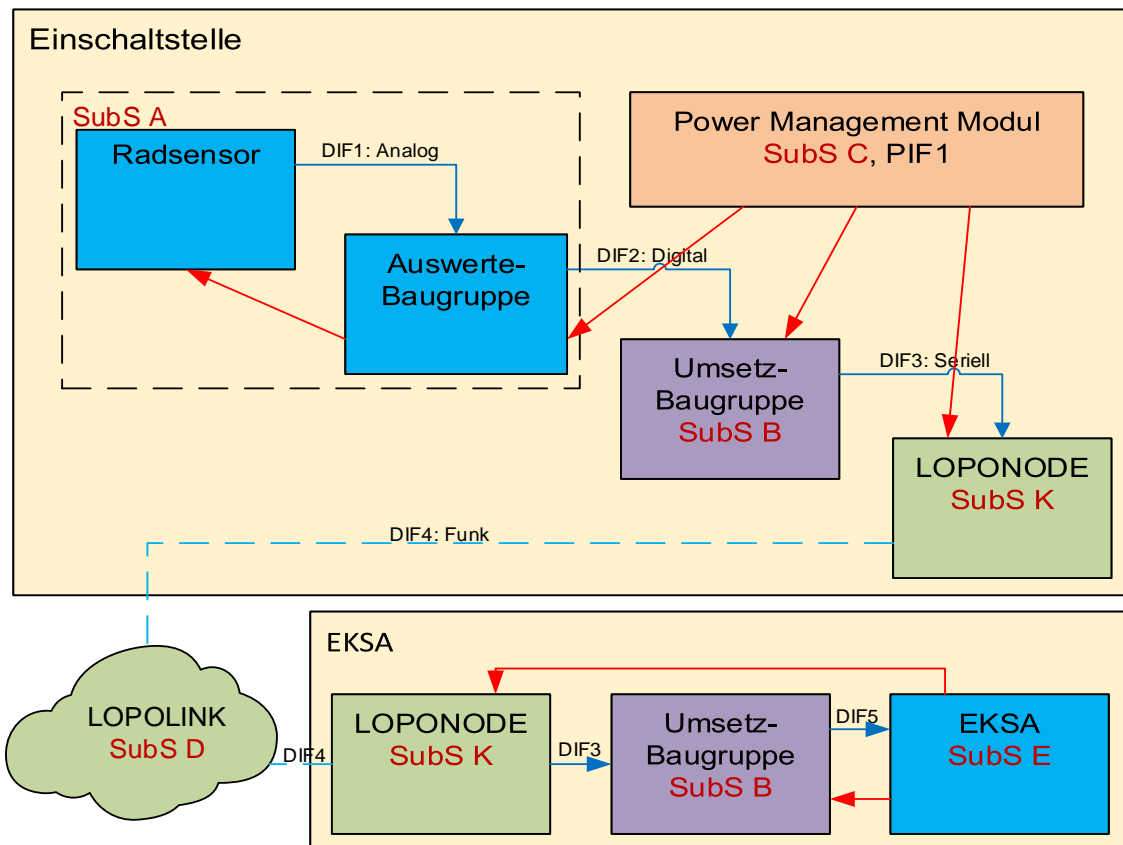


Abbildung 3: Systemarchitektur Ausführung A

Die weiteren Ausführungen befinden sich im Anhang C.

4.2 Essenzielle Weitere Anforderungen

4.2.1 Stromversorgung

Sämtliche Subsysteme (SubS) des Gesamtsystems, welche über PIF1-PIF4 versorgt werden, müssen dauerhaft unabhängig von öffentlichen oder Bahnstromnetzen versorgt werden.

4.2.2 Verfügbarkeit Gesamtsystem

Das Gesamtsystem ALPHORN muss eine Verfügbarkeit von $\geq 99,989\%$ aufweisen.

Hinweis: Bei einer Downtime von 2 h im Feldtest würde dies max. 1 Ausfall innerhalb von etwa 110 Wochen bedeuten (ohne Berücksichtigung EKSA und anderer Umsysteme).

Hinweis: Der Wert für das Gesamtsystem ALPHORN entsteht aus der Anforderung, dass eine EKSA mit allen zugehörigen Umsystemen eine Verfügbarkeit von 99,98 % erreichen muss.

4.2.3 Signaltechnische Sicherheit nach CENELEC / SIL4

Die Entwicklung des Gesamtsystems muss so ausgeführt werden, dass eine zukünftige Industrialisierung der Umsetzung gemäß CENELEC-Normen unterstützt wird.

Die Entwicklung des SubS B muss zudem gemäß [SAF:SUBSB:0002] ausgeführt werden.

Dabei gilt als Sicherheitsziel: SIL4.

4.2.4 Security

Die Maßnahmen zur Erfüllung und des Nachweises von Security-Maßnahmen müssen auf den Vorgaben der EN 50159 beruhen und eine Klassifizierung der Verbindungen der Kategorie I für kabelgebundene DFI beziehungsweise Kategorie III bei funkbasierten DIF berücksichtigen.

Das Gesamtsystem muss so konzipiert werden, dass gemäß EN 50159 [15] die möglichen beabsichtigten Ereignisse betrachtet werden:

- Anzapfen der Leitung
- Beschädigung oder nicht autorisierte Änderung der HW
- Nicht autorisierte Änderung der SW
- Abhören von Leitungen
- Übertragung von nicht autorisierten Nachrichten

Die Auswirkungen der nachfolgenden – absichtlich induzierten – Gefährdungen müssen mit einer ausreichenden Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden – Im Rahmen einer zukünftigen Industrialisierung müssen diese in Berechnung der gesamten Fehlerrate einfließen:

- Wiederholung
- Auslassung
- Einfügung
- Re-sequenzierung
- Verfälschung
- Verzögerung
- Manipulation

5 SYSTEMENTWURF

Nach Fertigstellung des Pflichtenheftes wurde die Konzeption erstellt. Folgende Inhalte wurden umgesetzt:

- Ausarbeitung Aufbaukonzepte: In diesem Schritt werden die vereinbarten Aufbaukonzepte (EKSA zu Einschaltstelle | EKSA zu Fernüberwachungseinrichtung | EKSA zu EKÜS | Bahnhof zu Bahnhof) des Gesamtsystem ausgearbeitet.
- Energieversorgungskonzept: Entwurf des Power-Management-Moduls zur sehr Langlebigen und netzautarken Energieversorgung der LOPONODE-Funkknoten, der erforderlichen Sensorik und Signale sowie der notwendigen Umsetzbaugruppen.
- Sensorikkonzept: Sensorikkonzeptes für das Gesamtsystem.
- Sicherheitskonzept: Entwurf des Sicherheitskonzeptes für die einzelnen Teilkomponenten und das Gesamtsystem.
- Umsetzbaugruppe: Entwurf einer sichereren Umsetzbaugruppe gemäß SIL4 (wie bereits beschrieben)
- Gehäuse: Entwurf eines kleinen, robusten, betriebssicheren und schnell montierbaren Gehäuses gemäß den definierten Anforderungen
- Gesamtkonzept: Auf Basis der Entwürfe der einzelnen Teilsysteme wurde das Gesamtsystem entworfen.

5.1 Aufbaukonzepte

Zusammenfassend zeigt Abbildung 5 das umgesetzte Gesamtsystem, welches Aufbaukonzept A entspricht.

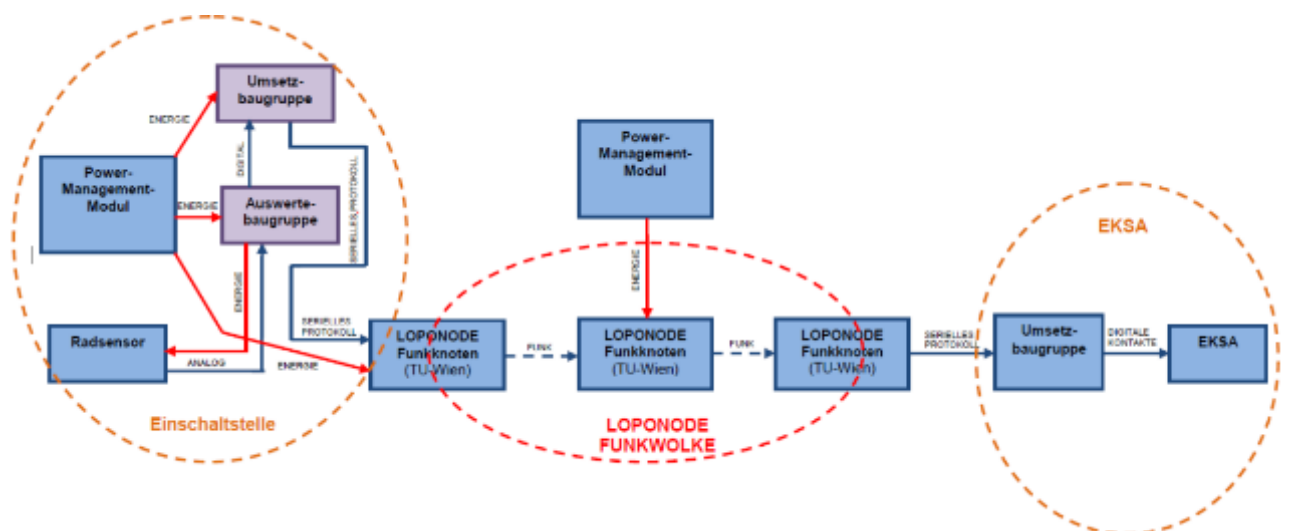


Abbildung 4: Architektur Gesamtsystem

5.2 Sicherheitskonzept

Es adressiert die gesamtheitlichen Sicherheitsaspekte des Systems durch die Anwendung geeigneter Sicherheitsgrundsätze auf Systemebene. Das Ziel des Sicherheitskonzepts besteht darin, Sicherheitsanforderungen zur Abschwächung von Gefährdungen abzuleiten.

Die erstellten Sicherheitsgrundsätze stellen generische Entwurfsstrategien dar, die gegebene Gefahren vermeiden sollen. Das Ziel von Sicherheitsgrundsätzen besteht darin, Sicherheitsanforderungen zu identifizieren und schlussendlich auch darin, Vollständigkeit darin zu erlangen.

Das Sicherheitskonzept basiert auf dem festgelegten SIL sowie identifizierten Gefährdungen (ein vollständiges Risiko/-Gefährdungssanalyse wurde nicht erstellt), es werden Lösungen und Sicherheitsfunktionen generiert und für jede Komponente ein SIL definiert („Apportionment“).

Das Dokument behandelt die folgenden Themen mit Verweis auf die Sicherheitsgrundsätze:

- Nachweis des korrekten funktionalen Verhaltens
- Ausfallwirkungen
- Betrieb mit externen Einflüssen
- Gebrauch von Sicherheitsbezogenen Anwendungsbedingungen
- Sicherheitserprobung
- Bewertung neuer Funktionalitäten mit Systembezug
- Begutachtung
- Abgeleitete Sicherheitsanforderungen

6 ENTWICKLUNG

Es die einzelnen Komponenten des Gesamtsystems auf Basis der zuvor entwickelten Systemkonzepte entwickelt und unter Laborbedingungen getestet.

- Entwicklung der Teilkomponenten und des Gesamtsystems
- Hardware- u. Softwaretests
- Integrationstests

Zusammenfassend zeigt Abbildung 5 das umgesetzte Gesamtsystem, dessen Integration auch Gegenstand dieses APs ist.

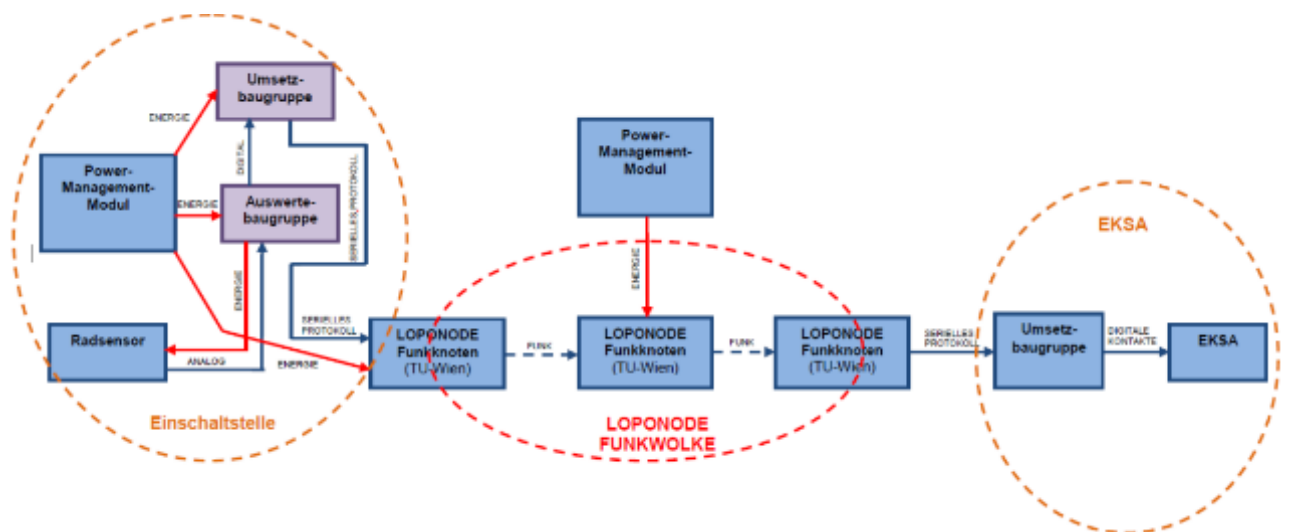


Abbildung 5: Architektur Gesamtsystem

Nachfolgend sind für jede der Komponenten die Tätigkeiten zusammenfassend dargestellt.

6.1 Power-Management-Modul

Das Power-Management-Modul wurde nach den Erfordernissen Sonneneinstrahlung und Temperaturverlauf in Ebreichsdorf über die Jahre 2016, 2017 und 2018 dimensioniert

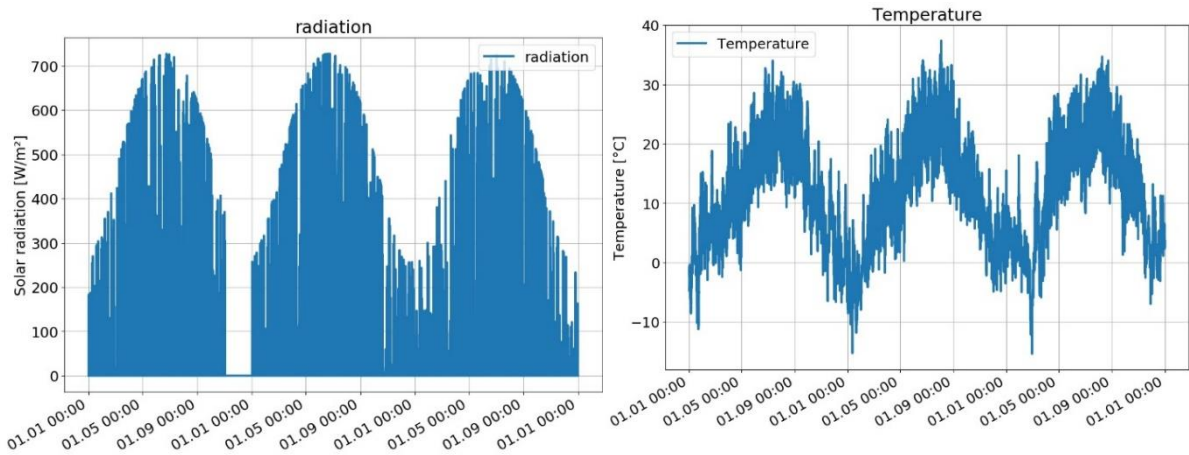


Abbildung 6: Sonneneinstrahlung und Temperaturverlauf in Ebreichsdorf in den Jahren 2016, 2017 und 2018

Insbesondere Umweltaspekte (Solar) und EMV sind bei der Verwendung von Industriekomponenten zu berücksichtigen und die Erfüllung der technischen Anforderungen zu testen. Die wichtigsten Komponententests sind dabei:

- Testbetrieb des Ladereglers
 - Betrieb des PV Moduls im stationären Sonnensimulator
- Verschattungstest
- Umweltsimulation
 - Spannung einer Akku-Zelle (-25 °C ... +55 °C)
 - Test Sommerbetrieb (+55 °C) -Laden / Entladen
 - Test Winterbetrieb (-35 °C) -Laden / Entladen
- Testbetrieb des Datenloggers
- EMV Tests (bei einem externen Labor, Beispiele siehe Abbildung 7)



Abbildung 7: Messaufbauten Power-Management Modul (Emissionen, Immission, ESD)

Die Ergebnisse der Implementierung sind ausreichend und wurden im Feld getestet.

Weitere Messaufbauten und die Ergebnisse sind in Anhang D angeführt.

6.2 Umsetzungsbaugruppe

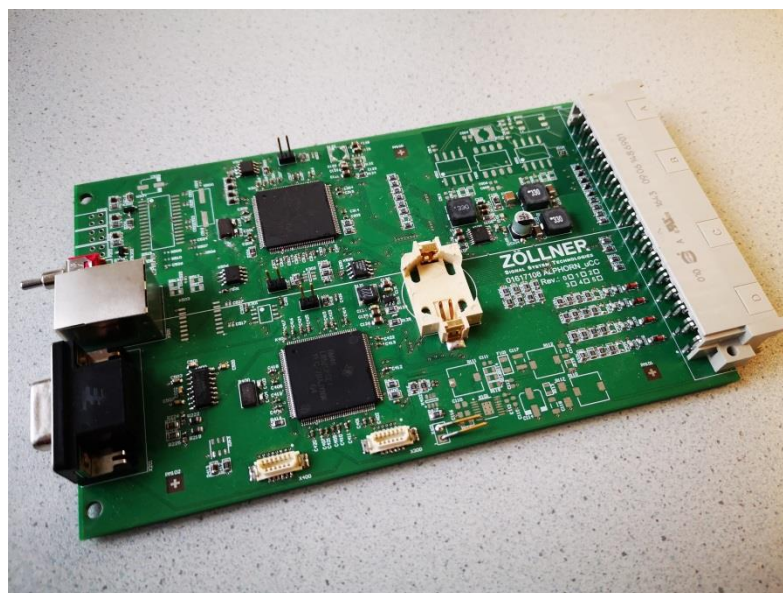


Abbildung 8: Controllerplatine der Umsetzbaugruppe

Die Umsetzungsbaugruppe an der Einschaltstelle dient der Erfassung von Richtungsimpulsen der Auswertebaugruppe der Einschaltstelle sowie der Bereitstellung der erfassten Daten an das Loonode-Modem. Die Umsetzungsbaugruppe an der EKSA dient der Erfassung von Nachrichten des Loonode-Modem sowie der Generierung des Stellsignals an der Schnittstelle zur Stelleinrichtung. Beide Funktionalitäten sind durch eine Baugruppe realisiert und konfigurieren sich selbstständig anhand der angeschlossenen Schnittstellen.

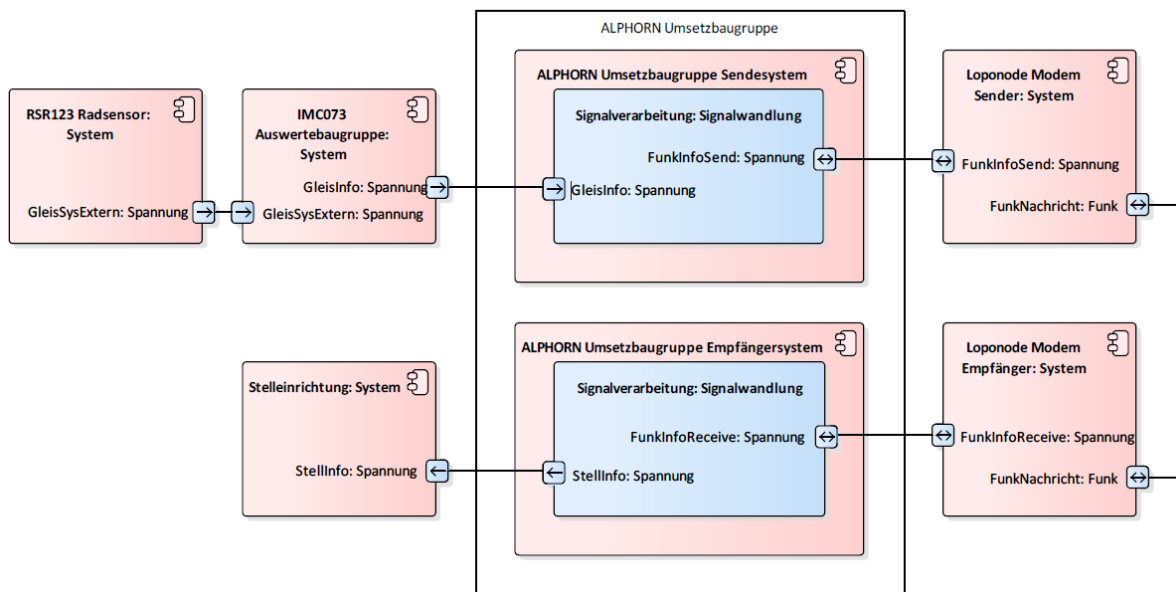


Abbildung 9: Funktionale Architektur - Informationsfluss der Eingangs- und Ausgangsinformationen

Die wichtigsten durchgeführten Komponententests sind:

- Schnittstellentests zwischen Auswertebaugruppe und Umsetzungsbaugruppe
- Schnittstellentests zwischen Umsetzungsbaugruppe und Umsetzungsbaugruppe (ohne Loonodes)
- Schnittstellentests zwischen Umsetzungsbaugruppe und Stelleinrichtung
- Funktionstests mit Loonodes und Simulator zur Simulation von Zugfahrten am RSR123



Abbildung 10: Testaufbau ohne Loponodes

Die Ergebnisse der Implementierung sind die Umsetzbaugruppe bestehen aus einer Backplane, einer Failsafecontroller-Einschubkarte und einer Interfacekarte zur Kommunikation mit der Stelleinrichtung. Die Backplane kann die IMC073 und das Loponode-Modem aufnehmen.

6.3 Neuer Radsensor

Zur Erfassung der Zugbewegungen werden punktförmige Gleisschaltmittel / Radsensoren des Typs Frauscher RSR123 eingesetzt. Der Radsensor ist an einer speziell entwickelten Auswertebaugruppen IMC073 angebunden (ähnlich den Serienprodukten in Abbildung 11). Die Auswertebaugruppe befindet sich in einem eigenen Schaltschrank, welcher auch der Energieversorgung dient, er befindet sich im Nahbereich des Radsensors. Die Auswertebaugruppe der Einschaltstelle ermöglicht eine Störungserkennung wodurch der Einsatz als eigensichere Einschaltstelle ermöglicht wird. Die Auswertebaugruppe übermittelt die Richtungsimpulse an die Umsetzbaugruppe.



Abbildung 11: Serienprodukt RSR123

Für die Anwendung des Frauscher Equipments, bestehend aus einem Radsensor RSR123 und einer Auswertebaugruppe IMC, stellt die autarke Energieversorgung, aufgrund der Anforderung die Leistungsaufnahme so gering wie möglich zu halten, eine große Herausforderung dar. Für diesen speziellen Einsatzzweck wurde auf Basis der Standard IMC Baugruppe eine neue Type entwickelt, um die Leistungsaufnahme so weit wie möglich zu senken.

Das Ergebnis der Entwicklung ist eine Low-Power Baugruppe IMC073, welche mit dem Radsensor RSR123 kompatibel ist und genau für den Einsatzzweck der autarken Stromversorgung dient.

Die IMC073 verfügt über Ausgänge, welche Einflanken Impulse via Optokoppler ausgeben können. Die Ausgänge bzw. Impulse werden bei Zugüberfahrten in beiden Richtungen ausgelöst.

Die Ausgänge sind dann mit der Umsetzbaugruppe verbunden, um die Impulse zu verarbeiten und an die Innenanlage lokalisiert am Bahnübergang zur weiteren Auswertung weitergeleitet.

6.4 Gesamtaufbau

Steuerung EKSA

Am Endpunkt der Funkstrecke befindet sich die EKSA. Die im Projekt verbaute Sicherungsanlage dient rein zur Protokollierung der empfangenen Daten. Das System – der Zentralrechner (ZR) – ist eine sicherheitsgerichtete speicherprogrammierte Steuerung. In einem Vollausbau übernimmt der Zentralrechner sämtliche Steuerungs- und Überwachungsaufgaben des Systems. Die Bedingungen zur Ansteuerung und Überwachung der Lichtzeichen, die Abhängigkeiten zur Aktivierung der EK-Überwachungssignale, die Überwachung der Spannungsversorgung, die Logik der Handschaltungen sowie die Auswertung der Gleisschaltmittel sind Schlüsselfunktionen, die softwareseitig im Zentralrechner festgelegt werden. Weiters registriert der Zentralrechner sämtliche Ereignisse, Fehler und Störungen und stellt umfangreiche Diagnosefunktionen zur Verfügung.

Spannungsversorgung

Alle Außenkomponenten sind mit Solarmodulen und batteriegepuffert ausgestattet. Die Steuerung im Schaltheis der EK wird mittels Netzversorgung versorgt.

Diagnoserechner

Der Diagnoserechner wird in das System integriert und stellt die im Zentralrechner gespeicherten Informationen dem Instandhaltungspersonal direkt und andererseits über eine standardisierte Schnittstelle (OPC, TCP/IP) zur Verfügung.

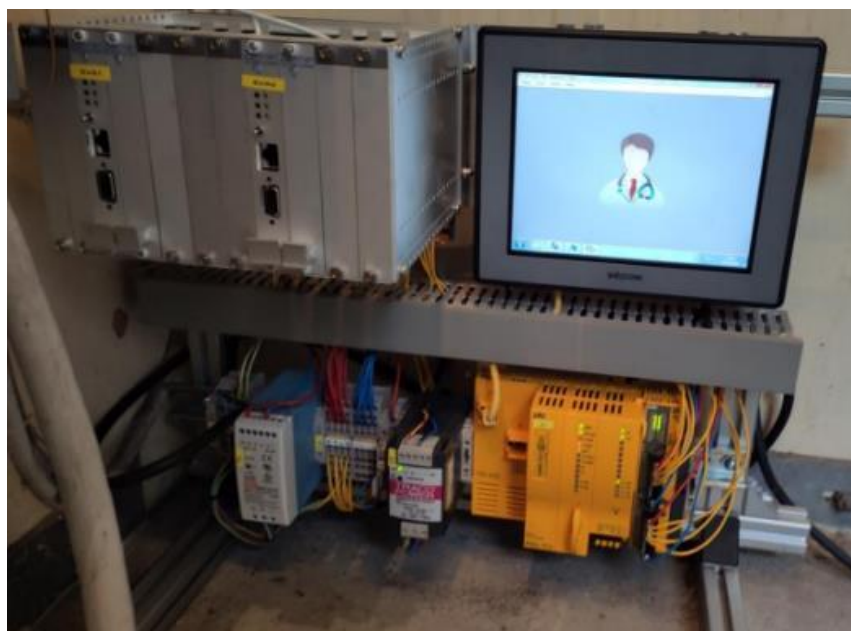


Abbildung 12: Aufbau mit Umsetzungsbaugruppen und Auswertung auf Seite der EKSA

7 TESTING

Im letzten Schritt werden die beschriebenen Ausführungen zur Funkübertragung von Sensordaten bzw. Signalen unter realen Bedingungen getestet. Dafür wird das im Projekt entwickelte System entsprechend der beschriebenen Ausführungen entlang der definierten Teststrecke aufgebaut, ausführlich getestet und bewertet.

Zuvor definierte Funktionstests werden durchlaufen, ausführlich getestet und dokumentiert. Die Testergebnisse werden in Hinblick auf die grundlegenden, funktionalen Anforderungen betrachtet. Es ist kein Langzeit-Probebetrieb angedacht.

Eine übergeordnete Zusammenfassung der erfolgten Validierungstests und Verifikationen der involvierten Teilsysteme wird erstellt. Ausgehend vom methodischen Zugang und den Ergebnissen wurde eine Liste von Maßnahmen abgeleitet, in dem die weitere Vorgehensweise zur Industrialisierung des im Projekt entwickelten Systems aufgezeigt wird.

7.1 Testing Labor

Der Gesamtaufbau im Labor ist erfolgt, das Testen des Gesamtsystem verlief positiv. Es bleibt anzumerken, dass diese „indoor-Tests“ nur über eine kurze Funkstrecke (30 m) inkludierte.

Im Anhang B findet sich eine Darstellung des Verifikationsergebnisses (Labor und Feld).

7.2 Testing Feld

Die Loponode sind dabei ein Produkt der TU Wien und eine Beistellung des Auftraggebers. Es wurde in mehreren Versuchen im Feld nicht erreicht, eine stabile Funkverbindung über die seriellen Loponodes herzustellen. Daher konnten die Testsznarien, welche das Gesamtsystem ALPHORN umfassen nicht komplett abgedeckt werden. Einzeltests unter realen Bedingungen waren dennoch möglich.

Im Anhang B findet sich eine Darstellung des Verifikationsergebnisses (Labor und Feld).

7.3 Gleistopologie

Gemäß wurde für die Strecke von 870 m das Loponoden-Setup A Direction 1 gewählt. Hierfür wurden insgesamt 5 Loponoden verbaut. Drei dieser Loponode stellen „forwarding nodes“ dar (siehe Abbildung 13).

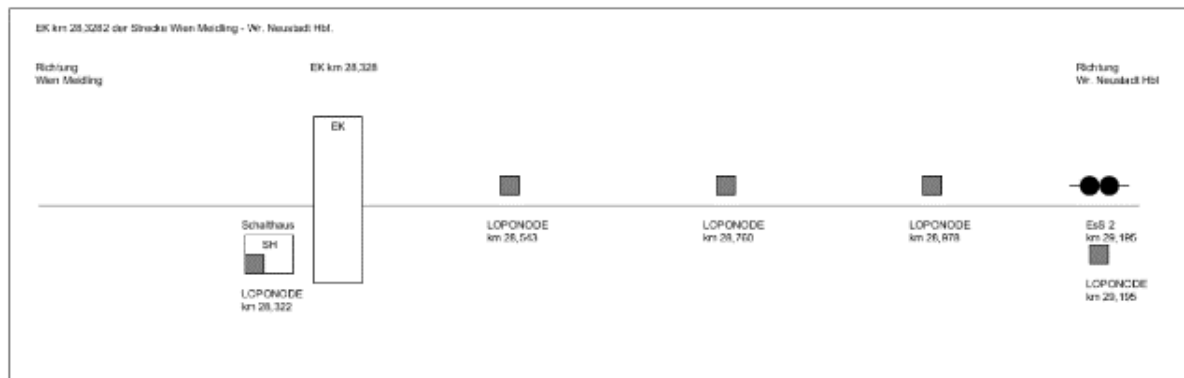


Abbildung 13: Schematische Darstellung des Testaufbaus „Pottendorfer Linie“

7.4 Hardware Aufbau

Die Hardware aus AP4 wird auf der definierten Teststrecke der Pottendorfer Linie errichtet. Es wurden dazu mehrere Schaltschränke aufgebaut und unter Beisein von ÖBB-Sicherungsstellen an der Teststrecke installiert.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die masten-basierte Befestigung der Schaltschränke und des Solarpanels sowie den per Schienenklaue montierten RSR123.



Abbildung 14: Testaufbau Lophonode km 29,195 (RSR, Auswertung RSR, Umsetzungsbaugruppe und Energieversorgung)



Abbildung 15: Befestigung der Masten



Abbildung 16: LINKS: Testaufbau drei Loponodes; RECHTS: Loponode km 28,543

7.5 Verifikation Teilkomponenten und Gesamtsystem im Feld

Die Tests der Teilkomponenten und realen Bedingungen fanden auch an der Teststrecke an der „Pottendorfer Linie“ statt. Da die Gesamtintegration des Systems nicht zu einem zufriedenstellenden Ergebnis kam, konnte auch keine Verifikation des Gesamtsystems erfolgen. Die nachstehende Tabelle fasst das Ergebnis der Verifikation zusammen.

| Testobjekt | Funktionale Verifikation Labor | Funktionale Verifikation Feld |
|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Power-Management-Modul | positiv | positiv |
| Radsensor | positiv | positiv |
| Auswertebaugruppe | positiv | positiv |
| Umsetzbaugruppe | positiv | positiv |
| Loponode (Beistellung) | positiv | negativ |
| Diagnoserechner | positiv | positiv |
| Gesamtsystem | positiv | negativ |

Tabelle 1: Testergebnisse

7.6 Validierung: Betrachtung funktionale Gesamtanforderungen

Die Validierung wurde auf Ebene der Systemintegration durchgeführt und bestätigt die Umsetzung jener Anforderungen, die ohne Gesamtverifikation im Feld nachgewiesen werden können

7.7 Maßnahmenkatalog als Empfehlung an die ÖBB

Auf Basis der Erkenntnisse im Projekt ergeben sich durch das Konsortium die folgenden Empfehlungen an den Auftraggeber. Die wichtigsten sind:

- Machbarkeit ist grundsätzlich gegeben
- Der Einsatz der beigestellten LOPONODES begrenzt die Reichweite der Lösung
- Die Energieversorgung per Solar ist in der umgesetzten Form geeignet
- Die Umsetzbaugruppe ist in der entwickelten Form für den Einsatz in Anwendungsfall A und D geeignet.
- Der Radsensor, sowie die Auswertebaugruppe ist geeignet für diese Low-Power Anwendung.
- Die Position der Funkknoten sollte Ortsabhängig erfolgen, dabei ist der Baum- und Heckenbestand besonders zu beachten.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

| Abkürzung | Bezeichnung |
|--------------|---|
| AWS | Automatisches Warnsystem |
| BG | Baugruppe |
| BGT | Baugruppenträger |
| CAN-Bus | Controller Area Network |
| CENELEC | Das Europäische Komitee für elektrotechnische Normung, französisch: Comité Européen de Normalisation Électrotechnique (CENELEC) |
| DIF | Datenschnittstelle (engl.: Data Interface) |
| EKSA | Eisenbahnkreuzungssicherungsanlage |
| EKÜS | Eisenbahnkreuzungsüberwachungssignal |
| EMV | Elektromagnetische Verträglichkeit |
| EPOSA | Echtzeit-Positionierung Austria (von ÖBB mitentwickelter und genutzter Referenzdienst zur genauen Positionierung mittels GNSS) |
| ESA | Eisenbahnsicherungsanlage |
| ESTW | Elektronisches Stellwerk |
| FRS | Spezifikation funktionaler Anforderungen (engl.: Functional Requirements Specification, FRS) |
| FUR | Funktionale Anforderungen (engl.: Functional Requirements) |
| F&E Projekte | Forschung & Entwicklung Projekte |
| GNSS | Globales Navigationssatellitensystem |
| GSM | Global System for Mobile Communications |
| GSM-R | GSM-Railway |
| HMI | Human Machine Interface |
| ID | Identifikationsnummer |
| INT | Interface |
| ISIS-EK | Intelligentes System zur Identifikation und Signalisierung an nicht-technisch gesicherten Eisenbahnkreuzungen |
| LOPONODE | Low-Power-Node |
| MTTR | Mean Time To Repair |
| MTBF | Mean Time Between Failures |
| NFR | Nichtfunktionale Anforderungen (engl.: Not Functional Requirements) |
| OPC | Open Platform Communications |
| PIF | Versorgungsschnittstelle (Power Interface) |

| | |
|--------|---|
| RAM | Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit“ (engl.: Reliability, Availability, Maintainability) |
| SAF | Funktionale Sicherheit (engl.: Functional Safety) |
| SEC | Security |
| SIL | Sicherheitsanforderungsstufe (engl.: Safety integrity level) |
| SubS | Subsystem |
| TCP/IP | Transmission Control Protocol/Internet Protocol |
| TEC | Technische Anforderungen (engl.: Technical Requirements) |
| TEPOS | T-Kom Services Echtzeitpositionierung |
| UBG | Umsetzbaugruppe |
| WSN | Wireless Sensor Networks |
| ZR | Zentralrechner |

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Systemarchitektur Power-Management-Modul..... | 14 |
| Abbildung 2: Entwicklung Gesamtsystem nach dem V-Modell..... | 19 |
| Abbildung 3: Systemarchitektur Ausführung A | 23 |
| Abbildung 4: Architektur Gesamtsystem | 26 |
| Abbildung 5: Architektur Gesamtsystem | 28 |
| Abbildung 6: Sonneneinstrahlung und Temperaturverlauf in Ebreichsdorf in den Jahren 2016, 2017 und 2018..... | 29 |
| Abbildung 7: Messaufbauten Power-Management Modul (Emissionen, Immission, ESD)..... | 30 |
| Abbildung 8: Controllerplatine der Umsetzbaugruppe | 30 |
| Abbildung 9: Funktionale Architektur - Informationsfluss der Eingangs- und Ausgangsinformationen..... | 31 |
| Abbildung 10: Testaufbau ohne LoPONodes | 32 |
| Abbildung 11: Serienprodukt RSR123..... | 33 |
| Abbildung 12: Aufbau mit Umsetzungsbaugruppen und Auswertung auf Seite der EKSA..... | 34 |
| Abbildung 13: Schematische Darstellung des Testaufbaus „Pottendorfer Linie“ | 36 |
| Abbildung 14: Testaufbau LoPONode km 29,195 (RSR, Auswertung RSR, Umsetzungsbaugruppe und Energieversorgung) | 36 |
| Abbildung 15: Befestigung der Masten..... | 37 |
| Abbildung 16: LINKS: Testaufbau drei LoPONodes; RECHTS: LoPONode km 28,54337 | |
| Abbildung 17: Systemarchitektur Ausführung A.1 | 67 |
| Abbildung 18: Systemarchitektur Ausführung B | 67 |
| Abbildung 19: Systemarchitektur Ausführung C | 68 |
| Abbildung 20: Systemarchitektur Ausführung D | 68 |
| Abbildung 21: Systemarchitektur Ausführung E | 69 |
| Abbildung 22: Solar In Anschluß GND | 71 |
| Abbildung 23: Solar In Anschluß Vcc | 72 |
| Abbildung 24: Batterie Anschluß GND | 72 |
| Abbildung 25: Batterie Anschluß Vcc | 73 |
| Abbildung 26: Lastausgang GND | 73 |
| Abbildung 27: Lastausgang Vcc | 74 |
| Abbildung 28: Radiated emission Horizontal..... | 74 |
| Abbildung 29: Radiated emission Vertikal | 75 |
| Abbildung 30: Testsetup ESD | 75 |
| Abbildung 31: Radio- Frequency, Electromagnetic Field Immunity Test | 76 |
| Abbildung 32: Testsetup: All Lines performed | 77 |
| Abbildung 33: Surges Test | 77 |
| Abbildung 34: Prüflingsaufbau..... | 78 |
| Abbildung 35: Schaltschrank (AIT Prototyp für interne Vortests)..... | 79 |
| Abbildung 36: Batteriemangement und Batterie im Outdoorschrank..... | 79 |
| Abbildung 37: LOPONODE in km 28,978..... | 80 |
| Abbildung 38: LOPONODE in km 28,760..... | 80 |

TABELLENVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Testergebnisse | 38 |
| Tabelle 2: Testergebnis EN 61000 | 71 |
| Tabelle 3: Solar In Anschluß GND | 71 |
| Tabelle 4: Solar In Anschluß Vcc | 71 |
| Tabelle 5: Batterie Anschluß GND | 72 |
| Tabelle 6: Batterie Anschluß Vcc | 72 |
| Tabelle 7: Lastausgang GND | 73 |
| Tabelle 8: Lastausgang Vcc | 73 |
| Tabelle 9: Radiated emission Horizontal..... | 74 |
| Tabelle 10: Radiated emission Vertikal | 74 |

LITERATURVERZEICHNIS

Flammini, F. et al.(2010):"Towards Wireless Sensor Networks for railway infrastructure monitoring," in Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion (ESARS), 2010 , vol., no., pp.1-6, 19-21 Oct. 2010

Railway Gazette (2015): "Solar and wireless automated level crossing commissioned", in Railway Gazette, "Infrastructure, C&S America, Technology", 25.08.2015.

Richtlinie 2014/35/EU Niederspannungsrichtlinie

Richtlinie 2014/30/EU Elektromagnetische Verträglichkeit

Fachgrundnormen - Störaussendung (Emission)

DIN EN 61000-6-3, VDE 0839-6-3: 2014-03 Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereich sowie

Kleinbetriebe

DIN EN 61000-6-4; VDE 0839-6-4:2011-09 Industriebereich

Normen für EMV-Messvorschriften

DIN EN 55022; VDE 0878-22:2011-12, B1:2016-08: (CISPR 22:2008 mod.) Antenne 30Mhz – 6Ghz

Einrichtungen der Informationstechnik - Funkstöreigenschaften - Grenzwerte und Messverfahren

DIN EN 55011; VDE 0875-11:2018-05 Antenne 30Mhz – 6Ghz

Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Hochfrequenzgeräte (ISM-Geräte) -

DIN EN 55014-1 VDE 0875-14-1:2018-08 Zange 30 Mhz – 300Mhz Interference Power

Elektromagnetische Verträglichkeit - Anforderungen an Haushaltgeräte, Elektrowerkzeuge und ähnliche Elektrogeräte -

Teil 1: Störaussendung

Fachgrundnormen - Störfestigkeit (Immission)

DIN EN 61000-6-1 VDE 0839-6-1:2016-05 Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereich sowie Kleinbetriebe

DIN EN 61000-6-2 VDE 0839-6-2:2016-05, Industriebereich

Produktfamilien-Normen für die Störfestigkeit (Immission)

DIN EN 55014-2 VDE 0875-14-2:2016-01 B1:2017-03 Elektrische Betriebsmittel (Haushaltsgeräte und

Elektrowerkzeuge) Störfestigkeitsanforderungen. CISPR 14-2

DIN EN 55024 VDE 0878-24:2016-05, Informationstechnische Einrichtungen.

Normen für EMV-Messvorschriften

DIN EN 61000-4-2 VDE 0847-4-2:2009-12: Elektrostatische Entladungen ESD

DIN EN 61000-4-3 VDE 0847-4-3:2011-04: Hochfrequente elektromagnetische Felder (HFF)

DIN EN 61000-4-4 VDE 0847-4-4:2013-04: Schnelle, leitungsgeführte Transienten (Burst)

DIN EN 61000-4-5 VDE 0847-4-5:2015-03: Stossspannungen (Surge)

DIN EN 61000-4-6 VDE 0847-4-6:2014-08: Induzierte hochfrequente Felder, 150kHz – 80Mhz

DIN EN 61000-4-8 VDE 0847-4-8:2010-11: Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen

DIN EN 61000-4-11 VDE 0847-4-11:2005-02: Spannungseinbruch, Kurzzeitunterbrechung, Spannungsschwankung

DIN EN 61547 VDE 0875-15-2:2010-03 Einrichtungen für allgemeine Beleuchtungszwecke

EN 50128 DIN EN 50128 Bahnanwendungen: Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme, Software für Eisenbahnsteuerungs- und Überwachungssysteme,

EN 50126 DIN EN 50126 Bahnanwendungen: Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS), Beuth Verlag GmbH, Berlin

EN 50129 DIN EN 50129 Bahnanwendungen: Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme, Sicherheitsrelevante elektronische Systeme für Signaltechnik,

8 ANHANG A: LISTE DER ANFORDERUNGEN

Die nachfolgende Liste stellt die Struktur des Dokuments REC17101 Anforderungsspezifikation dar.

1. Gesamtsystem
 - 1.1. Funktionale Anforderungen
 - 1.2. Gesamtsystemfunktionalität
 - 1.3. Technische Anforderungen
 - 1.4. Nichtfunktionale Anforderungen
 - 1.4.1. Umgebungsbedingungen
 - 1.4.2. Zugänglichkeit Outdoorinstallationen
 - 1.5. Sicherheitsanforderungen
 - 1.5.1. Funktionale Sicherheit
 - 1.5.2. Security
2. Subsysteme (SubS)
 - 2.1. SubS A: Radsensor mit Auswertebaugruppe
 - 2.1.1. Gesamtfunktionalität
 - 2.1.2. Nichtfunktionale Anforderungen
 - 2.1.3. Technische Anforderungen
 - 2.1.4. Schnittstellen
 - 2.1.4.1. Datenschnittstellen
 - 2.1.4.2. Versorgungsschnittstellen
 - 2.1.5. RAM Anforderungen
 - 2.1.6. Security Anforderungen
 - 2.1.7. Safety Anforderungen
 - 2.2. SubS B: Umsetzbaugruppe
 - 2.2.1. Gesamtfunktionalität
 - 2.2.2. Nichtfunktionale Anforderungen
 - 2.2.2.1. Montage
 - 2.2.2.2. Human Machine Interface
 - 2.2.2.3. Protokollierung
 - 2.2.3. Schnittstellen
 - 2.2.3.1. Datenschnittstellen
 - 2.2.3.2. Versorgungsschnittstellen
 - 2.2.4. RAM Anforderungen
 - 2.2.4.1. Zuverlässigkeit
 - 2.2.4.2. Verfügbarkeit
 - 2.2.4.3. Wartbarkeit
 - 2.2.5. Security Anforderungen
 - 2.2.6. Safety Anforderungen
 - 2.3. SubS C: Power Management Modul
 - 2.3.1. Funktionale Anforderungen
 - 2.3.1.1. Power Management
 - 2.3.1.2. Energiespeicher (Batterie)
 - 2.3.1.3. Photovoltaikmodul
 - 2.3.2. Nichtfunktionale Anforderungen
 - 2.3.2.1. Bauform
 - 2.3.3. Technische Anforderungen
 - 2.3.4. Schnittstellen
 - 2.3.4.1. Versorgungsschnittstellen
 - 2.3.5. RAM Anforderungen
 - 2.3.5.1. Montage
 - 2.3.5.2. Zuverlässigkeit
 - 2.3.5.3. Verfügbarkeit
 - 2.3.5.4. Wartbarkeit

- 2.3.6. Security Anforderungen
- 2.3.7. Safety Anforderungen
 - 2.3.7.1. Brandschutz / Batteriesicherheit
 - 2.3.7.2. Elektrische Sicherheit
- 2.4. SubS D: LOPOLINK
 - 2.4.1. Gesamtfunktionalität
 - 2.4.2. Nichtfunktionale Anforderungen
 - 2.4.2.1. Bauform
 - 2.4.3. Technische Anforderungen
 - 2.4.4. Schnittstellen
 - 2.4.4.1. Versorgungsschnittstellen
 - 2.4.5. RAM Anforderungen
 - 2.4.5.1. Zuverlässigkeit
 - 2.4.5.2. Verfügbarkeit
 - 2.4.5.3. Wartbarkeit
 - 2.4.6. Security Anforderungen
 - 2.4.7. Safety Anforderungen
 - 2.4.7.1. Funktionale Sicherheit
 - 2.4.7.2. Elektrische Sicherheit
- 2.5. SubS E: EKSA51
 - 2.5.1. Gesamtfunktionalität
 - 2.5.2. Nichtfunktionale Anforderungen
 - 2.5.2.1. Bauform
 - 2.5.3. Technische Anforderungen
 - 2.5.4. Schnittstellen
 - 2.5.5. RAM Anforderungen
 - 2.5.6. Security Anforderungen
 - 2.5.7. Safety Anforderungen
- 2.6. SubS F: Radsensor mit Bus Schnittstelle
- 2.7. SubS H: Fernüberwachung
 - 2.7.1. Nichtfunktionale Anforderungen
 - 2.7.1.1. Bauform
 - 2.7.2. Technische Anforderungen
 - 2.7.3. Schnittstellen
 - 2.7.4. RAM Anforderungen
 - 2.7.5. Security Anforderungen
 - 2.7.6. Safety Anforderungen
- 2.8. SubS I: EKÜS
 - 2.8.1. Gesamtfunktionalität
 - 2.8.2. Nichtfunktionale Anforderungen
 - 2.8.3. Technische Anforderungen
 - 2.8.4. Schnittstellen
 - 2.8.5. RAM Anforderungen
 - 2.8.6. Security Anforderungen
 - 2.8.7. Safety Anforderungen
- 2.9. SubS J: Bahnhof
 - 2.9.1. Nichtfunktionale Anforderungen
 - 2.9.1.1. Bauform
 - 2.9.2. Technische Anforderungen
 - 2.9.3. Schnittstellen
 - 2.9.4. RAM Anforderungen
 - 2.9.5. Security Anforderungen
 - 2.9.6. Safety Anforderungen
- 2.10. SubS K: LOPONODE
- 3. Datenschnittstellen (DIF)
 - 3.1. DIF1: Analog
 - 3.2. DIF2: Digitale Kontakte

- 3.2.1. Gesamtfunktionalität
 - 3.2.1.1. Processing und Zustände
 - 3.2.1.2. Fehlererkennung und Fehlerhandling
- 3.2.2. Technische Anforderungen
 - 3.2.2.1. Elektrische Grenzwerte
- 3.2.3. RAM Anforderungen
- 3.2.4. Security Anforderungen
- 3.2.5. Safety Anforderungen
- 3.3. DIF3: Seriell
 - 3.3.1. RAM Anforderungen
 - 3.3.2. Security Anforderungen
 - 3.3.3. Safety Anforderungen
- 3.4. DIF4: Funk
 - 3.4.1. Gesamtfunktionalität
- 3.5. DIF5: Digitale Kontakte mit Erweiterung
 - 3.5.1. Gesamtfunktionalität
- 3.6. DIF6: „Bus“
- 3.7. DIF7: Ethernet
 - 3.7.1. Gesamtfunktionalität
- 4. Versorgungsschnittstellen (PIF)
 - 4.1. PIF1: Einschaltstelle Ausführung A
 - 4.1.1. Gesamtfunktionalität
 - 4.2. PIF2: LOPONODE
 - 4.2.1. Gesamtfunktionalität
 - 4.3. PIF3: Einschaltstelle Ausführung B
 - 4.4. PIF4: EKÜS

9 ANHANG B: VERIFIKATIONSERGEBNIS

9.1 Gesamtsystem

| ID | Titel | Beschreibung | Pri o | Nach weis Analys e | Nach weis Lab | Nach weis Feldte st |
|-------------|--|---|----------|-----------------------------|------------------|------------------------------|
| FUR:SYS:001 | Gesamtfunktionalität Verbindlich | Die Gesamtfunktionalität des Systems muss den Einsatz in den Ausführungen A und D, dargestellt in FUR:SYS:0003 und FUR:SYS:0007, erfüllen. | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| FUR:SYS:002 | Gesamtfunktionalität Optional | Die Gesamtfunktionalität des Systems muss den Einsatz in den Ausführungen A.1, B, C, E, dargestellt in FUR:SYS:0004 bis FUR:SYS:0006 und FUR:SYS:0008, erfüllen. | O | - | - | - |
| FUR:SYS:003 | Systemarchitektur Ausführung A | Gemäß Abbildung: Systemarchitektur Ausführung A | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| FUR:SYS:004 | Systemarchitektur Ausführung A.1 | Gemäß Abbildung: Systemarchitektur Ausführung A.1 | O | - | - | - |
| FUR:SYS:005 | Systemarchitektur Ausführung B | Gemäß Abbildung: Systemarchitektur Ausführung B | O | - | - | - |
| FUR:SYS:006 | Systemarchitektur Ausführung C | Gemäß Abbildung: Systemarchitektur Ausführung C | O | - | - | - |
| FUR:SYS:007 | Systemarchitektur Ausführung D | Gemäß Abbildung: Systemarchitektur Ausführung D | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| FUR:SYS:008 | Systemarchitektur Ausführung E | Gemäß Abbildung: Systemarchitektur Ausführung E | O | - | - | - |
| FUR:SYS:009 | Architektur LOPOLINK | Gemäß Abbildung: Architektur Lopolink | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| FUR:SYS:010 | Netzautarke Energieversorgung im Gesamtsystems | Sämtliche Subsysteme (SubS) des Gesamtsystems, welche über PIF1-PIF4 versorgt werden, müssen dauerhaft unabhängig von öffentlichen oder Bahnstromnetzen versorgt werden | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |

| ID | Titel | Beschreibung | Pri o | Nach eis Analys e | Nach eis Lab | Nach eis Feldte st |
|------------------------|--|---|----------|----------------------------|-----------------|-----------------------------|
| TEC:SYS:001 | Indoorinstallation | Subsysteme, welche Indoor installiert werden, müssen als Einschubkarte im Format einer Europakarte [14] mit 100 x 160 mm und in 3HE (Höheneinheit) ausgeführt und für den Einbau in 19" Baugruppenträger (BGT) vorgesehen sein. | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| TEC:SYS:002 | Gehäuse – Outdoorinstallation | Die Größe des Gehäuses für Outdoorinstallationen muss so dimensioniert sein, dass alle darin vorgesehenen Subsysteme darin Platz finden, siehe Kapitel 2.1.1 FUR:SYS:0003 bis FUR:SYS:0009. Das Gehäuse muss den Anforderungen in Kapitel 2.3.1 entsprechen. | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| TEC:SYS:003 | Netzautarke Stromversorgung | Sämtliche Subsysteme (SubS) des Gesamtsystems, welche über PIF1-PIF4 versorgt werden, müssen dauerhaft unabhängig von öffentlichen oder Bahnstromnetzen versorgt werden. | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| RAM: SUBSC: 0004 | Montage ohne Anbohren des Trägergegenstandes | Für Komponenten, die an einen Trägergegenstand (insbesondere Fahrleitungsmasten) zu montieren sind, ist eine Montage ohne Anbohren des Trägergegenstands vorzusehen (z.B. Bandschellen). | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |

| ID | Titel | Beschreibung | Pri o | Nach weis Analys e | Nach weis Lab | Nach weis Feldte st |
|-------------|--|--|----------|-----------------------------|------------------|------------------------------|
| NFR:SYS:001 | Verfügbarkeit Gesamtsystem | Das Gesamtsystem ALPHORN muss eine Verfügbarkeit von $\geq 99,989\%$ aufweisen. Hinweis: Bei einer Downtime von 2 h im Feldtest würde dies max. 1 Ausfall innerhalb von etwa 110 Wochen bedeuten (ohne Berücksichtigung EKSA und anderer Umsysteme). Hinweis: Der Wert für das Gesamtsystem ALPHORN entsteht aus der Anforderung, dass eine EKSA mit allen zugehörigen Umsystemen eine Verfügbarkeit von 99,98 % erreichen muss. | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| NFR:SYS:002 | Wartung – Fernwartung | Es muss ein Konzept über korrektive Instandhaltungshandlungen vorliegen, welche per Fernwartung ausgeführt werden können. Das Diagnosesystem muss über eine Schnittstelle für eine Fernwartung verfügen. | O | - | - | - |
| NFR:SYS:003 | Wartung – Wartungs- und Instandsetzungsdokumentation | Es ist eine Wartungs- und Instandsetzungsdokumentation zu erstellen, die mindestens folgende Inhalte innerhalb aller Subsysteme abdeckt: a) Allgemeine Wartungsvorschriften für das Gesamtsystem b) Fehlererkennung c) Fehlereingrenzung d) Fehlerkatalog für BG-spezifische Störungen und Fehler e) Tausch der BG f) Laden der anlagenspezifischen Konfiguration nach Einbau/Tausch Es ist eine | O | - | - | - |

| ID | Titel | Beschreibung | Pri o | Nach weis Analys e | Nach weis Lab | Nach weis Feldte st |
|-------------|---|--|----------|-----------------------------|------------------|------------------------------|
| | | Projektierungsrichtlinie und ein Installationshandbuch zu erstellen (mind. Englische Sprache) | | | | |
| NFR:SYS:004 | Umgebungsbedingungen – Temperatur und Luftdruck | Die Subsysteme (SubS) müssen für den Betrieb bei Umweltbedingungen gemäß [4] hinsichtlich folgender Aspekte ausgelegt sein: a) Temperatur: Klimaklasse T1 SubS im Freien -40°C bis +70°C, T Einrichtungen zur Systemsteuerung, der Spannungsversorgung und sonstige Einrichtungen des Systems sind für die Aufstellung im Schaltschrank auszuführen (-25° bis +70°C). Eine Aufstellung im Container oder Gebäude muss ebenso möglich sein. b) Höhenbereichsklasse: A1 Das System muss für eine Höhe über Meeresniveau von bis zu 2000 m ausgelegt werden. | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| NFR:SYS:005 | Umgebungsbedingungen – Luftfeuchtigkeit | Die BG muss für den Betrieb in der Klimaklasse T1 [4] ausgelegt sein. - Relative Luftfeuchtigkeit: min.: 5 %, max.: 100 % - Absolute Luftfeuchtigkeit: min.: | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |

| ID | Titel | Beschreibung | Pri o | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|--|--|-------|------------------|--------------|-------------------|
| | | 0,55 g/m ³ , max.: 25 g/m ³ | | | | |
| NFR:SYS:006 | Umgebungsbedingungen – mechanische Beanspruchung | Die BG muss nachweislich eine mechanische Beanspruchung der Klasse 3M4 nach [8] bestehen. Die Anforderungen von EN 50125-3 [6] Abschnitt 4.13 sind einzuhalten. Die BG ist in einem Abstand zu Gleisachse von größer-gleich 3 m aufgestellt. | V | Projektdok. | Testdok. | - |
| NFR:SYS:007 | Umgebungsbedingungen – EMV | Die BG muss eine elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) nach [6] aufweisen. Als maßgebliche Entfernung des Standorts des BGT (inklusive BG) zur Gleisachse müssen mindestens 2 m angenommen werden. | V | Projektdok. | Testdok. | - |
| NFR:SYS:008 | Umgebungsbedingungen – Verschmutzungsgrad | Die BG muss den, in [4] definierten, Verschmutzungsgrad PD1 tolerieren können. | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| NFR:SYS:009 | Zugänglichkeit Outdoorinstallationen | Um Wartungsmaßnahmen gewährleisten zu können, müssen die Örtlichkeiten der Outdoorinstallationen so angeordnet sein, dass diese leicht erreichbar sind. | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| SAF:SYS:001 | Signaltechnische Sicherheit nach CENELEC / SIL4 | Die Entwicklung des Gesamtsystems muss so ausgeführt werden, dass eine zukünftige Industrialisierung der Umsetzung gemäß CENELEC-Normen unterstützt wird. Die Entwicklung des SubS B muss zudem gemäß [SAF:SUBSB:0002] ausgeführt werden. | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |

| ID | Titel | Beschreibung | Pri o | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|--------------------|--|-------|------------------|--------------|-------------------|
| | | Dabei gilt als Sicherheitsziel: SIL4. | | | | |
| SEC:SYS:001 | Security-Maßnahmen | Die Maßnahmen zur Erfüllung und des Nachweises von Security -Maßnahmen müssen auf den Vorgaben der EN 50159 beruhen und eine Klassifizierung der Verbindungen der Kategorie I für kabelgebundene DFI beziehungsweise Kategorie III bei funkbasierten DIF berücksichtigen. | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| SEC:SYS:002 | Security-Maßnahmen | Das Gesamtsystem muss so konzipiert werden, dass gemäß EN 50159 [15] die möglichen beabsichtigten Ereignisse betrachtet werden: a. Anzapfen der Leitung b. Beschädigung oder nicht autorisierte Änderung der HW c. Nicht autorisierte Änderung der SW d. Abhören von Leitungen e. Übertragung von nicht autorisierten Nachrichten | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| SEC:SYS:003 | Security-Maßnahmen | Die Auswirkungen der nachfolgenden – absichtlich induzierten – Gefährdungen müssen mit einer ausreichenden Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden – Im Rahmen einer zukünftigen Industrialisierung müssen diese in Berechnung der gesamten Fehlerrate | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |

| ID | Titel | Beschreibung | Pri o | Nach eis Analys e | Nach eis Lab | Nach eis Feldte st |
|----|-------|--|----------|----------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | einfließen: a. Wiederholung b. Auslassung c. Einfügung d. Re-sequenzierung e. Verfälschung f. Verzögerung g. Manipulation | | | | |

9.2 SubS A: Radsensor mit Auswertebaugruppe

| Kapitel SRS | ID | Titel | Pri o | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|----------------|------------------------------------|-------|------------------|--------------|-------------------|
| 3.1.1. | FUR:SUBSA:0001 | SubS A - Allgemeine Funktionalität | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:SUBSA:0002 | Diagnose | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.1.2. | NFR:SUBSA:0001 | Umgebungsbedingungen | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.1.3. | TEC:SUBSA:0001 | Einbaumaße Auswertebaugruppe | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.1.4.1 | TEC:SUBSA:0002 | Datenschnittstelle DIF1 | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | TEC:SUBSA:0003 | Datenschnittstelle DIF2 | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.1.4.2 | TEC:SUBSA:0004 | Leistungsaufnahme | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | TEC:SUBSA:0005 | Versorgungsschnittstelle PIF1 | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.1.5. | RAM:SUBSA:0001 | Mean Time to Restore | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | RAM:SUBSA:0002 | Wartungszyklus | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.1.6. | SEC:SUBSA:0001 | Sicherheit – Qualitativ | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.1.7. | SAF:SUBSA:0001 | Sicherheit – Qualitativ | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |

9.3 SubS B: Umsetzbaugruppe

| Kapitel SRS | ID | Titel | Prio | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|----------------|--|------|------------------|--------------|-------------------|
| 3.2.1. | FUR:SUBSB:0001 | UBG - Allgemeine Funktionalität | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:SUBSB:0002 | UBG – Allgemeine Ausführung | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:SUBSB:0003 | UBG – Anzahl bei paralleler Verwendung | O | - | - | - |
| | FUR:SUBSB:0004 | UBG – Bewegliche Teile | O | - | - | - |
| 3.2.2.1 | NFR:SUBSB:0001 | Einschubkarte – Form | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.2.2.2 | NFR:SUBSB:0002 | HMI – Bedienelemente | O | - | - | - |
| 3.2.2.3 | NFR:SUBSB:0003 | Protokollierung – Umfang | O | - | - | - |
| | NFR:SUBSB:0004 | Protokollierung – Zeitstempel | O | - | - | - |
| | NFR:SUBSB:0005 | Protokollierung – Uhr | O | - | - | - |
| | NFR:SUBSB:0006 | Protokollierung – Uhr über Diagnoseschnittstelle | O | - | - | - |
| | NFR:SUBSB:0007 | Protokollierung – Ereignisspeicher | O | - | - | - |
| | NFR:SUBSB:0008 | Protokollierung – Erweiterter Ereignisspeicher | O | - | - | - |
| | NFR:SUBSB:0009 | Protokollierung – Auslesen des Ereignisspeichers | O | - | - | - |
| 3.2.3. | NFR:SUBSB:0010 | Anschlussblock – Eingang/Ausgang | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | NFR:SUBSB:0011 | Anschlussblock – Schnittstellen | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | NFR:SUBSB:0012 | Anschlussblock – Ausführung | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |

| Kapitel SRS | ID | Titel | Prio | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|----------------|--|------|------------------|--------------|-------------------|
| 3.2.3.1 | NFR:SUBSB:0013 | Anschlüsse – Ethernet | O | - | - | - |
| | NFR:SUBSB:0014 | Ethernet Schnittstelle | O | - | - | - |
| | NFR:SUBSB:0015 | Paare von Eingängen/Ausgängen | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | NFR:SUBSB:0016 | Digitale Schnittstelle DIF2 | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | NFR:SUBSB:0017 | Anzahl serieller Schnittstellen | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | NFR:SUBSB:0018 | Serielle Schnittstelle | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.2.3.2 | NFR:SUBSB:0019 | Versorgungsschnittstelle Ausführung A und A.1 | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | NFR:SUBSB:0020 | Versorgungsschnittstelle Ausführung D | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | NFR:SUBSB:0021 | Spannungsversorgung – Betriebsspannung | V | Projektdok. | Testdok. | - |
| | NFR:SUBSB:0022 | Spannungsversorgung – Leistung | V | Projektdok. | Testdok. | - |
| | NFR:SUBSB:0023 | Spannungsversorgung – Überwachung | O | - | - | - |
| | NFR:SUBSB:0024 | Spannungsversorgung – Betriebsbereitschaft | V | Projektdok. | Testdok. | - |
| 3.2.4.1 | RAM:SUBSB:0001 | Zuverlässigkeit – Nutzungsdauer | O | - | - | - |
| | RAM:SUBSB:0002 | Zuverlässigkeit – Leistung | V | Projektdok. | Testdok. | - |
| | RAM:SUBSB:0003 | Zuverlässigkeit – MTBF zwischen Totalausfällen | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.2.4.2 | RAM:SUBSB:0004 | Verfügbarkeit – Zielwert | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |

| Kapitel SRS | ID | Titel | Prio | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|-------------------|--|------|------------------|--------------|-------------------|
| 3.2.4.3 | RAM:SUBSB:0005 | Wartung – Maximale MTTR | O | - | - | - |
| | RAM:SUBSB:0006 | Wartung – Spezialwerkzeug | O | - | - | - |
| | RAM:SUBSB:0007 | Wartung – Austausch | O | - | - | - |
| | RAM:SUBSB:0008 | Wartung – Instandhaltungs- oder Inbetriebnahmearbeiten | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| | RAM:SUBSB:0009 | Wartung – Periodische Tests | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| 3.2.5. | SEC:SUBSB:0001 | Netzwerk – Verschlüsselung | V | Projekt-dok. | n.a. | n.a. |
| | SEC:SUBSB:0002 | Netzwerk – Schlüssel | V | Projekt-dok. | n.a. | n.a. |
| 3.2.6. | SAF:SUBSB:0001 | Sicherheit – Quantitativ | V | Projekt-dok. | n.a. | n.a. |
| | SAF:SUBSB:0002 | Sicherheit – Qualitativ | V | Projekt-dok. | n.a. | n.a. |
| | SAF:SUBSB:0003 | Sicherheit – Bezug auf Sicherheitspfade | V | Projekt-dok. | n.a. | n.a. |
| | SAF:SUBSB:0004.a. | Sicherheit – Detailansicht der Sicherheitspfade und Sicherheitsfunktion an UBG | V | Projekt-dok. | n.a. | n.a. |
| | SAF:SUBSB:0004.b. | Übertragung sicherheitsrelevanter Daten | V | Projekt-dok. | n.a. | n.a. |

9.4 SubS C: Power Management Modul

| Kapitel SRS | ID | Titel | Priorität | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|----------------|--|-----------|------------------|--------------|-------------------|
| 3.3.1.1 | FUR:SUBSC:0001 | Rechtzeitige Erkennung unzureichender Energieerzeugung | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.3.1.2 | FUR:SUBSC:0002 | Autonomiezeit | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:SUBSC:0003 | Lebensdauer | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:SUBSC:0004 | Lebensdauer | O | - | - | - |
| 3.3.1.3 | FUR:SUBSC:0005 | Energieerzeugung | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:SUBSC:0006 | Bypass-Dioden | O | - | - | - |
| 3.3.2.1 | NRF:SUBSC:0001 | SubS C: Bauform 1 | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | NRF:SUBSC:0002 | SubS C: Bauform 2 | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.3.4.1 | INT:SUBSC:0001 | Versorgungsschnittstellen | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.3.5.1 | RAM:SUBSC:0001 | Diebstahlsschutz | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.3.5.2 | RAM:SUBSC:0002 | Mittlere Betriebsdauer zwischen Totalausfällen (MTBF) | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.3.5.3 | RAM:SUBSC:0003 | Verfügbarkeit - Zielwert | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.3.5.4 | RAM:SUBSC:0004 | Mittlere Reparaturzeit (MTTR) | O | Projektdok. | - | - |
| 3.3.7.1 | SAF:SUBSC:0001 | Vermeidung von Hot-Spots der Photovoltaikmodule | V | Projektdok. | - | - |

| Kapitel SRS | ID | Titel | Pri o | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|----------------|--------------------------------|-------|------------------|--------------|-------------------|
| | SAF:SUBSC:0002 | Vermeidung von Batteriebränden | V | Projektdok. | - | - |
| 3.3.7.2 | SAF:SUBSC:0003 | Schutzklassen | V | Projektdok. | - | - |

9.5 SubS D: LOPOLINK

| Kapitel SRS | ID | Titel | Pri o | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|----------------|---|-------|------------------|--------------|-------------------|
| 3.4.1. | FUR:SUBSD:0001 | SubS D - Allgemeine Funktionalität A | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:SUBSD:0002 | SubS D - Allgemeine Funktionalität A | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:SUBSD:0003 | SubS D - Diagnose | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:SUBSD:0004 | SubS D - Allgemeine Funktionalität B | O | - | - | - |
| | FUR:SUBSD:0005 | SubS D - Latenzen | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.4.2.1. | NRF:SUBSD:0001 | SubS D: Bauform 1 | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.4.4.1. | INT:SUBSD:0001 | Versorgungsschnittstellen | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.4.5.1. | RAM:SUBSC:0001 | Mittlere Betriebsdauer zwischen Totalausfällen (MTBF) | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.4.5.2. | RAM:SUBSC:0002 | Verfügbarkeit - Zielwert | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.4.5.3. | RAM:SUBSC:0003 | Mittlere Reparaturzeit (MTTR) | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.4.7.1. | SAF:SUBSD:0001 | Übertragung sicherheitsrelevanter Daten | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.4.7.2. | SAF:SUBSD:0002 | Schutzklassen | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |

9.6 SubS E: EKSA

| Kapitel SRS | ID | Titel | Priorität | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|----------------|--|-----------|------------------|--------------|-------------------|
| 3.5.1. | FUR:SUBSE:0001 | SubS E - Allgemeine Funktionalität A | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:SUBSE:0002 | SubS E - Monitoring | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:SUBSE:0003 | SubS E - Allgemeine Funktionalität B | O | - | - | - |
| 3.5.2.1 | NRF:SUBSE:0001 | SubS E: Bauform 1 | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.5.3. | TEC:SUBSE:0001 | SubS E: Energieversorgung | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.5.4. | INT:SUBSE:0001 | SubS E – DIF5 | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | INT:SUBSE:0002 | SubS E – DIF7 | O | - | - | - |
| | INT:SUBSE:0003 | SubS E – Versorgung naher anderer SubS | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.5.6. | SEC:SUBSE:0001 | SubS E – Verschluss des Outdoor Schranks | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.5.7. | SAF:SUBSE:0001 | Übertragung sicherheitsrelevanter Daten | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |

9.7 SubS F: Radsensor mit Bus Schnittstelle

| Kapitel SRS | ID | Titel | Priorität | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|----------------|---------------------------|-----------|------------------|--------------|-------------------|
| 3.6. | FUR:SUBSF:0001 | SubS F – Basisanforderung | O | - | - | - |

9.8 SubS H: Fernüberwachung

| Kapitel SRS | ID | Titel | Priorität | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|----------------|--|-----------|------------------|--------------|-------------------|
| 3.7. | FUR:SUBSH:0001 | SubS H - Allgemeine Funktionalität A | O | - | - | - |
| | FUR:SUBSH:0002 | SubS H - Allgemeine Funktionalität B | O | - | - | - |
| 3.7.2. | NRF:SUBSH:0001 | SubS H: Energieversorgung | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.7.3. | INT:SUBSH:0001 | SubS H – DIF7 | O | - | - | - |
| | INT:SUBSH:0002 | SubS H – Versorgung naher anderer SubS | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.7.5. | SEC:SUBSH:0001 | SubS H – Schlüssel | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |

9.9 SubS I: EKÜS

| Kapitel SRS | ID | Titel | Pri o | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|----------------|--|-------|------------------|--------------|-------------------|
| 3.8.1. | FUR:SUBSI:0001 | SubS I - Allgemeine Funktionalität | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:SUBSI:0002 | SubS I – Überwachung der Zustände | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.8.2. | NRF:SUBSI:0001 | Umgebungsbedingungen – mechanische Beanspruchung | V | Projektdok. | Test-dok. | - |
| 3.8.3. | TEC:SUBSI:0001 | Ausführung der Anschlüsse | V | Projektdok. | Test-dok. | - |
| 3.8.4. | INT:SUBSI:0001 | Schnittstelle zu Umsetzbaugruppe | V | Projektdok. | Test-dok. | - |

9.10 SubS J: Bahnhof

| Kapitel SRS | ID | Titel | Pri o | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|----------------|--|-------|------------------|--------------|-------------------|
| 3.9. | FUR:SUBSJ:0001 | SubS J - Allgemeine Funktionalität | O | - | - | - |
| | FUR:SUBSJ:0003 | SubS J - Allgemeine Funktionalität E | O | - | - | - |
| 3.9.2. | NRF:SUBSJ:0001 | SubS J: Energieversorgung | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.9.3. | INT:SUBSJ:0001 | SubS J – DIF7 | O | - | - | - |
| | INT:SUBSJ:0002 | SubS J – Versorgung naher anderer SubS | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 3.9.4. | SEC:SUBSJ:0001 | SubS J – Schlüssel | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |

9.11 SubS K: LOPONODE

| Kapitel SRS | ID | Titel | Prio | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|----------------|---------------|------|------------------|--------------|-------------------|
| 3.10. | FUR:SUBSK:0001 | SubS K – DIF3 | V | Projekt-dok. | n.a. | n.a. |

9.12 Datenschnittstellen (DIF)

| Kapitel SRS | ID | Titel | Prio | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|---------------|---|------|------------------|--------------|-------------------|
| 4.2.1.1. | FUR:DIF2:0001 | Eingang – Gleichspannungspegel allgemein | V | Projekt-dok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:DIF2:0002 | Eingang – Gleichspannungspegel Low | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| | FUR:DIF2:0003 | Eingang – Gleichspannungspegel High | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| | FUR:DIF2:0004 | Eingang – Default Zustand | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| 4.2.1.2. | FUR:DIF2:0005 | Fehleroffenbarung Verbindungsunterbrechung | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| | FUR:DIF2:0006 | Eingang – Unzulässiger Gleichspannungspegel | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| | FUR:DIF2:0007 | Eingang – Ungültige Pulse | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| | FUR:DIF2:0008 | Eingang – Valenzprüfung bei sicheren Argumenten | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |
| 4.2.2.1. | TEC:DIF2:0001 | Eingang – Impedanz | V | Projekt-dok. | n.a. | n.a. |
| | TEC:DIF2:0002 | Eingang – Spannungsfestigkeit | V | Projekt-dok. | Test-dok. | - |

| Kapitel SRS | ID | Titel | Pri o | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|---------------|---|-------|------------------|--------------|-------------------|
| | TEC:DIF2:0003 | Eingang – Spannungsgrenzwerte | V | Projektdok. | Test-dok. | - |
| | TEC:DIF2:0004 | Eingang – Verpolungsschutz | V | Projektdok. | Test-dok. | - |
| 4.3 | FUC:DIF3:0001 | DIF3: RSR232 | V | Projektdok. | Test-dok. | - |
| | FUC:DIF3:0005 | DIF3: Störungen | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 4.3.3. | SAF:DIF3:0001 | Fehleroffenbarung Verbindungsunterbrechung | V | Projektdok. | Test-dok. | - |
| 4.4.1. | FUR:DIF4:0001 | SubS D - Allgemeine Funktionalität A | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:DIF4:0002 | SubS D - Allgemeine Funktionalität A | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 4.5.1. | FUR:DIF5:0001 | DIF5: Erweiterte Schnittstellen | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:DIF5:0002 | DIF5: Ansteuerung EKÜS | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 4.6. | FUR:DIF6:0001 | Gesamtfunktionalität | O | - | - | - |
| 4.7.1. | FUR:DIF7:0001 | Netzwerk – Dateninhalt | O | - | - | - |
| | FUR:DIF7:0002 | Netzwerk – Ausrüstung IP- und Hardware-Adressen | O | - | - | - |
| | FUR:DIF7:0003 | Netzwerk – Verbindungsversuch | O | - | - | - |
| | FUR:DIF7:0004 | Netzwerk – Verbindungsversuch Abbruch | O | - | - | - |

9.13 Versorgungsschnittstellen (PIF)

| Kapitel SRS | ID | Titel | Priorität | Nachweis Analyse | Nachweis Lab | Nachweis Feldtest |
|-------------|---------------|---------------------------------------|-----------|------------------|--------------|-------------------|
| 5.1.1. | FUR:PIF1:0001 | PIF1 Spannungen | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 5.2.1. | FUR:PIF2:0001 | PIF2 - Gesamtfunktionalität | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| 5.3. | FUR:PIF3:0001 | PIF3 - Gesamtfunktionalität | O | - | - | - |
| 5.4. | FUR:PIF4:0001 | PIF4 - Gesamtfunktionalität | V | Projektdok. | n.a. | n.a. |
| | FUR:PIF4:0002 | PIF4 - Optionale Gesamtfunktionalität | O | - | - | - |

10 ANHANG C: DIE WEITEREN AUSFÜHRUNGEN

10.1 Systemarchitektur Ausführung A.1

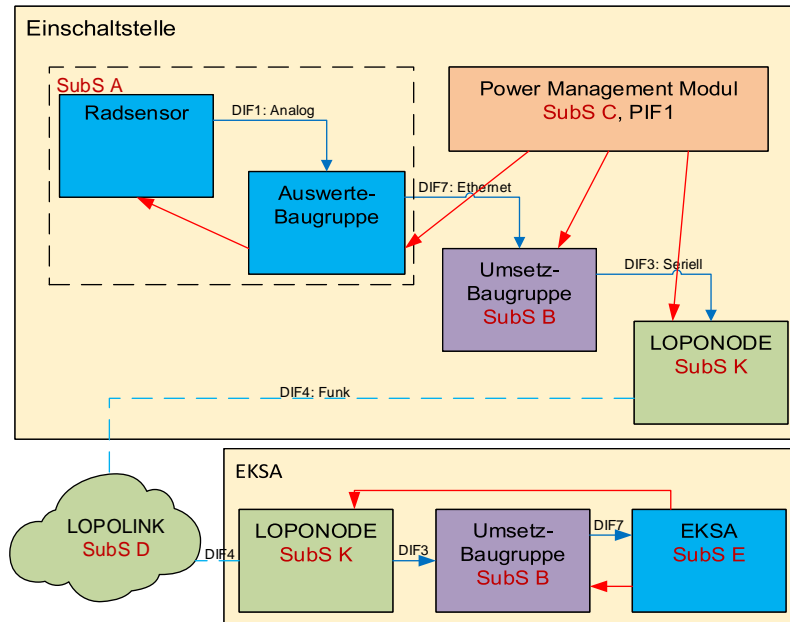


Abbildung 17: Systemarchitektur Ausführung A.1

10.2 Systemarchitektur Ausführung B

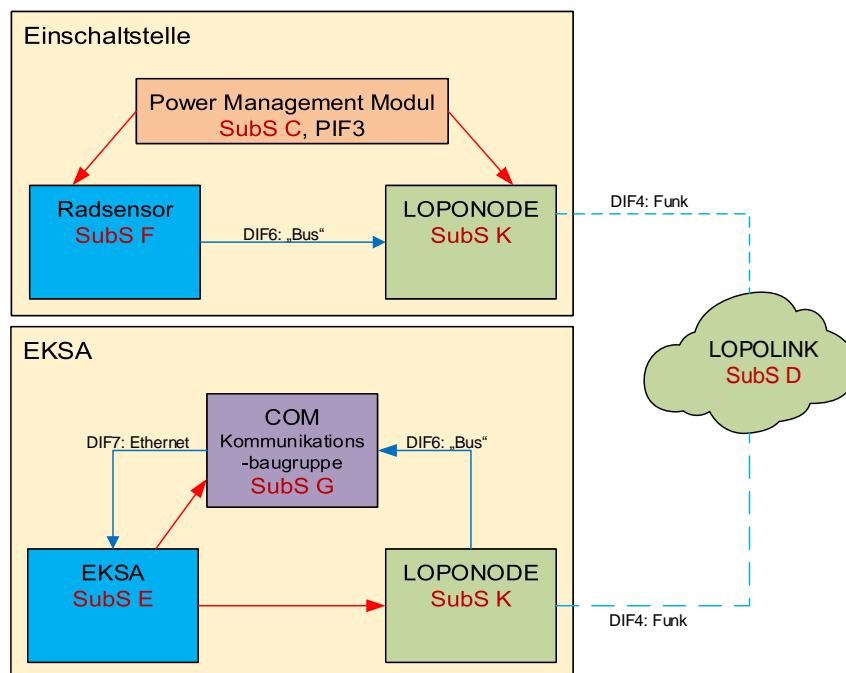


Abbildung 18: Systemarchitektur Ausführung B

10.3 Systemarchitektur Ausführung C

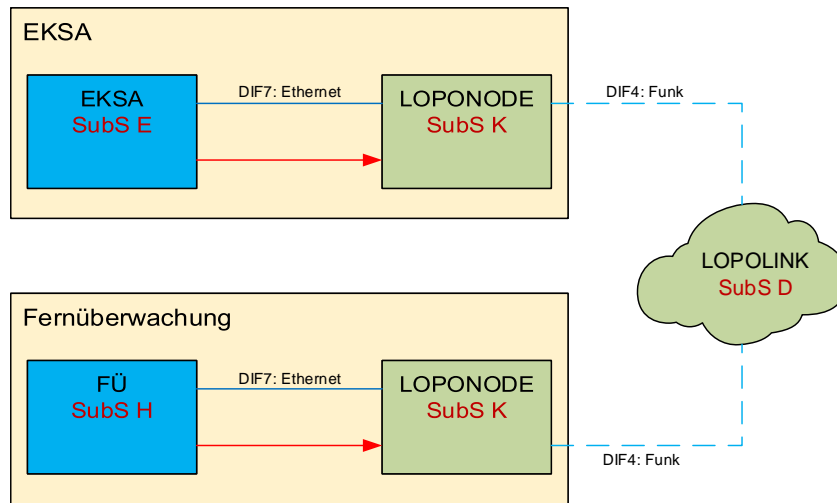


Abbildung 19: Systemarchitektur Ausführung C

10.4 Systemarchitektur Ausführung D

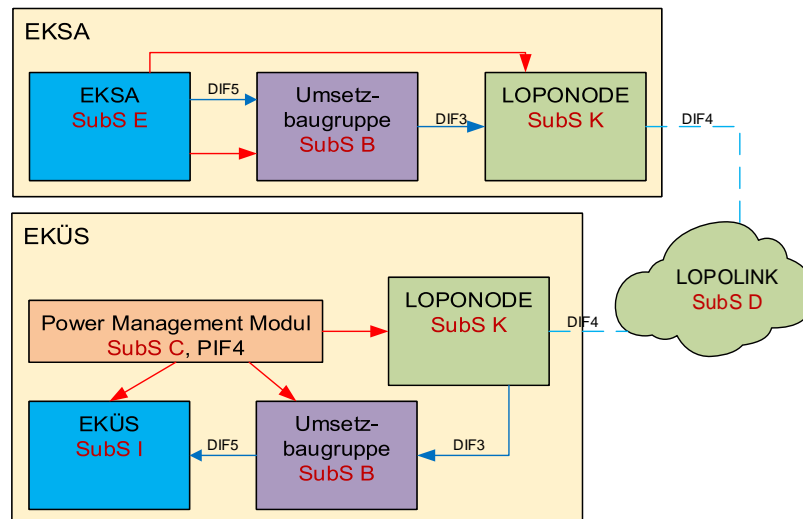


Abbildung 20: Systemarchitektur Ausführung D

10.5 Systemarchitektur Ausführung E

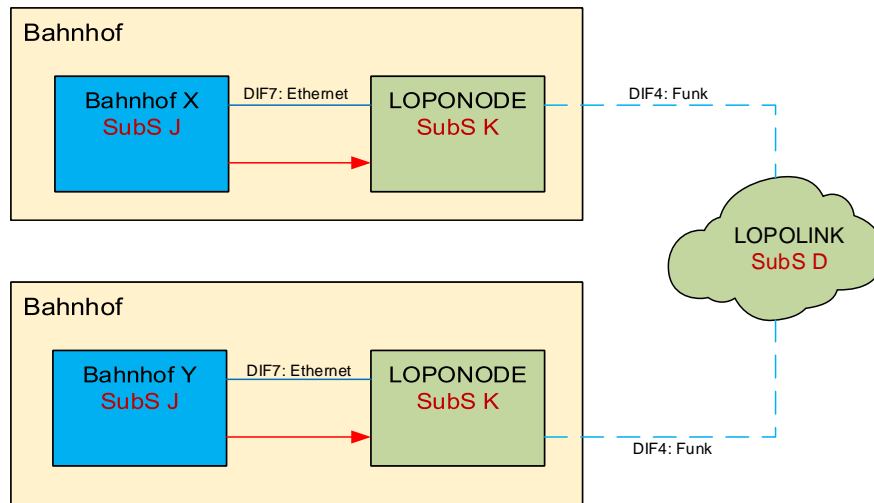


Abbildung 21: Systemarchitektur Ausführung E

11 ANHANG D: TESTING POWER-MANAGEMENT

11.1 Testobjekt

POWER-MANAGEMENT Modul

11.2 Testkriterien

EN 50121-1

Criterion Description

A:

The apparatus shall continue to operate as intended during and after the test. No degradation of performance or loss of function is allowed below a performance level specified by the manufacturer, when the apparatus is used as intended.

The performance level may be replaced by a permissible loss of performance. If the minimum performance level or the permissible performance loss is not specified by the manufacturer, either of these may be derived from the product description and documentation, and from what the user may reasonably expect from the apparatus if used as intended.

B:

The apparatus shall continue to operate as intended after the test. No degradation of performance or loss of function is allowed below a performance level specified by the manufacturer, when the apparatus is used as intended. The performance level may be replaced by a permissible loss of performance. During the test, degradation of performance is however allowed. No change of actual operating state or stored data is allowed. If the minimum performance level or the permissible performance loss is not specified by the manufacturer, either of these may be derived from the product description and documentation, and from what the user may reasonably expect from the apparatus if used as intended.

C:

Temporary loss of function is allowed, provided the function is self-recoverable or can be restored by the operation of the controls.

11.3 Testergebnis

EN 50121-1, EN50121-4 Bahnanwendung allgemeines, Störaussendungen und Störfestigkeit von Signal- und Telekommunikationseinrichtungen Emission

EN 61000-6-4: CISPR 16-1-2: CISPR16-2-1: CISPR 16-2-3:

Immunity:

EN 61000-4-2:

EN 61000-4-3:

EN 61000-4-4:

EN 61000-4-5:

EN 61000-4-6:

EN 61000-4-8:

EN 61000-4-9:

| Reference standard | Result |
|--|----------------|
| EN 61000-6-4; CISPR 16-2-1; CISPR 16-1-2 | pass |
| EN 61000-6-4; CISPR 16-2-3 | pass |
| EN 61000-4-2 | pass |
| EN 61000-4-3 | pass |
| EN 61000-4-4 | pass |
| EN 61000-4-5 | pass |
| EN 61000-4-6 | pass |
| EN 61000-4-8 | not applicable |
| EN 61000-4-9 | not applicable |

Tabelle 2: Testergebnis EN 61000

Alle Tests wurden mit 35V Versorgung am Solareingang und 5A Load durchgeführt. Bei allem Test wurde Kriterium „A“ erfüllt.

11.3.1 Power Line Conducted Emission

Solar In Anschluß GND:

| Frequency (MHz) | Limit QP (dBµV) | Q.P. (Quasi-Peak) | A.V. (Average) |
|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 0,15 – 0,50 | 79 | 78,2 (163,7kHz) | 78,0 (163,7kHz) |
| 0,50 – 5,0 | 73 | 70,3 (1,63Mhz) | 70,1 (1,63Mhz) |
| 5,0 - 30 | 73 | 21,3 (12.3 Mhz) | 21,2 (12.3 Mhz) |

Tabelle 3: Solar In Anschluß GND

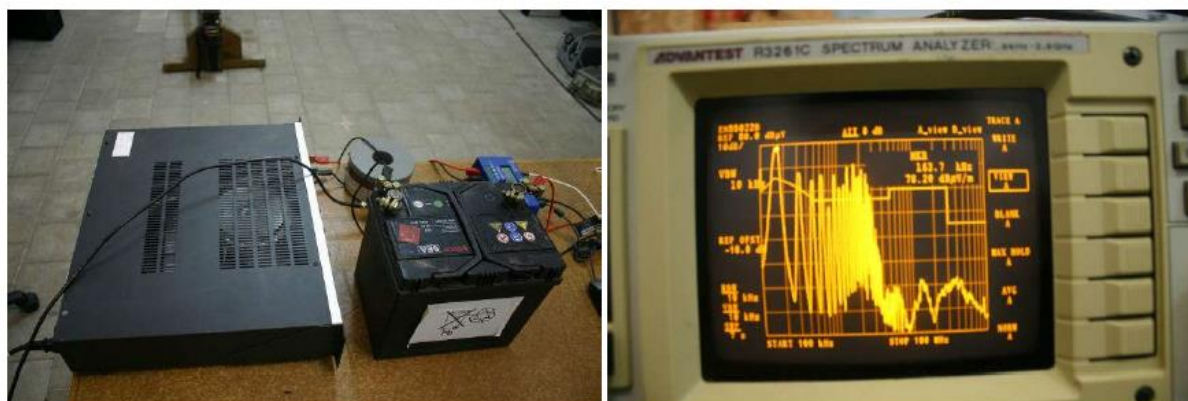


Abbildung 22: Solar In Anschluß GND

Solar In Anschluß Vcc:

| Frequency (MHz) | Limit QP (dBµV) | Q.P. (Quasi-Peak) | A.V. (Average) |
|-----------------|-----------------|--------------------|-------------------|
| 0,15 – 0,50 | 79 | 78,55 (163,7kHz) | 78,2 (163,7kHz) |
| 0,50 – 5,0 | 73 | 70,5 (1,63Mhz) | 70,5 (1,63Mhz) |
| 5,0 - 30 | 73 | 21,7 (12.3 Mhz) | 21,4 (12.3 Mhz) |

Tabelle 4: Solar In Anschluß Vcc

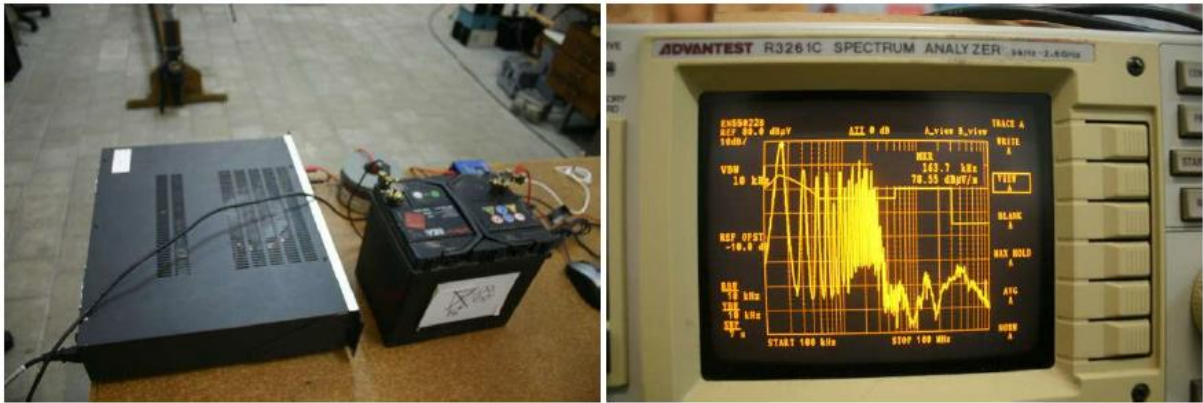


Abbildung 23: Solar In Anschluß Vcc

Batterie Anschluß GND:

| Frequency (MHz) | Limit QP (dBµV) | Q.P. (Quasi-Peak) | A.V. (Average) |
|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 0.15 – 0,50 | 79 | 73,4 (163,7kHz) | 73,0 (163,7kHz) |
| 0,50 – 5,0 | 73 | 47,3 (1,63Mhz) | 47,1 (1,63Mhz) |
| 5,0 - 30 | 73 | 30,3 (12.3 Mhz) | 30,2 (12.3 Mhz) |

Tabelle 5: Batterie Anschluß GND



Abbildung 24: Batterie Anschluß GND

Batterie Anschluß Vcc:

| Frequency (MHz) | Limit QP (dBµV) | Q.P. (Quasi-Peak) | A.V. (Average) |
|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 0.15 – 0,50 | 79 | 73,5 (163,7kHz) | 73,1 (163,7kHz) |
| 0,50 – 5,0 | 73 | 47,4 (1,63Mhz) | 47,2 (1,63Mhz) |
| 5,0 - 30 | 73 | 30,0 (12.3 Mhz) | 29,8 (12.3 Mhz) |

Tabelle 6: Batterie Anschluß Vcc



Abbildung 25: Batterie Anschluß Vcc

Lastausgang GND:

| Frequency (MHz) | Limit QP (dBµV) | Q.P. (Quasi-Peak) | A.V. (Average) |
|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 0.15 – 0.50 | 79 | 70,6 (163,7kHz) | 78,0 (163,7kHz) |
| 0,50 – 5,0 | 73 | 50,3 (818,5 khz) | 50,1 (818,5 khz) |
| 5,0 - 30 | 73 | 27,3 (12.3 Mhz) | 27,2 (12.3 Mhz) |

Tabelle 7: Lastausgang GND

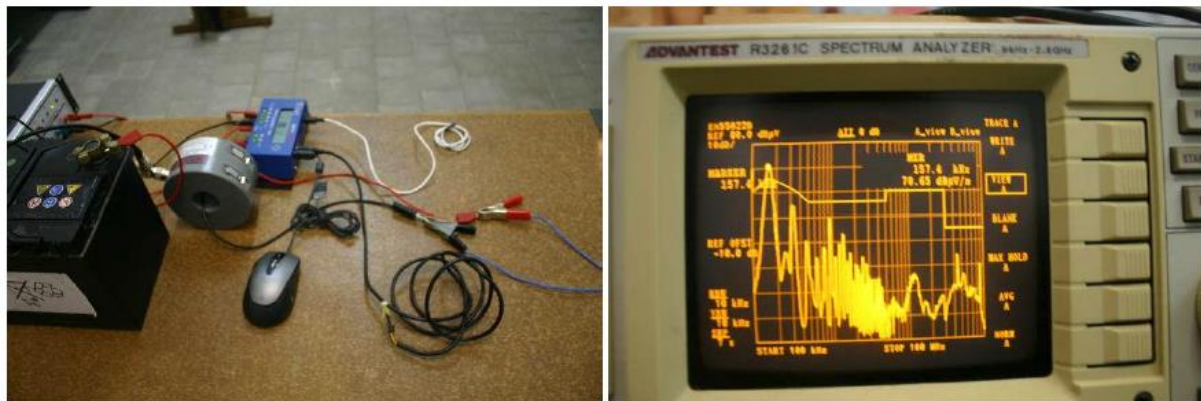


Abbildung 26: Lastausgang GND

Lastausgang Vcc:

| Frequency (MHz) | Limit QP (dBµV) | Q.P. (Quasi-Peak) | A.V. (Average) |
|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 0.15 – 0.50 | 79 | 70,8 (163,7kHz) | 78,0 (163,7kHz) |
| 0,50 – 5,0 | 73 | 50,2 (818,5 khz) | 49,8 (818,5 khz) |
| 5,0 - 30 | 73 | 27,1 (12.3 Mhz) | 27,0 (12.3 Mhz) |

Tabelle 8: Lastausgang Vcc

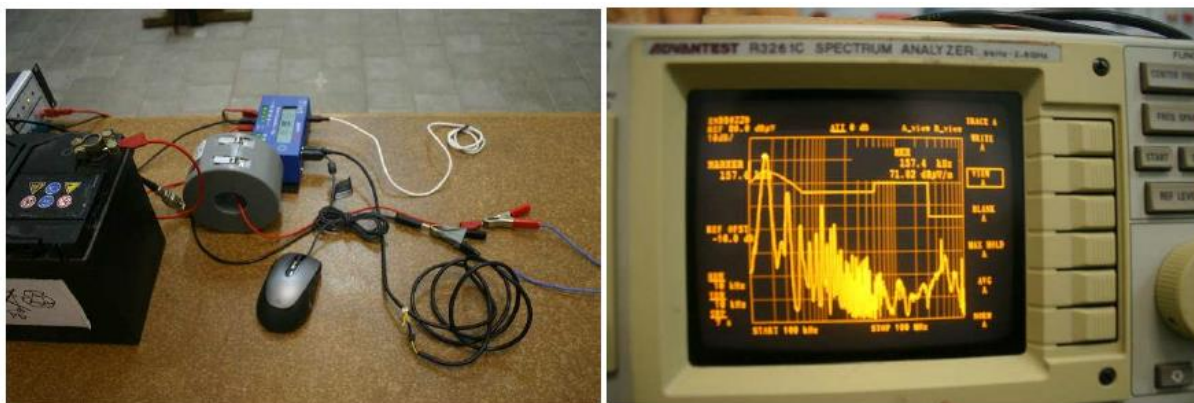


Abbildung 27: Lastausgang Vcc

Radiated emission Horizontal

| Frequency (MHz) | Limit QP dB(μV/m) | Quasi-Peak dB(μV/m) |
|-----------------|-------------------|---------------------|
| 30 – 230 | 40 | 33 (230Mhz) |
| 230 - 1000 | 47 | 42 (810Mhz) |

Tabelle 9: Radiated emission Horizontal

EN55011 30Mhz – 1Ghz: horizontal, Anlieferungzustand

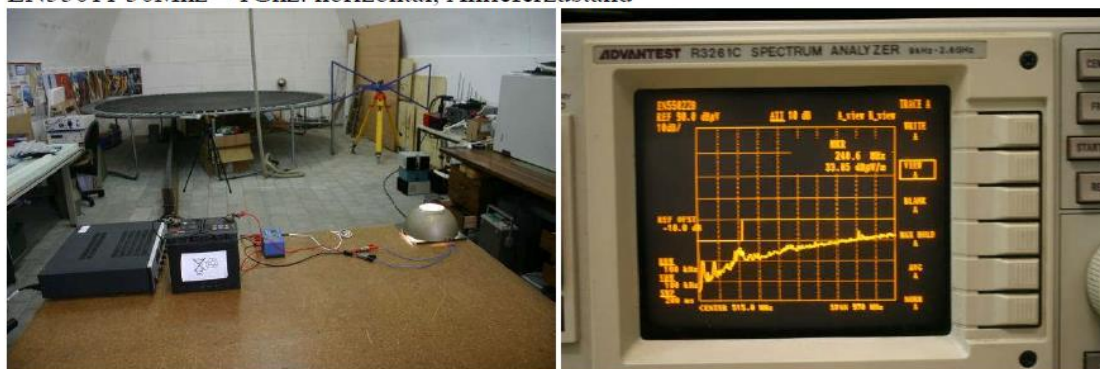


Abbildung 28: Radiated emission Horizontal

Radiated emission Vertikal

| Frequency (MHz) | Limit QP dB(μV/m) | Quasi-Peak dB(μV/m) |
|-----------------|-------------------|---------------------|
| 30 – 230 | 40 | 32 (180Mhz) |
| 230 - 1000 | 47 | 43 (920Mhz) |

Tabelle 10: Radiated emission Vertikal

EN55011 30Mhz – 1Ghz: vertikal, Anlieferzustand



Abbildung 29: Radiated emission Vertikal

11.3.2 Electrostatic Discharge Test



Abbildung 30: Testsetup ESD

Air Discharge: +/- 2, 4, 6, 8, 10, 12kV: pass

Contact Discharge: +/- 2, 4, 6, 8kV: pass

Indirect Discharge: +/- 2, 4, 6, 8kV: pass

Discharge at all possible parts.

11.3.3 Radio- Frequency, Electromagnetic Field Immunity Test

Reference to EN 50121-4 clause 6

The frequency steps: 1%, Log sweep,
Dwell time: 3.0 sec.

Frequency range: 80 to 1000 MHz, Field strength: 20 V/m, 80% AM (1kHz), (Note: For equipment

mounted in network communication center a severity level of 10V/m may be used.)

Frequency range: 1400 to 2100 MHz, Field strength: 10 V/m, 80% AM (1kHz),

Frequency range: 2100 to 2500 MHz, Field strength: 5 V/m, 80% AM (1kHz),

Performance criterion: A

Testsetup 80Mhz – 1Ghz : horizontal



vertical



Testsetup 1,4Ghz – 2,5Ghz : horizontal



vertical



Abbildung 31: Radio- Frequency, Electromagnetic Field Immunity Test

11.3.4 Transient Burst Susceptibility Test

Reference to EN 50121-4 clause 6
5 kHz Repetition frequency

-- 2.0 kV input DC power ports.
+- 2.0 kV for Signal ports

Performance criterion: A



Abbildung 32: Testsetup: All Lines performed

11.3.5 Surges Test

Reference to EN 50121-4-clause 6

Input DC power ports: Line to Neutral: +-1kV (peak), 1.2/50 us, 42 Ohm, 0.5 μ F
Line (Neutral) to earth: +-2kV (peak), 1.2/50 us, 42 Ohm, 0.5 μ F
Signal and telecommunication ports: +-2kV (peak): 1.2/50 us, 42 Ohm, 0,5 μ F



Abbildung 33: Surges Test

11.3.6 Radio-Frequency, Conducted Disturbances Immunity Test

Reference to EN 50121-4 clause 6

Frequency range: **0.15 to 80 MHz**, Field strength: **10 V**, 80 % AM (1kHz)

Input DC power ports

Signal and telecommunication ports.

Performance criterion: A



Abbildung 34: Prüflingsaufbau

12 ANHANG E: WEITERE ABBILDUNGEN



Abbildung 35: Schaltschrank (AIT Prototyp für interne Vortests)



Abbildung 36: Batteriemangement und Batterie im Outdoorschrank



Abbildung 37: LOPONODE in km 28,978



Abbildung 38: LOPONODE in km 28,760

Ende des Dokuments