

# SART PILOT ANLAGE - PUBLIKATION

## SART (Sentinel for Alpine Railway Traffic) ein System zur Frühwarnung und Erkennung akuter gebirgstypischer Gefahren für den alpinen Schienenverkehr

Mit dem SART Pilot System wird eine Anlage und ein Verfahren zum Schutz des alpinen Eisenbahnverkehrs vor gebirgstypischen Gefahren so wie Hangrutschungen, Geröllabgängen und Steinschlag erprobt. Bei erfolgreicher Validierung im Probetrieb kann das System längerfristig einige aufwendige Schutznetze entlang von Eisenbahnlinien ergänzen oder ersetzen.

SART besteht aus einem Frühwarnsystem für Hangrutschungen, einem mit Sensoren bestückten Detektionszaun für Materialbewegungen aller Art und bei Einschlägen im Detektionszaun automatisch auslösenden Kameras sowie einem zentralen Kontrollzentrum mit Software zur Datenauswertung und zur Ausgabe von Warn- und Alarmmeldungen an die Leitzentrale des Bahnbetreibers.

Die Frühwarnung detektiert akustische Emissionen im Vorfeld von Hangbewegungen und basiert auf dem von Loughborough University in UK entwickelten Slope ALARMS Verfahren.

Einschläge, Verformungen bis zur Zerstörung des Detektionszaunes durch Materialbewegungen an der Oberfläche werden von weiterentwickelten ImpactSentinel Sensoren von INGLAS GmbH erfasst.

Die Anlage befindet sich derzeit im Probetrieb. Alle Teilsysteme und die Signalgabe an die Bahnzentrale arbeiten einwandfrei. Eine Korrelation zwischen Bodengeräuschen und Materialbewegungen an der Oberfläche muss im weiteren Probetrieb bestätigt werden.

### Facts:

- Laufzeit: 04/2013-06/2014
- Forschungskonsortium: INGLAS GmbH & Co KG / Loughborough University
- SART Pilotanlage an einem Konglomeratsabbruch, Bahnstrecke Ennstal Km 91,4
- Frühwarnsystem: 1 vertikale und 2 horizontale, 12m bzw 3 m Lamb Wave Bodensonden, piezo-elektrische Detektoren
- Detektionszaun: 80m x 1,5 m, 17 Sensoren für Neigung, Erschütterung und Verformung
- Funk Netzwerke für Signalübertragung von Sensoren und Detektoren
- Kameras mit automatischer E-Mail Bildübertragung
- Zentrale Datenerfassung, Auswertung, Archivierung und Signalgabe an ÖBB
- Autarker Anlagenbetrieb
- Fernsteuerbar über VNC und UMTS Router

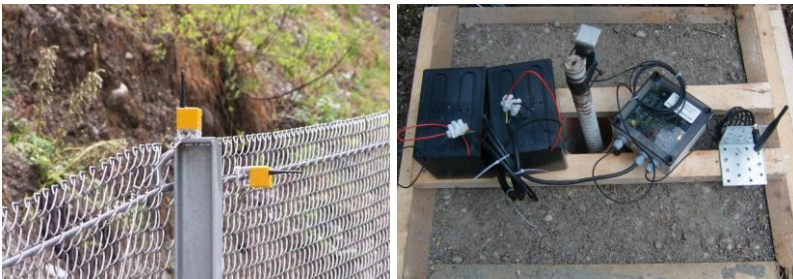


ABB 1. Sensoren für den Detektionszaun und die Frühwarnung



ABB 2. ImpactSentinel Sensoren und Datenübertragungsanlage

## Kurzzusammenfassung

### Problem

An vielen Stellen entlang im Gebirge verlaufender Eisenbahnlinien sind konventionelle Schutznetze gegen Steinschlag und Hangrutschungen aufgrund der topografischen Gegebenheiten nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zu realisieren.

### Gewählte Methodik

Als kostengünstige Alternative oder Ergänzung zu konventionelle Schutznetzen basiert daher die im SART implementierte Methode auf einer zuverlässiger Warnung vor bevorstehenden Gefahren für den Eisenbahnverkehr und der Alarmierung bei tatsächlich auf die Gleise gelangtem Material.

Dazu sind im SART System eine Frühwarnsystem und ein Detektionssystem für sich auf die Gleise bewegende Fremdkörper miteinander kombiniert und durch ein Kamerasystem zur visuellen Überwachung im Fall einer eingehenden Warnung ergänzt.

### Ergebnisse

Der bisherige Probetrieb mit der SART Pilotanlage belegt die grundsätzliche Eignung der gewählten Methode. Die Frühwarnanlage gibt Indikationen zu geologischen Instabilitäten des Testgeländes und Materialabgänge am werden zuverlässig detektiert.

### Schlussfolgerungen

Der gewählte Ansatz ist geeignet einen erheblichen Beitrag zur Lösung des eingangs genannten Problems zu leisten. Zur abschließende Beurteilung wurde eine Verlängerung des Probetriebs über einen kompletten Jahreszyklus vereinbart

### English Abstract

*The SART project aims at a cost saving alternative for conventional heavy protection nets against slope slides and rock fall along alpine railways, and for this purpose combines an early warning system with a facility for detection of any debris which has actually moved on the rail way. The two subsystems share a common control center which issues warning and alarm signals to the rail traffic operator. The previous operation of the pilot system shows promising results, which need, however, consolidation in a continued trial operation.*

## 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

Ing. Wolfgang Zottl, ISM;  
Leitung Forschung & Entwicklung  
wolfgang.zottl@oebb.at,  
www.oebb.at

### ASFINAG

DI Eva Hackl,  
Manager International Relations  
und Innovation  
eva.hackl@asfinag.at,

DI (FH) René Moser, Leiter Strategie,  
Internationales und Innovation  
rene.moser@asfinag.at,  
www.asfinag.at

### Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH

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

Juni, 2014

# Sentinel for Alpine Railway Traffic SART

Ein Projekt finanziert im Rahmen der  
Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung 2011  
(VIF2011)

Oktober 2012



## Impressum:

### Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien  
Renngasse 5  
A - 1010 Wien



ÖBB-Infrastruktur AG  
Praterstern 3  
A - 1020 Wien



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



### Für den Inhalt verantwortlich:

INGLAS GmbH & Co. KG  
ProtectSentinel  
Glärnischstr. 31/1  
D-88045 Friedrichshafen



### Programmmanagemen:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH  
Bereich Thematische Programme  
Sensengasse 1  
A – 1090 Wien



# Sentinel for Alpine Railway Traffic SART

Ein Projekt finanziert im Rahmen der  
Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung  
(VIF2011)

**AutorInnen:**

**Dr. Thomas Meisel**

**Dr. Rüdiger Braun**

**Dipl. Ing. Reinhard Hendricks**

**Auftraggeber:**

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

**Auftragnehmer:**

INGLAS GmbH & Co. KG

ProtectSentinel

## INHALTSVERZEICHNIS

1	ZWECK UND STRUKTUR DES DOKUMENTS .....	5
2	ZIELSETZUNG DES SART PROJEKTES .....	6
3	STUDIENLOGIK .....	8
4	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE .....	9
4.1	Recherchen Ergebnis und Konzeptauswahl.....	9
4.2	SART Konzeptbeschreibung .....	12
4.3	Realisierungsplan für die Pilotphase .....	17
5	ANHÄNGE .....	20
1)	Recherchen Bericht .....	SART-IPS-RP-0002
2)	Trade-Off zur SART Konzeptauswahl .....	SART-IPS-RP-0003
3)	SART Design Description .....	SART-IPS-TN-0001
4)	Requirements for the SART Pilot Installation .....	SART-IPS-SP-0001
5)	Implementation Plan .....	SART-IPS-PL-0002
6)	Risiko Management Plan .....	SART-IPS-PL-0001

## 1 ZWECK UND STRUKTUR DES DOKUMENTS

Das vorliegende Dokument ist der Endbericht für die SART Machbarkeitsstudie, die von INGLAS GmbH & Co KG – Produktbereich ProtectSentinel (kurz IPS) im Auftrag von FFG im Rahmen des Programmes VIF-2011 durchgeführt wurde. Entsprechend der Aufforderung zum Angebot für die Pilot Phase des SART Projektes, und entsprechend dem IPS Angebot für die Machbarkeitsstudie ist dieser Endbericht Bestandteil des IPS Angebotes für die SART Pilot Phase.

Dieser Endbericht ist unterteilt in eine einführende Zusammenfassung zu der Zielsetzung und den Ergebnissen des Projektes und detaillierten Dokumenten zu den einzelnen Projektergebnissen im Anhang. Der Endbericht enthält somit den kompletten Lieferumfang der SART Machbarkeitsstudie gemäß dem IPS Angebot und den vertraglichen Verpflichtungen.

Ergänzend zu diesem Ergebnisbericht hat IPS auch den von den Auftraggebern gewünschten Tätigkeitsbericht erstellt, welcher der Vollständigkeit halber ebenfalls als Anhang zu diesem Bericht präsent ist.

Wie aus diesem Tätigkeitsbericht zu ersehen ist und wie im Detail in der Dokumentation zur Konzeptauswahl dargestellt ist, hat IPS im Verlauf der Studie eine Zusammenarbeit mit der Loughborough University (LBU) für die Folgephase vereinbart, in der LBU mit dem auf ihrer Slope ALARMS Entwicklung basierenden Frühwarnsystem einen wesentlichen Beitrag zum SART System liefern wird. Die Angebotsbeiträge vom LBU sind direkt in die Projektdokumentation - die ja auch Teil des Angebotes ist - eingearbeitet. Daraus ergab sich die Notwendigkeit diese Teile des vorliegenden Endberichtes in Englisch abzufassen.

Es ist beabsichtigt, diese Teile des Endberichtes als Projektdokumentation in der Folgephase in Englisch fortzuführen.

## 2 ZIELSETZUNG DES SART PROJEKTES

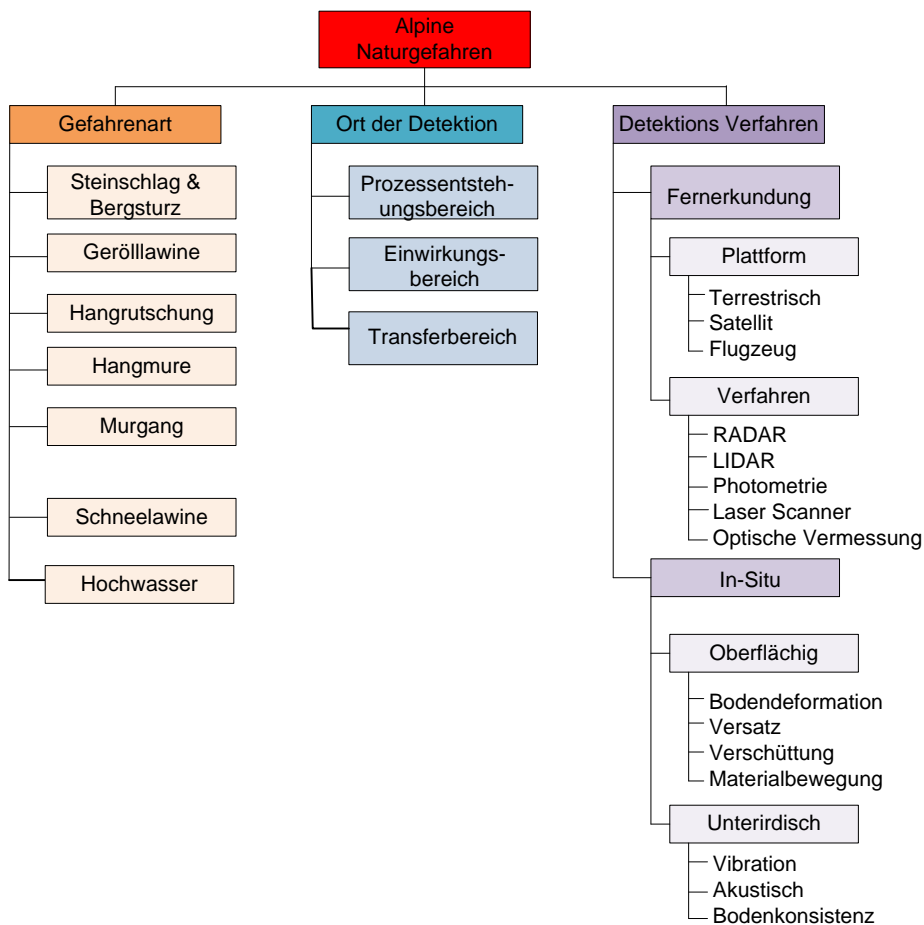
Das SART Projekt ist Bestandteil des Verkehrsinfrastruktur Forschungsprogramms (VIF 2011) und hat zum Ziel, gemäß den Wünschen und Anforderung der Auftraggeber eine Anlage zur Erhöhung der Betriebssicherheit der Österreichischen Bundesbahnen vor gebirgstypischen alpinen Naturgefahren zu konzipieren und in der Folge diese Anlage in einer Pilotanlage zu realisieren. Die angestrebte Gefahrenminderung soll durch eine Warn – und Alarmierungseinrichtung erreicht werden, die es dem Bahnbetreiber gestattet rechtzeitig durch Verlangsamung der Zuggeschwindigkeit, Stoppen von Zügen oder durch Streckensperrung und Umfahrungen bevorstehende oder bereits akut existierende Gefahren abzuwenden.

Die in Betracht kommenden Gefahrenarten sind höchst unterschiedlich und umfassen Steinschlag, Felssturz, Murgang, Hangmuren, Hangrutschungen sowie Schneesrutschungen und Schneelawinen. Zur Gefahrendetektion kommen prinzipielle die Beobachtung des Entstehens von Gefahrprozessen, die Detektion auf die Bahnanlagen stürzender oder rutschender Fremdkörper im Transferbereich, oder die Erkennung von Hindernissen im Einwirkungsbereich an den Gleisen.

Die Detektionsverfahren können in Fernerkundung und In –Situ Detektion gegliedert werden. Wobei für jede der beiden Verfahrensgruppen unterschiedliche Techniken zum Einsatz kommen können.

Die nachfolgende Abbildung 2-1 zeigt einen Überblick über die verschiedenen Aspekte alpiner Naturgefahren.





**Abb. 2-1: Aspekte alpiner Naturgefahren**

Mit dem SART Projekte verfolgt IPS das Ziel eine Warnanlagen zu konzipieren, die ein weites Spektrum von Gefahrenarten erfasst, die Möglichkeiten von Frühwarnungen einerseits und unmittelbarer Gefahrenerkennung andererseits nutzt, und die mit den spezifischen Kenntnissen von IPS ergänzt durch das Know-how eines kompetenten Partners in einer Pilotanlage realisierbar ist.

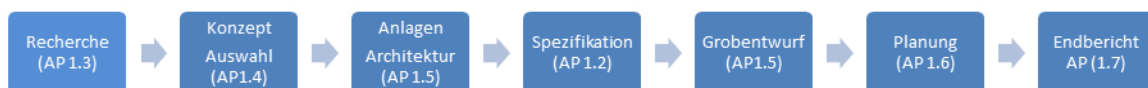
Des Weiteren soll das SART System die betrieblichen Erfordernisse der ÖBB berücksichtigen sowohl hinsichtlich der Schnittstellen zu den ÖBB Betriebseinrichtungen als auch bezüglich der Betriebsabläufe zur Steuerung und Kontrolle des Bahnverkehrs.

Gleichzeitig soll mit dem SART System ein innovativer Ansatz verfolgt werden, der bisher nicht am Markt verfügbare Techniken integriert und für diese den probeweisen operationellen Einsatz weiterentwickelt.

Bei der Verfolgung dieser Projektziele sind die programmatischen Randbedingungen in Form des PCP Beschaffungsverfahrens, des verfügbaren Budgets und des Zeitrahmens zu berücksichtigen.

### 3 STUDIENLOGIK

In Abbildung 3-1 ist vereinfacht der Ablauf der SART Machbarkeitsstudie dargestellt. Am Anfang der Studie stand eine Recherche zum Stand der Wissenschaft und Technik, in welcher die bereits in der Angebotsphase begonnene Arbeit fortgesetzt wurde. Dazu wurden Literatur und Veröffentlichungen internationaler Symposien sowie eine Internet Recherche zu den am Markt verfügbaren Systemen zusammengestellt und durchgesehen, wobei zunächst alle möglichen Naturgefahrenarten und Detektionsorte betrachtet wurden. Die analysierten Verfahren beschränkten sich jedoch entsprechend den IPS Firmenerfahrungen auf die In-Situ Methoden. Darauf erfolgten Informationsanfragen (Request for Information - RFI) an die betreffenden Autoren und Hersteller der für SART am ehesten relevanten Ergebnisse.



**Abb. 3-1: SART Studienlogik**

Mit den Ergebnissen der Recherche und der RFIs erfolgte die Auswahl des Konzeptes mithilfe einer gewichteten Abwägung.

Mit der Konzeptauswahl konnte die Systemarchitektur durch Aufteilung in Untersysteme und Informationsflüssen zwischen ihnen festgelegt werden, welche die Grundlage für den SART Spezifikationsentwurf bildet. Daraufhin erfolgte der Grobentwurf des Systems bei dem die Funktionen der Untersysteme realisierbaren Geräten und Software zugeordnet werden. Letztlich bildete das technische Konzept die Basis für die Realisierungsplanung in der Pilotphase.

Bei der Konzeptdefinition und SART System Spezifikation wurden die Leistungs- und Schnittstellenanforderungen der ÖBB beachtet und eingearbeitet.

## 4 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

### 4.1 Recherchen Ergebnis und Konzeptauswahl

Die Ergebnisse der Recherche sind in einem Bericht im Anhang 1 zu diesem Endbericht dokumentiert. Zusätzlich existiert als Ergebnis der Recherche die RFI Korrespondenz mit verschiedenen Autoren und Herstellern.

Die Recherchen haben gezeigt, dass die Thematik der Warnung vor Naturgefahren weltweit relevant ist und ein hohes Interesse vor allem auch an brauchbaren Frühwarnsystemen besteht. So werden in einer Vielzahl internationaler Symposien Lösungsansätze und Pilotsysteme zu fast allen Aspekten der Naturgefahren präsentiert. Es war in der Kürze der Machbarkeitsstudie nicht möglich, einen umfassenden detaillierten Überblick zu gewinnen und so reflektieren die analysierten Veröffentlichungen eher repräsentative Stichproben als ein umfassendes Gesamtbild der Situation. Im Gegensatz zu der fast unüberschaubaren Vielfalt von Veröffentlichungen aus der Forschung und universitärem Umfeld zeigt die Analyse des Angebotes marktgängiger Systeme allerdings nur wenige verfügbare Produkte die für einen operationellen Einsatz geeignet wären. Im Vordergrund bei den kommerziellen Warnsystemen stehen terrestrischen Fernerkundungssysteme auf der Basis von Radar, Lidar und optischen Vermessungen, die vornehmlich in Tagebau Bergwerken eingesetzt werden. Eine Vielfalt kommerzieller Produkte besteht hingegen bei den Messgeräten und Messaufnehmern, die allerdings eher für die geologische Forschung gedacht sind.

Ferner ist als Ergebnis der Recherche festzuhalten das – außer für ein limitiertes Einsatzgebiet von terrestrischen Fernerkundungsanlagen – für Hangrutschungen aller Art, Steinschlag, Felssturz und Gerölllawinen eine automatische Frühwarnung nicht möglich zu sein scheint, die ausreichend zuverlässig wäre, um daraufhin Maßnahmen zur Gefahrenvermeidung ergreifen. Alle in den untersuchten Publikationen und Produkte vorgestellten Verfahren führen zu Ergebnissen die einer mehr oder weniger weitergehenden Interpretation durch Experten bedürfen.

Die Recherchen Ergebnisse waren Gegenstand einer gewichteten Abwägung (weighted Trade-off) zur Auswahl des SART Konzepts. Bei diesem Verfahren wird zunächst eine Reihe von Beurteilungskriterien festgelegt und diesen eine Gewichtung in Prozent zugeordnet, so dass sich die Gesamtsumme der Gewichtungen zu 100% ergibt. Danach erfolgt die Benotung der Kriterien für jeden der zur Auswahl anstehenden Lösungsansätze und die Multiplikation der Note mit der zuvor vergebenen Gewichtung. Die Summe der gewichteten Noten ergibt die Gesamtnote, und die Reihenfolge der Gesamtnoten ist maßgebend für die

Konzept Auswahl.

Das Verfahren und die daraus folgende Konzeptauswahl sind im Anhang 2 dargestellt.

Das so als optimaler Lösungsansatz ermittelte SART Konzept besteht aus der Kombination eines Frühwarnsystems auf der Basis des „Slope ALARMS“ der Loughborough University mit einem System zur Detektion von Hindernissen im Transferbereich und im Einwirkungsbereich an den Bahnanlagen basierend auf dem IPS eignen Produkt „ImpactSentinel“.

Das Konzept ist somit in zweifacher Hinsicht ein dualer Ansatz. Dualität besteht zum einen bei der Strategie zur Gefahrenerkennung bei der sowohl sich entwickelnde Gefahrenprozesse im Gebirge detektiert und gemeldet werden, als auch unmittelbar bestehende Gefahren durch Hindernisse an den Gleisen erkannt werden.

Dualität besteht auch hinsichtlich des Innovationsgehaltes der verwendeten Technologien.

Dem bei „Slope ALARMS“ verwendeten Verfahren liegt der seit langem bekannte Effekt zugrunde, dass Bewegungen instabiler Hänge vornehmlich an den Scherflächen sich gegeneinander verschiebender Hangschichten durch das aneinander Reiben von Bodenpartikeln so genannte „Acoustic Emissions“ entstehen. Das „Slope ALARMS“ Verfahren nutzt den Geräuscheffekt in einem mit Kies umgebenen Acoustic Waveguide und einer Sensorik zur Detektion und Analyse solcher Bodengeräusche. In Laborversuche und Testinstallationen ist es gelungen, die Intensität der Hangbewegung aus den Geräuschanalysen automatisch zu ermitteln und Warnsignale verschiedener Kritikalitätsstufen daraus abzuleiten. Damit bietet „Slope ALARMS“ im Gegensatz zu den meisten anderen Frühwarnsystemen die Möglichkeit Frühwarnungen in Echtzeit zu generieren und ohne vorherige Datenanalyse durch Experten weitere Analysen vor Ort zu veranlassen und gegebenenfalls technische Maßnahmen zu ergreifen. (weitere Informationen unter <http://www.slopealarms.com/> )

Im Gegensatz dazu basiert die Hindernisdetektion auf der Kombination und Weiterentwicklung zweier bewährter Techniken. Der eine Teil ist ein leichter Zaun in der Nähe der Bahnanlage zur Detektion von Material aller Art das sich bergab auf die Gleise zubewegt. Die Konstruktion dieses Zaunes ist eine Weiterentwicklung der in USA und Kanada verwendeten „Slide Fence“. Anders als bei diesen, wird jedoch der SART Detektionszaun mit einem Netzwerk autark arbeitender Sensoren ausgerüstet, das unterschiedliche Intensität und Art der Einwirkungen auf den Zaun meldet. Dabei kommt eine Weiterentwicklung der INGLAS eigenen „ImpactSentinel“ zum Einsatz, die sich zur Erkennung möglicher Beschädigungen durch Steinschlag auf Schutzzäune entlang von

Eisenbahnstrecken – vor allem bei der SBB – im mehrjährigen Einsatz bewährt haben. (weitere Information unter <http://www.impact-sentinel.de/> )

Die automatische Korrelation der Daten mehrerer Sensoren aus einem von Materialbewegungen getroffenen Zaunabschnitt ermöglicht die Alarmgabe mit verschiedenen Dringlichkeitsstufen an die Betriebsführung der Bahn. Zur Validierung von Alarmmeldungen sind eine oder mehrere Kameras für Aufnahmen der betroffenen Zaun – und Gleisabschnitte vorgesehen.

Ein wichtiger Aspekt bei der Auswahl des Konzeptes waren die technischen und operationellen Schnittstellen zu den ÖBB Betriebseinrichtungen. Ein Treffen mit ÖBB zu diesem Thema am 3. Juli 2012 in Hiefalau war sehr aufschlussreich und hat für die Konzeptauswahl wichtige Anhaltspunkte geliefert, insbesondere der dort diskutierte Ablauf einer Warnung.

Warnungen müssen in jedem Fall an der Fernwirkanlage eingespeist werden, was insbesondere auch für die Beobachtung und Auswertung komplexer Prozesse der Gefahrenentstehung gilt. Mit der Auswahl von „Slope ALARMS“ lässt sich die Kritikalität entstehender Hangbewegungen auf einfache Relais Aktivierungen reduzieren ebenso wie die korrelierte Auswertung von Sensorsignalen vom Detektionszaun. Die Dualität des gewählten Konzeptes berücksichtigt die bei dem genannten Treffen vorgestellte Auswertung von Warnungen auf zwei Wegen. Akute Gefahren aus der Hindernisdetektion werden der Betriebsführungszentrale signalisiert, wo ein Notfallkoordinator je nach Kritikalität betriebliche Maßnahmen wie Streckensperrung oder nur Geschwindigkeitsreduktion veranlasst.

Warnungen aus dem Frühwarnsystem betreffen primär die Technische Bereitschaft, die weitere Maßnahmen veranlasst wie zum Beispiel die Analyse der parallel zu den Warnungen an den ÖBB Messdatenserver übertragenen Prozessdaten und eine Begehung und Begutachtung des kritischen Geländes durch Geologen und daraufhin Räumungen oder ähnliche Vorkehrungsmaßnahmen.

Die Dualität von SART erlaubt den Alleinbetrieb jedes der beiden Teilsysteme - Hindernisdetektion und Frühwarnung.

Der gleichzeitige Betrieb der Teilsysteme und die Korrelation der aus beiden Teilanlagen gewonnen Daten schafft allerdings eine Redundanz, die vor allem zur Konsolidierung von Frühwarnungen wichtig sein kann. So kann die Eigenschaft des Teilsystems für die Hindernisdetektion auch kleinere Ereignisse ohne Gefährdung für den Bahnverkehr zu detektieren und zu melden genutzt werden. Wie aus der Literatur bekannt ist, können die

Häufigkeit kleinerer Steinschläge Bewegungen und deren Zunahme ein Indiz für in Gang kommende Bewegungsprozesse sein. Die systematische Korrelation solcher Beobachtungen mit den Daten aus dem Frühwarnsystem ist eine interessante Anwendungsmöglichkeit der SART Pilotinstallation.

Ein weiteres wichtiges Auswahlkriterium für das SART Konzept sind die Kosten welche unter dem Aspekt der „Total Cost of Owneship (TCO)“ betrachtet wurden. Das bedeutet dass nicht nur die Beschaffungskosten sondern gleichermaßen auch die Betriebskosten beim Anwender sowie Kosten für Wartung und die Lebensdauer und Ersatzbeschaffung zu berücksichtigen sind.

Es ist festzustellen, dass die wegen der Zauninstallation für Hindernissensoren und die wegen der erforderlichen Bohrungen für die Messung der „Acoustic Emissions“ etwas höheren Beschaffungskosten durch die Wartungsfreiheit, Langlebigkeit und geringen Betriebskosten kompensiert werden. Oft können auch vorhandene Schutzzäune für die Sensorik verwendet werden, sodass in diesem Fall keine Zusatzkosten für den Sensorzaun entstehen.

Insgesamt sind die Kosten für SART durch den erheblichen Zugewinn an Sicherheit für Personal und Passgiere sowie durch die Einsparungen an Ersatz und Reparaturen des rollenden Materials gerechtfertigt.

#### **4.2 SART Konzeptbeschreibung**

Eine detaillierte Beschreibung des SART Entwurfs und des Betriebskonzepts, welche die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie reflektiert, findet sich im Anhang 3 dieses Berichtes. Auf dieser Basis wurde ein Lastenheft für SART, nämlich die Spezifikation für die SART Pilot Installation erstellt. Diese Spezifikation berücksichtigt zum einen die Vorgaben der Auftraggeber die in der Ausschreibung definiert sind und durch Angaben beim Kick-off und bei einem Treffen mit der ÖBB erweitert wurden. Zum anderen enthält sie darüber hinausgehende Angaben zur Leistung, Funktion, Schnittstellen und Konstruktionsmerkmalen, zu denen sich das Anbieterkonsortium IPS und Loughborough University verpflichten.

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die SART Implementierung und das Betriebskonzept präsentiert.

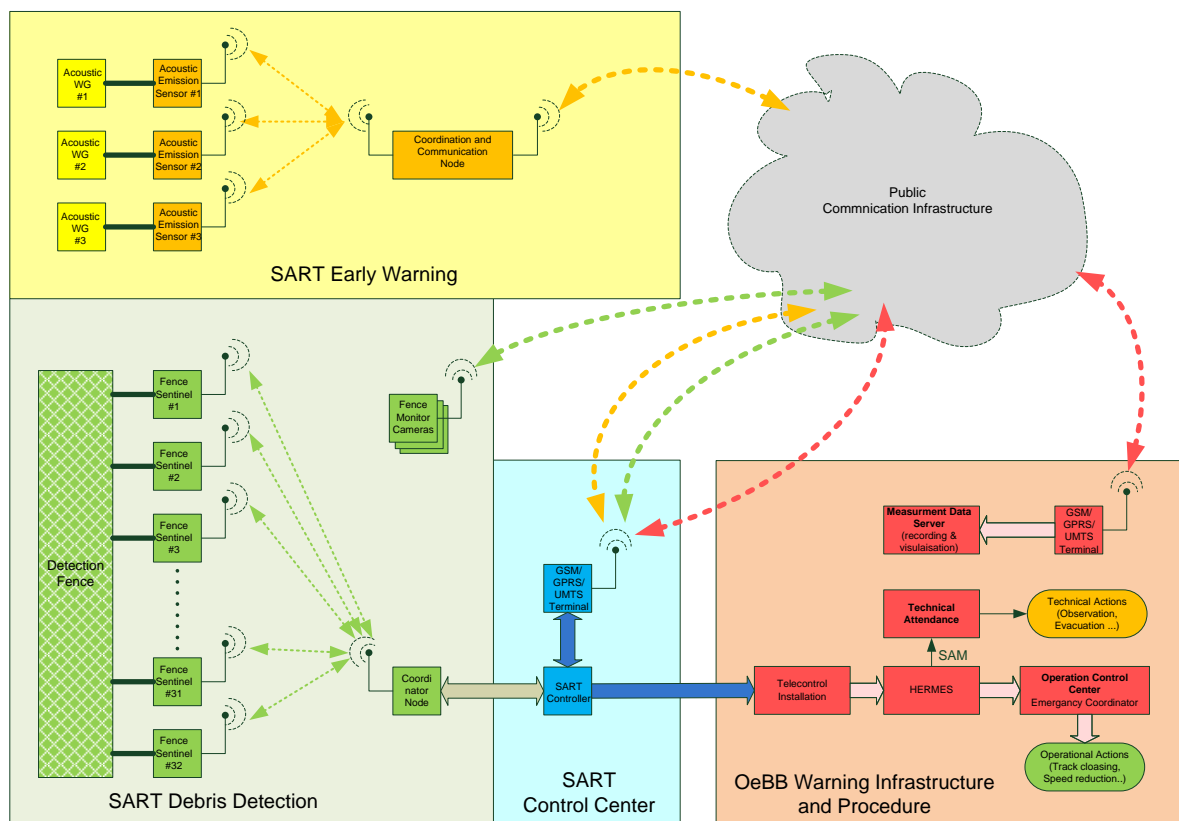
Entsprechend dem dualen Ansatz beinhaltet das SART System sowohl ein Untersystem für die Frühwarnung vor bevorstehenden Naturgefahren von instabilen Hängen als auch ein

Untersystem für die Detektion von Material aus Hangrutschungen, Muren, Steinschlag und Schneelawinen, die sich auf die Gleisanlagen zu bewegen.

Die beiden Untersysteme werden von einem dritten Untersystem koordiniert – dem SART Control Center – das die SART interne Überwachung und Steuerung, sowie den Datenfluss regelt und das Interface zur ÖBB Infrastruktur bildet.

Die Hindernisdetektion und die Frühwarnung können entweder zusammen oder allein jeweils in Kombination mit dem SART Control Center betrieben werden. Beim kombinierten Betrieb beider Untersysteme erzeugen sie unabhängig voneinander Warnsignale an die Verkehrszentrale der ÖBB.

Die funktionale Architektur der Untersysteme mit Ihren wesentlichen Funktionseinheiten und Schnittstellen ist schematisch in Abbildung 4.2-1 dargestellt.



**Abb. 4.2-1: SART funktionale Architektur**

Wie bereits erwähnt, basiert das Frühwarnsystem auf dem Verfahren des Slope ALARMS, das von der Loughborough University erfunden und entwickelt wurde. Das Funktionsprinzip nutzt den Effekt, dass sich bewegendes Bodenmaterial wie zum Beispiel Sand, Erde oder

Steine Geräusche (Acoustic Emissions) durch sich gegeneinander reibende Partikel erzeugen. Diese Geräusche sind am stärksten in den Scherzonen innerhalb und zwischen unterschiedlichen Lagen von Erde und Felsen im Hang. Das Verfahren verwendet einen akustischen Wellenleiter bestehend aus einer Kiesfüllung, welche die Acoustic Emissions in einem sich verformenden Hang erzeugt, und einem Stahlrohr, das diese an die Erdoberfläche leitet. Dort werden sie in elektrische Signale umgewandelt, die in einer Sensoreinheit verstärkt, gefiltert und verarbeitet werden. Die den Acoustic Emissions entsprechenden Signale werden mit einem Schwellwert verglichen und jede Überschreitung gezählt. Die Gesamtzahl dieser so genannten „Ring Down Counts“, sowie die Zählrate und die Veränderungen der Zählrate werden in einem Microcontroller analysiert und lokal gespeichert. Aus der Analyse der Ring Down Counts Rate werden letztlich Warnungen generiert, die in direktem Zusammenhang mit der Hangbewegung stehen und zur Beurteilung einer eventuell bevorstehenden Hangrutschung dienen. Abhängig von den Ergebnissen der vorangegangenen Analyse können verschiedene Kritikalitätsniveaus angezeigt werden.

Die nachfolgende Abbildung 4.2-2 verdeutlicht den Aufbau und das Funktionsprinzip des Akustischen Wellenleiters.

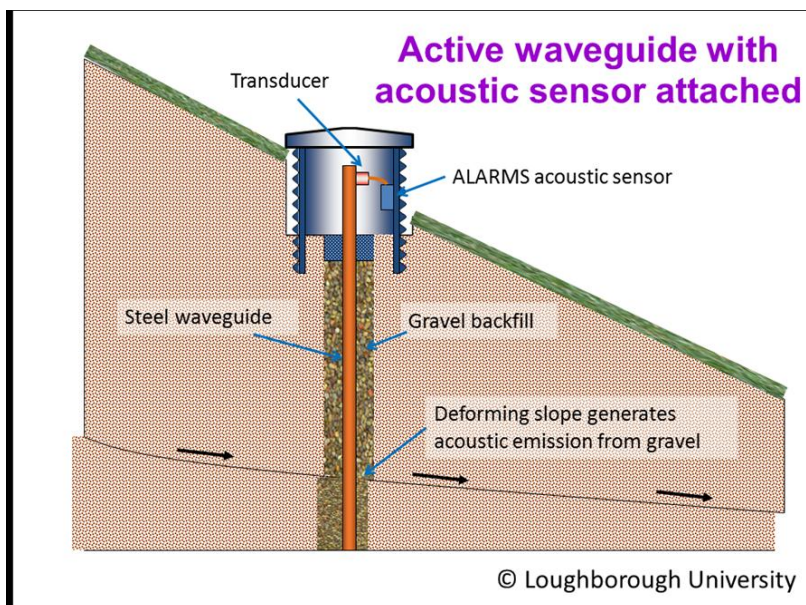


Abb. 4.2-2: Aufbau und Funktionsprinzip des Akustischen Wellenleiters



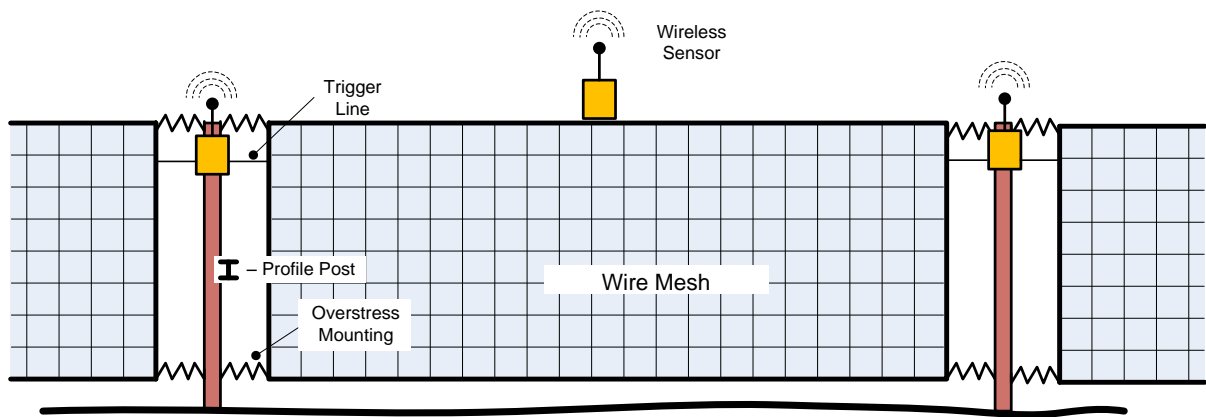
Mehrere solcher akustischer Wellenleiter mit den daran angebrachten Sensoren können für die Überwachung eines kritischen Hangs eingesetzt werden. Sie bilden ein drahtloses Netzwerk (Wireless Sensor Network (WSN)) zusammen mit einem Koordinator und Kommunikationsknoten (Coordinator & Communication Node), der die Sensoren ansteuert und koordiniert und Warnmeldungen an das SART Control Center gibt. Der Coordinator & Communication Node enthält einen Steuerrechner, der dazu eingesetzt werden kann, periodisch Daten aus den Sensoren zu akquirieren, und Analyse Parameter in den Sensoren einzustellen wie zum Beispiel die Schwellwerte für Warnungen.

Ebenfalls enthalten im Coordination and Communication Node ist ein GSM/UMTS Terminal über das die Kommunikation mit dem SART Control Center abläuft. Dieses Terminal ermöglicht es, auch eine Fernwartung der Software durchzuführen zum Beispiel durch Laden neuer Versionen.

Wie bereits erwähnt, basiert das Subsystem zur Detektion von Hindernissen und Material das sich auf die Gleise zubewegt auf dem IPS eignen Produkt ImpactSentinel. Ein Detektionszaun, der im Prinzip aus einer leichten Ausführung konventioneller Schutzzaune mit besonderer Aufhängung des Maschendrahtes besteht, reagiert auf die Einwirkungen von Steinschlag, Geschiebe oder sonstigem Material, das den Zaun deformiert oder sogar den Maschendraht von den Zaunpfosten abreißt. Die Abbildung 4.2-3 vermittelt einen Eindruck des Zaunes mit den darauf montierten Sensoren.

Die Sensoren reagieren auf Erschütterungen oberhalb eines einstellbaren Schwellwerts, sowie auf Verformungen des Zaunes und der Zaunpfosten und registrieren auch das Abreißen des Maschendrahts. Die Kombination der Signale von benachbarten Sensoren, einschließlich des Fehlens von Lebenszeichen der Sensoren, wird zur Beurteilung der Kritikalität herangezogen. Dafür ist eine spezielle Software Routine im Embedded Computer des SART Control Center vorgesehen, welche dann Warnmeldungen an die ÖBB Infrastruktur absetzt.

Zusätzlich, um den Operateuren in der Betriebsführungszentrale eine weitere Beurteilung der Lage zu ermöglichen, sind eine oder mehrere Kameras vorgesehen, die mit der Erzeugung der Warnmeldung automatisch ausgelöst werden und ein Bild von der betroffenen Szene aufnehmen und die aber auch jederzeit manuell von der Betriebsführungszentrale ausgelöst werden können.



**Abb. 4.2-3: Detektionszaun mit Sensoren**

Das SART Control Center beinhaltet sowohl die speziellen Funktionen zur Überwachung und Steuerung des drahtlosen Sensornetzwerkes am Detektionszaun, als auch Steuerungs- und Datenübertragungsfunktionen für das Frühwarnsystem. Insbesondere enthält das SART Control Center ein Interface Modul zur Ansteuerung der Relais in der ÖBB Fernwirkanlage und ein GSM / UMTS Modem das sowohl die SART interne Kommunikation mit den Kameras und dem Frühwarnsystem bewerkstelligt, als auch Prozessdaten zum ÖBB Messdatenserver überträgt. Es ist auch vorgesehen, dieses Modem zur Fernsteuerung und Fernkontrolle der SART Installation von der Betriebsführungszentrale aus zu nutzen.

Alle Untersysteme und Geräte sind für sehr niedrige Leistungsaufnahme und Energieautarken Betrieb mit Batterien und Solargeneratoren konzipiert. Das SART Control Center kann alternativ dazu auch über Netzspannung versorgt werden, falls diese am Einsatzort zur Verfügung steht. Für diesen Fall ist zusätzlich eine unterbrechungsfreie Stromversorgung vorgesehen um Datenverluste und einen Neustart des Systems nach Ausfall der Netzversorgung zu verhindern.

Die wesentlichen Bestandteile und Verfahrensabläufe für Warnungen sind entsprechend der Präsentation der ÖBB beim Treffen in Hieflau am 3. Juli in die Darstellung funktionale Architektur in Abbildung 4.2-1 integriert.

Wie aus der Abbildung ersichtlich ist, wird die weitere Verarbeitung der Warnungsmeldungen aus dem Früherkennungssystem im Wesentlichen von der technischen Bereitschaft durchgeführt werden. Hier werden je nach Kritikalität der Warnung weitere Untersuchungen und Beobachtungen oder auch Vorsichtsmaßnahmen im Einsatzgebiet veranlasst.

Warnungen und Alarmmeldungen aus der Hindernisdetektion erfordern eine zumeist sofortige Reaktion. Deshalb werden solche Meldungen die Betriebsführungszentrale geleitet,

wo ein Notfallkoordinator umgehend betriebliche Maßnahmen wie Geschwindigkeitsreduktion oder Streckensperrungen veranlassen kann.

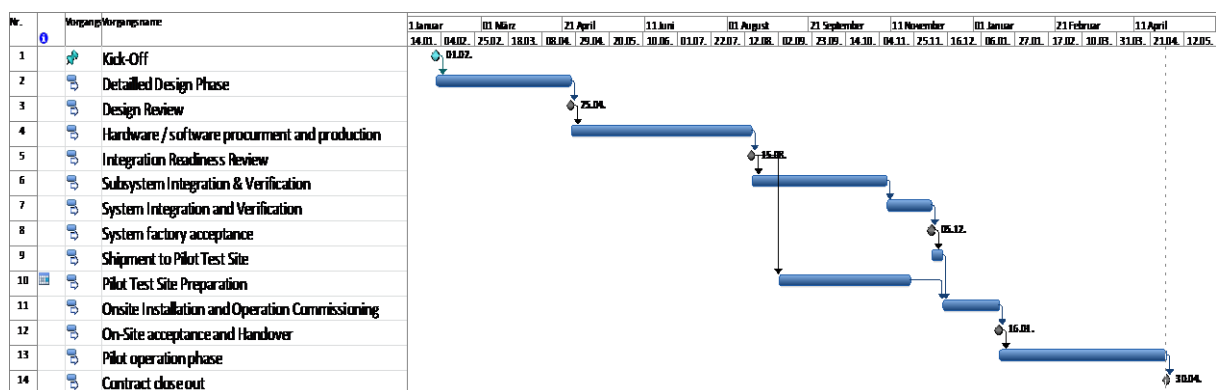
### 4.3 Realisierungsplan für die Pilotphase

Für den Entwurf, die Entwicklung, den Aufbau und die Inbetriebnahme der SART Pilotanlage wurde ein Implementierungsplan erstellt um die Realisierbarkeit im Rahmen der vorgegebenen Rahmenbedingungen – vor allem Kosten und Zeitplan – zu analysieren und darzustellen.

Der Implementierungsplan findet sich im Anhang 5 zu diesem Endbericht.

Wesentliche Ergebnisse der Planung sind die Dekomposition des SART Pilotsystems in Geräte, Module und verschiedene Software Elemente, und die Planung zur Beschaffung und Erstellung der einzelnen Bestandteile. Dabei wird das Ziel verfolgt, soweit möglich kommerzielle Produkte zu verwenden und auf bereits vorhandenen Entwicklungen aufzubauen. Damit können die noch zu erbringenden Neuentwicklungen und Weiterentwicklung auf ein im Rahmen der programmatischen Vorgaben machbares Maß beschränkt werden.

Ein weiteres wesentliches Ergebnis der Planung ist auch die Strukturierung aller Aktivitäten des Pilotprojektes in Phasen und Projektmeilensteine, was eine zuverlässige Fortschrittskontrolle ermöglicht. Die Projektphasen und deren zeitliche Abfolge sind im Gantt Diagramm in Abbildung 4.3-1 dargestellt.



**Abb. 4.3-1: Projekt Phasen und Zeitplan**

Das Projekt beginnt mit einer “Detailed Design” Phase welche auf dem Entwurf der in der Machbarkeit Studie erarbeitet wurde, aufbaut. In der Phase erfolgt die Auslegung und der Detailentwurf für alle Hardware und Software. Dabei entstehen soweit erforderlich

Laboraufbauten und Vormodelle, um die prinzipielle Machbarkeit und Leistungsfähigkeit von Auslegungsdetails zu bestätigen. Am Ende dieser Phase steht eine Design Review als erster Projektmeilenstein. Das Ergebnis dieses Reviews ist Freigabe zur Beschaffung, Entwicklung und Produktion der für die Pilotinstallation erforderlichen Geräte und Software.

Mit Abschluss der Entwicklungen einschließlich der Tests auf Modul und Geräteebenen ist der nächste Meilenstein - die Intergration Readiness Review – erreicht. In diesem Review erfolgt die kritische Prüfung des Zustandes und der Einsatzfähigkeit der Hardware und Software, der Module und Geräte und danach die Freigabe zur Integration und Tests der Untersysteme und des SART Gesamtsystems.

Parallel zu der dann folgenden Integrations- und Testphase wird das Gelände zu Aufnahme der SART Pilotinstallation vorbereitet, was im Wesentlichen als Unternehmung des Kunden ÖBB durchgeführt wird. Der Meilenstein am Ende Phase ist die Laborabnahme der Anlage bei der die Tauglichkeit der Anlage für die Installation auf dem Testgelände geprüft wird sowie der Abschluss der Vorbereitungsarbeiten.

Danach erfolgt der Transport aller Anlagenteile zum Testgelände, wo die Anlage komplett installiert wird. Die Installation endet mit einer Wiederholung der Tests von der Laborabnahme, um zu demonstrieren, dass die bisherigen Ergebnisse und Funktionen auch im Testgelände reproduzierbar sind. Danach wird die Anlage an die ÖBB Fernwirkanlage angeschlossen und die Datenverbindung mit den ÖBB Betriebseinrichtungen verbunden und die Betriebsbereitschaft der Anlage seitens ÖBB demonstriert. Der erfolgreiche Abschluss dieses Schrittes ist die offizielle Übergabe und der vorletzte Meilenstein.

In den folgenden Wochen wird die Anlage zur Probe in den Verkehrsbetrieb der ÖBB integriert. In dieser Phase leisten IPS und LBU stetige Unterstützung für die Operateure bei der ÖBB. Eine wichtige Aktivität in dieser Phase ist die Analyse der von der Frühwarnanlage gemessenen Zählraten der Bodengeräusche und eine gegebenenfalls mehrmalige Anpassung der Schwellwerte für Warnungsmeldungen.

Nach insgesamt 15 Monaten endet dann das Projekt und SART kann in den operationellen Probetrieb der ÖBB übernommen werden. Auch nach dem termingerechten Ende der Vertragslaufzeit stehen IPS und LBU zu weiteren Unterstützungen mit aufwandsgemäßer Abrechnung zur Verfügung.

Da es sich bei dem auf Slope ALARMS beruhenden Frühwarnsystem um eine innovative Entwicklung handelt, wird seitens LBU und IPS empfohlen, parallel zu den akustischen Wellenleitern und deren Sensoren eine konventionelle Inklinometer Messeinrichtung zu betreiben. Die Korrelation der Inklinometer Messungen mit den Versatzmessungen aus der

SART Frühwarnanlage während langer Betriebsphase kann wesentlich zu optimierten Schwellwerten und zu einer weiteren Verbesserung der Software zur Datenanalyse verhelfen. Entsprechende Software Updates könnten dann noch während des Probetriebes in die Anlage geladen werden.

## 5 ANHÄNGE

1) Recherchen Bericht	SART-IPS-RP-0002
2) Trade-Off zur SART Konzeptauswahl	SART-IPS-RP-0003
3) SART Design Description	SART-IPS-TN-0001
4) Requirements for the SART Pilot Installation	SART-IPS-SP-0001
5) Implementation Plan	SART-IPS-PL-0002
6) Risiko Management Plan	SART-IPS-PL-0001