

BMBF Verbundprojekt VibroMag

**Magnetfeldvibrometerkabel zur punktgenauen Überwachung von
Sicherheitsanlagen und des Bodenverkehrs an Flughäfen**

SIFO-440-032



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Abschlussbericht Teilvorhaben

Förderkennzeichen: 13N12865

Magnetfeld-Vibrometerkabel zur Flughafensicherung: Konzept, Signalauswertung und Feldtest

Geplante Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2013 – 30.09.2016

Berichtszeitraum: 01.10.2013 – 30.06.2015

**Lehrstuhl für Nanostrukturforschung, FR 7.2 Experimentalphysik,
Universität des Saarlandes**

Teilprojektleiter:

Prof. Dr. Uwe Hartmann,
FR7.2 - Experimentalphysik,
Universität des Saarlandes,
Postfach 151150, 66041 Saarbrücken

Tel.: 0681 302 3798
Fax: 0681 302 3790
e-mail: secretary.hartmann@mx.uni-saarland.de

Teilprojektmitarbeiter:

Dr. Haibin Gao
Dr. Uwe Schmitt

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Das Gesamtziel des Vorhabens bestand darin, ein kostengünstiges, intelligentes Kabel zu entwickeln, das aufgrund integrierter Magnetfeldsensormodule die Überwachung ausgedehnter Zaunanlagen und Zufahrten erlaubt. Ein einzelnes Kabel kann typischerweise eine Länge von mehreren hundert Metern haben. Die Kabel lassen sich kürzen sowie zu ausgedehnten Netzwerken verbinden. Sie können in einfacher Weise an vorhandenen Zaunanlagen nachträglich befestigt oder in neu zu errichtende Zaunanlagen integriert werden. Das in den Kabeln integrierte Bussystem ermöglicht es, mittels einer für diesen Zweck konzipierten Auswerteeinheit zu lokalisieren, an welcher Stelle ein Zaun überwunden oder manipuliert wird. Die Auswerteeinheit wertet ständig sequentiell die Magnetfeldfluktuationsprofile, die mit den einzelnen in das Kabel integrierten Magnetfeldsensoren erfasst werden, aus. Die Auswerteeinheit diskriminiert atypische Magnetfeldfluktuationen von solchen, die beispielsweise durch typische Umwelteinflüsse hervorgerufen werden, und löst gegebenenfalls einen entsprechenden Alarm aus. Da die gesamte Auswertung rechnerbasiert konzipiert ist, lässt sie sich in einfacher Weise und modular an die entsprechende Anwendung anpassen.

Geplante Beiträge der Universität des Saarlandes zum Erreichen des Gesamtziels:

- Auffinden einer neuen Lösung für die Flughafensicherung basierend auf Magnetsensoren zur Detektion der Vibration von Zaunanlagen.
- Durchführung einer Vielzahl von Testmessungen mit Sensormodulen und kompletten Sensorkabeln zwecks Optimierung der Konstruktionsmerkmale der Vorrichtung durch die anderen Partner.
- Mit Hilfe von Feldtests und Simulationen soll die Funktion des Sensorkabels so gestaltet werden, dass intelligente Algorithmen Nutzsignale, Störsignale und Fehlalarme unterscheiden können, so dass die praktische Anwendbarkeit ermöglicht wird.

2. Voraussetzungen

Der Lehrstuhl für Nanostrukturphysik und Nanotechnologie der Universität des Saarlandes (US) (Prof. Dr. U. Hartmann) hat umfangreiche Erfahrungen in der Grundlagenforschung im Bereich des Magnetismus und im Einsatz höchstempfindlicher Magnetfeldsensoren. Unter Federführung der Universität des Saarlandes wurden in dem EU-geförderten Projekt „ISMAEL“ (www.ismael-project.net) Magnetfeldsensoren entwickelt, die für die empfindliche Erfassung von Fahrzeugen und Flugzeugen geeignet sind. Die im Rahmen dieses Projekts gewonnenen Erfahrungen zur maximalen Empfindlichkeit der Messung von Magnetfeldern bildeten eine solide Basis für die vorgesehenen Arbeiten der Universität des Saarlandes. Die AG Hartmann verfügt über Erfahrungen in der Modellierung von Magnetfeldänderungen. Es werden dabei Module zur Berechnung zeitharmonischer Lösungen der Maxwellgleichungen der Software, z.B. "Comsol Multiphysics", verwendet. Das Programm basiert auf der Methode der finiten Elemente und hat die Fähigkeit zur Modellierung von Magnetfeldänderungen unter Beweis gestellt. Darüber hinaus hat die Universität des Saarlandes erste Testmessungen zur Detektion von Vibrationen und zur Überwachung von Sicherungsanlagen mit Magnetfeldsensoren durchgeführt und konnte so die prinzipielle Machbarkeit unter Beweis stellen. Diese

Vorversuche der Universität des Saarlandes haben gezeigt, dass Vibrationen von Zäunen, metallischen Oberflächen und sogar nicht ferromagnetischen Gegenständen mit außerordentlich hoher Empfindlichkeit detektiert werden können. Die gemessenen Signale haben sehr charakteristische Spektren, die auf die Art der Vibration schließen lassen, wenn eine adäquate Signalverarbeitung durchgeführt wird.

3. Planung und Ablauf

Der Arbeitsplan lässt sich in eine Reihe von Arbeitspaketen (AP) (Tabelle 1) zerlegen, die jeweils zeitlich und inhaltlich ineinander greifen und die durch den jeweils kompetentesten Partner für das entsprechende Arbeitspaket koordiniert wurden. Projektpartner sind: GBA-Panek GmbH (PN), Universität des Saarlandes (US), Sensitec GmbH (ST), Listec GmbH (LT), und Flughafen Leipzig/Halle (FL).

Quartal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
AP1												
AP2												
AP3												
AP4												
AP5												
Meilensteine		M1			M2		M3				M4	M5

Tabelle 1: Arbeitspakete und Meilensteine des Projekts VibroMag

Wegen des Projektabbruchs zum 30.06.2015 konnten die Arbeitspakete unter Punkt 4 und 5 nur zum Teil erledigt werden. Im Einzelnen wurden von der Universität des Saarlandes Arbeiten zu den folgenden Arbeitspunkten, aufgeschlüsselt nach Unterpunkte, durchgeführt:

AP1: Sensoranforderungen aus Anwendung (Lastenheft, Pflichtenheft)

AP 1.2 Definition des Anforderungsprofils an die Sensorik (US, ST, PN, FL)

AP 1.3 Sensor-Module: Testmessungen (US, ST)

AP2: Konzeption Vibrometerkabel

AP 2.1 Sensor-Pflichtenheft und Interface (ST, US, LT)

AP 2.2 Konzept für die Integration der Vibrometerkabel-Komponenten (LT, ST, US, PN)

AP3: Projektierung und Herstellung der Komponenten und Integration in das Kabel

AP 3.3 Labortests der Einzelkomponenten (ST, US, LT)

AP4: Sensorauswertung (Signalauswertung, Auswertalgorithmen, Funktionsumfang, Grenzwerte)

AP 4.1 Technische Grenzen (ST, US, LT, PN)
AP 4.3 Aufbau Gefährdungssimulator (US)
AP 4.4 Signalauswertung und Algorithmen (ST, US, LT)

AP5: Anwendungsnahe Testszenarien (konnte aufgrund des vorzeitigen Projektendes nicht bearbeitet werden)

AP 5.1 Testszenarien-Konzept (PN, LT, US, ST, FL)
AP 5.3 Feldversuche und Ergebnisse (US, ST, PN, LT, FL)

Meilensteine:

- M1: Anforderungsprofil Sensormodul
- M2: Konzept Vibrometerkabel
- M3: Funktionsmuster Sensorkabel
- M4: Sensorauswertekonzept
- M5: Ergebnisse aus Feldversuchen

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Im Rahmen des Vorhabens wurde eine neue Sicherheitstechnologie erforscht und entwickelt, die einfach nachzurüsten ist und bei der auf das Vorhandensein einer Infrastruktur verzichtet werden kann. Das Innovative der angedachten Lösung ist die punktgenaue Detektion von Ereignissen. Bisherige technologische Ansätze haben grundsätzliche Nachteile und eignen sich deswegen nur bedingt für eine hundertprozentige Kontrolle von Zaunanlagen, wie die nachfolgenden Beispiele zeigen:

Bestehende Schutzrechte (eigene und Dritter)

Die Universität des Saarlandes hat im Oktober 2011 Schutzrechte beantragt, (EP11186937), die sich auf alle relevanten technischen Aspekte des Sensorkabels, das zentraler Gegenstand dieses Projekts ist, erstrecken. Um sicherzustellen, dass das hier vorgeschlagene Projekt einen hohen Innovationsgehalt aufweist, wurden umfangreiche Recherchen zu bestehenden Schutzrechten Dritter durchgeführt. Das Ergebnis lässt sich wie folgt zusammenfassen:

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Universität des Saarlandes kooperierte während der Laufzeit des Projekts mit dem Unternehmen **GBA-Panek (PN)** mit Sitz in Kahla/Thüringen, das große Erfahrungen in der Errichtung von Sicherungsanlagen für Flughäfen und mit Überwachungstechniken besitzt. Eine Zusammenarbeit bestand ebenfalls mit der **Sensitec GmbH (ST)** mit Hauptsitz in Lahnau bei Wetzlar, einem führenden Unternehmen in der Magnetoresistive Sensor-Technologie und in magnetischen Mikrosystemen. Die **Listec GmbH (LT)** mit Sitz

in Isen bei München war maßgeblich verantwortlich für die Integration der Sensormodule und des Bussystems in ein frei konfigurierbares, lineares und vernetzbares Sensorkabel. Der **Flughafen Leipzig/Halle (FL)**, ein Unternehmen der Mitteldeutschen Airport Holding, war als Testgelände für dieses Projekt vorgesehen. In Abbildung 1 ist nochmals die Aufgabenverteilung unter den Projektpartnern und die Entwicklungsabschnitte des Projekts zusammenfassend dargestellt.

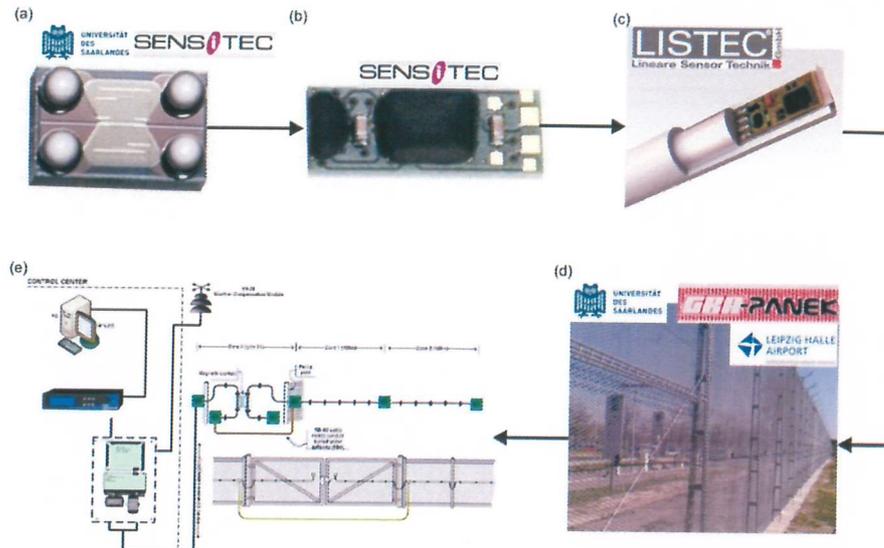


Abbildung 1: Übersicht über die einzelnen Entwicklungsabschnitte, die Kompetenzen und Aufgabengebiete der Partner, die sich aus der Rollenverteilung und den Projektzielen ergeben. (a) Magnetfeldsensorkonzept. (b) Sensormodulherstellung. (c) Integration der Module in das Sensorkabel. (d) und (e) Integration des Kabels in einen Zaun und Feldtest, Integration der Überwachungsstecken in die Gesamtsicherheitsinfrastruktur des Flughafens Leipzig.

II. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

AP 1.2 Definition des Anforderungsprofils an die Sensorik

Die in AP 1.1 erfolgte Evaluierung typischer Gefährdungs- und Nichtgefährdungsereignisse unter Einbeziehung von Erfahrungswerten von GP und FL diente der US als Grundlage zur Bestimmung der typischen Frequenzspektren der von den Gefahren erzeugten Vibrationen und Fluktuationen magnetischer Felder, wobei teils auf vorhandene Daten zurückgegriffen wurde. Dadurch wurde das Anforderungsprofil an die Sensorik erstellt, dabei wurden auch Expertenmeinungen aus dem Bereich Sicherheitstechnik (FL, etc.) mit einbezogen.

Aufgabenstellungen von AP 1.2

In diesem Unter-AP 1.2 wurden von der Universität des Saarlandes die Magnetfeldänderung und das Frequenzspektrum bei Vibrationen des Zaunes einer gegebenen Amplitude und Frequenz gemessen.

Hierfür wurde die Modellierung zur Simulation der Magnetfeldänderungen durch Bewegung des Zaunes im Erdmagnetfeld genutzt. Die Sensitivität zur Detektion von Vibrationen eines Zauns oder sich ihm näherender ferromagnetischer Objekte wurde untersucht und definiert. Die Ergebnisse flossen anschließend bei der Parameterfestlegung des verwendeten Sensors für die vorgeschlagene Anwendung mit ein. Insbesondere konnte die Universität des Saarlandes ihre Erfahrungen aus früheren Anwendungen von Magnetfeldsensoren im Bereich der Flughafensicherheit (EU-Projekt ISMAEL), den speziellen technischen Bedarf und erhaltene Ergebnisse zusammen- und bereitstellen.

Ergebnisse von AP 1.2

Die Modellierung der Feldstärkeänderungen am Ort des Sensors durch Bewegungen des Sensors im Erdmagnetfeld wurde durchgeführt. Bei der Berechnung der Feldstärkeänderungen sind wir von einer relativen Lage des Koordinatensystems zum Erdmagnetfeld ausgegangen, wie in Abbildung 2 dargestellt.

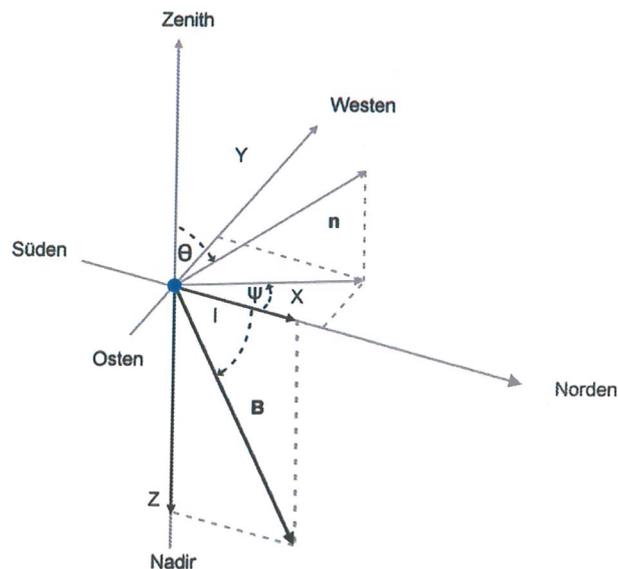


Abbildung 2: Ausgangslage des Koordinatensystems relativ zum Erdmagnetfeld. Die momentane Drehachse \vec{n} wird durch den Polarwinkel θ und den Azimutwinkel ψ bestimmt.

Zur Abschätzung der zu erwartenden Messergebnisse wurden dabei für die Größe der Erdmagnetfeldstärke Werte angenommen, wie wir sie für den Campus Saarbrücken aus dem World Magnetic Model (Vers. 2010) (Tabelle 2) erhalten haben.

Wie sich zeigte, genügt es dabei nicht, die Änderungen der verschiedenen Magnetfeldkomponenten bei einer Drehbewegung um eine feste Achse, aber variablem Drehwinkel zu betrachten; vielmehr müssen auch, um unterschiedlichen Lageänderungen und Ausgangsorientierungen des Sensors relativ zum Erdmagnetfeld Rechnung zu tragen, die Änderungen der Magnetfeldkomponenten bei Drehungen um unterschiedliche Achsen ermittelt werden. Dann erst lässt sich erkennen, ob und unter welchen Bedingungen (Ausgangslage des Sensors) eine schlechte Detektierbarkeit vorliegt, was Drehbewegungen mit nur geringer Magnetfeldstärkeänderung entspricht.

Durch entsprechende Softwaremodule (erstellt mit Matlab R2012) konnten Änderungen der Magnetfeldstärke für beliebige aber feste Drehachsen und beliebige Winkel berechnet werden, um so die zu erwartenden Magnetfeldänderungen und die minimal detektierbaren Lageänderungen der Sensoren abzuschätzen.

Längengrad (Longitude)	7°02'40''O
Breitengrad (Latitude)	49°15'28''N
Höhe ü.NN (Altitude)	261m
Inklination	64°54'
Magnetfeld B (total)	48315nT
Horizontalkomponente des Magnetfeldes	20501nT
Vertikalkomponente des Magnetfeldes	43750nT

Tabelle 2: World Magnetic Model 2010 (NOAA National Geophysical Data Center): Relevante Daten für die Berechnungen auf dem Campus Saarbrücken.

Andererseits waren wir durch die Betrachtung von Magnetfeldänderungen bei beliebigen aber festen Drehwinkeln und beliebigen Drehachsen in der Lage, Aussagen über die zu erwartenden Signalstärken in Abhängigkeit von der Orientierung des Sensors (Anbringungsort, Ausgangslage) zu machen (Abbildungen 3a - 3c). Der Übersichtlichkeit halber sind lediglich die graphischen Darstellungen der Magnetfeldänderungen der einzelnen Komponenten für einen festen Winkel von 0.1° eingefügt.

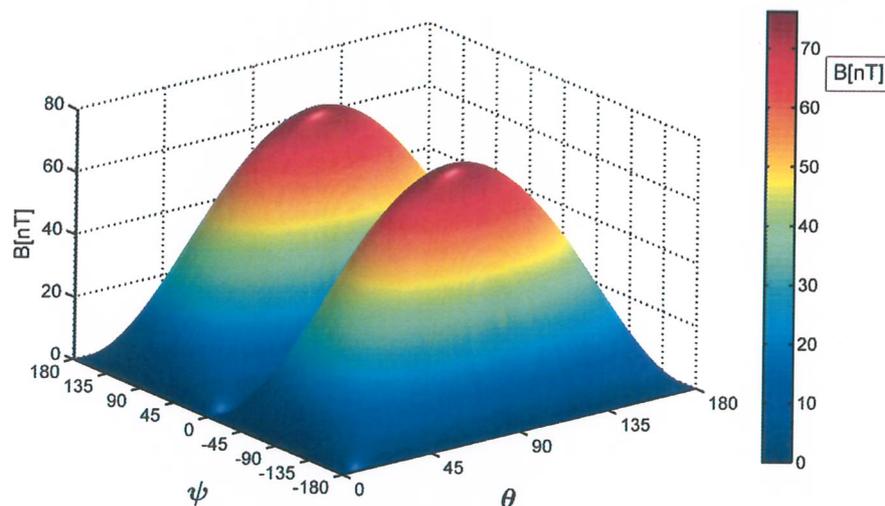


Abbildung 3a: Änderung der x-Komponente der magnetischen Feldstärke bei einer Drehung von 0.1° um beliebige Rotationsachsen.

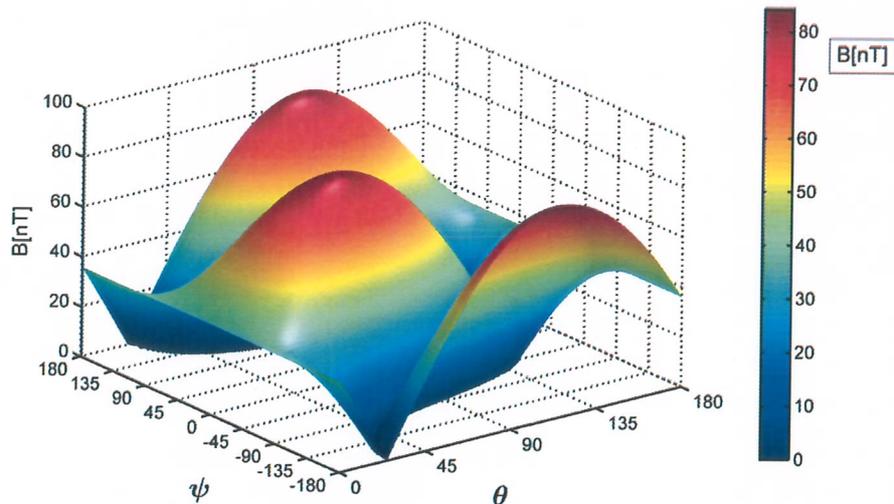


Abbildung 3b: Änderung der y-Komponente der magnetischen Feldstärke bei einer Drehung von 0.1° um beliebige Rotationsachsen.

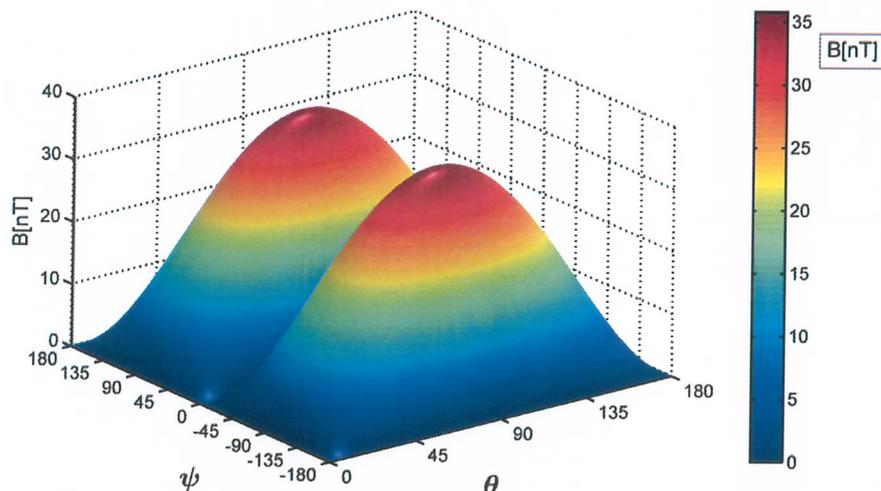


Abbildung 3c: Änderung der z-Komponente der magnetischen Feldstärke bei einer Drehung von 0.1° um beliebige Rotationsachsen.

Wir konnten feststellen, dass zu jeder Ausgangslage Rotationsachsen existieren, um die eine Drehbewegung in einer oder mehreren Magnetfeldkomponenten nur geringe oder gar keine Änderungen hervorruft. Diese Tatsache stellt jedoch in keinsten Weise die grundsätzliche Detektierbarkeit von Eindringversuchen in Frage, da die Signalstärken, wie die späteren Messungen zeigten, weit oberhalb der Auflösungsgrenze heutiger Magnetsensoren liegen. Durch die Verwendung von Magnetfeldsensoren mit drei unabhängigen Detektionsachsen wird das Auftreten einer zur Detektion von Störereignissen ungünstigen Ausgangslage weitgehend vermieden.

AP 1.3 Sensor-Module: Testmessungen

Es wurde eine Modellierung der Feldstärkenschwankung am Ort des Sensors in "nullter Ordnung" vorgenommen: Eine periodische Schwankung der Randbedingung für das

Erdmagnetfeld (Vibrationen am Stahlzaun) erzeugt Schwankungen des Magnetfeldes am Ort des Sensors. Es erfolgte die Bestimmung der Veränderung des Frequenzspektrums zum Ausgangsfrequenzspektrum. Dazu wurden verschiedene Softwaremodule (Comsol, Matlab, Labview) genutzt und eine Vorauswahl der in Frage kommenden Sensortypen getroffen.

Aufgabenstellungen von AP 1.3

In Laborexperimenten wurden Testmessungen zur optimalen Empfindlichkeit, zur Anzahl der benötigten Raumrichtungen und zur Festlegung der benötigten Frequenzbandbreite für typische Szenarien unter Verwendung ferromagnetischer Sicherungsvorrichtungen durchgeführt. Dazu wurden einzelne Sensoren in eine definierte elastische und magnetische Umgebung eingebracht und vermessen.

Des Weiteren wurden die Sensoren mit unterschiedlicher Amplitude, Frequenz und Ausrichtung im Erdmagnetfeld bewegt, um so mögliche Vibrationen des Sensors bzw. des Zauns zu simulieren. Die Magnetfeldänderungen aufgrund der Vibration des Zaunes oder durch die Annäherung ferromagnetischer Objekte wurden aufgezeichnet und verglichen mit den Anforderungen der Anwendung.

Ergebnisse von AP 1.3

Umfangreiche Testmessungen an Laboraufbauten zur Erzeugung von Drehbewegungen definierter Amplitude und Frequenz, sowie Messungen zur Bestimmung der Empfindlichkeit und des Rauschverhaltens verschiedener Sensoren in unterschiedlichen elastischen und magnetischen Umgebungen wurden durchgeführt. Die Magnetfeldsensoren XXX und YYY wurden dazu auf einem Würfel befestigt, der außen auf einem Kunststoffschlauch angebracht wurde (Abbildung 4).



Abbildung 4: XXX (seitlich vorne hinter Kabeln verdeckt) und YYY (oben).

Dieser Kunststoffschlauch enthielt im Inneren die im Abstand von 1m angeordneten Sensorplatinen (Abbildung 5), die mit dem ZZZ Magnetfeldsensor bestückt waren.

Abbildung 5: Sensorplatine von LS mit ZZZ (Maßstab in cm).

Zur Datenerfassung und partiellen -auswertung wurde ein in der Arbeitsgruppe existierendes Labviewprogramm (Vers. 2012) modifiziert und um Spektralanalyse- und Filterfunktionen erweitert (Abbildung 6).

Abbildung 6: Labviewprogramm zur Datenerfassung, Spektralanalyse und Filterung von drei Magnetfeldsensordaten entsprechend den drei Raumrichtungen.

Darüber hinaus wurden grundlegende Fragen zum Verhalten der Magnetsensoren in unterschiedlichen magnetischen und elektrischen Umgebungen untersucht. So ließen sich u. a. Aussagen über die Stärke des gemessenen Sensorsignals in Abhängigkeit von der Entfernung zu einem definierten ferromagnetischen Objekt machen (Abbildung 7) machen. Hierbei wurden die Signalstärken verschiedener Sensoren als Funktion der Entfernung eines ferromagnetischen Gegenstandes erfasst, um die Empfindlichkeit der Magnetfeldsensoren bei der Detektion der Annäherung einer Person mit einem ferromagnetischen Gegenstand (z.B. einem Werkzeug) oder eines Fahrzeugs zu bestimmen. Ein 200g schwerer Hammer beispielsweise verursacht bereits bei einer Entfernung von 10 cm eine Feldstärkenänderung im μT -Bereich hervor. Sich nähernde Fahrzeuge oder Personen mit Werkzeugen aus Eisen sind dementsprechend schon aus viel größeren Entfernungen zu detektieren.

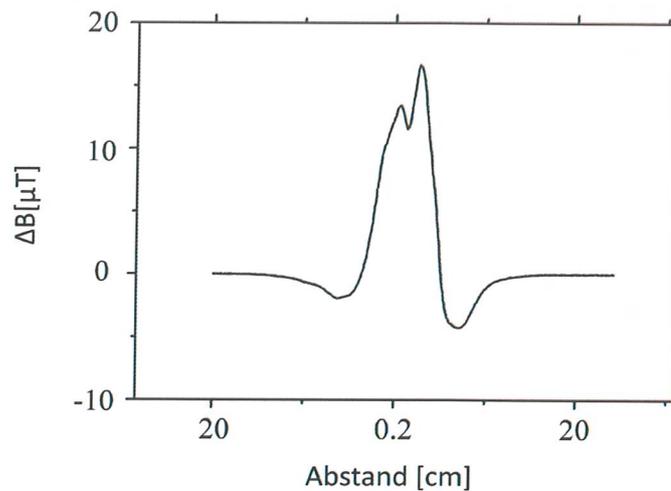


Abbildung 7: Verlauf des magnetischen Sensorsignals bei Annäherung und anschließendem Entfernen eines ferromagnetischen Gegenstands. Angegeben ist der Abstand des ferromagnetischen Objekts (200g schwerer Hammer), das in Richtung seiner Flächennormalen bewegt wurde, relativ zur Oberfläche des Sensorgehäuses.

Zur Auswertung der erhaltenen Daten wurde ein Matlab-Programm (Ver. R 2012) entworfen, das es ermöglicht, die Signale offline zu analysieren. Auf diese Software wird unter AP 4.3 im Zusammenhang mit der Evaluation von Eindringenszenarien auf unserem Versuchsfeld noch näher eingegangen werden. In Tabelle 3 wurden die wesentlichen Resultate unserer einführenden Messungen zusammengefasst.

Tabelle 3: Ergebnisse zur magnetischen und spektralen Analyse der gemessenen Störereignisse

AP 2.1 Sensor-Pflichtenheft und Interface

Auf der Basis der Voruntersuchungen in AP1 wurde das Anforderungsprofil (Pflichtenheft) für das Sensormodul festgelegt. Dabei wurden auch die Weiterverarbeitung und der Einsatz im Vibrometerkabel berücksichtigt (Herstellprozess, Einsatzbedingungen), um die Zuverlässigkeit der Sensormodule bzw. -Signale zu gewährleisten. Die Definition der Schnittstelle zum Bussystem erfolgte ebenfalls.

Die Sensorsignale sollten in Form von Strömen, die proportional zum detektierten Magnetfeld sind, in das Bussystem eingepreßt werden, um die in der Auswertestation gemessenen Signale unabhängig von der Kabellänge zu gestalten.

Aufgabenstellungen von AP 2.1

Die Sensorparameter wie Sensitivität, Linearität, Temperaturverhalten, Frequenzbereich oder Stromverbrauch waren anhand der detektierten und simulierten Zaunvibrationen und

sich nähernder ferromagnetischer Objekte aus AP 1 zu definieren. Der Sensortyp, der Stromverbrauch, die Größe, die kontrollierenden Parameter und die Stromversorgung des Sensors im Hinblick auf die Integration des Sensors in das Kabel sollten festgelegt werden. Ein Kommunikationsprotokoll zwischen dem Sensor und dem Bussystem musste erzeugt werden, um eine korrekte und schnelle Befehlsübermittlung und eine Datenübertragung zwischen Sensor und Server zu gewährleisten.

Das Endergebnis dieses AP stellt den ersten Meilenstein M1 „Anforderungsprofil Sensormodul“ dar, der den Grundstein für die weitere Planung und die Integration des Sensors in das Kabel in den folgenden AP legte.

Ergebnisse von AP 2.1

Aufgrund der Labor- und Feldversuche wurden von uns die in Tabelle 3 aufgeführten Werte ermittelt. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei typischen Intrusionen oder Überwindungsversuchen an den uns von dem Projektpartner GPA Panek zur Verfügung gestellten Zaunanlagen (siehe unten) ein Magnetfeldsensor mit drei Detektionsachsen und einer minimalen Empfindlichkeit von xxx nT in der Lage ist, auch kleinste Störungen der am Ort des Sensors herrschenden Magnetfeldstärke aufgrund von Bewegungen des Sensors im Erdmagnetfeld zuverlässig zu detektieren. Die gewählte Abtastrate von xxx Hz, was einer Bandbreite von xxx Hz entspricht, kann, wie die Auswertung der gemessenen Spektren (siehe AP 4.3) zeigt, sogar noch erheblich reduziert werden, da sich typische Störereignisse in einem Frequenzbereich um etwa xxx Hz abspielen. Insbesondere kann so die Datenrate verkleinert werden ohne den Informationsgehalt des Datenstroms wesentlich zu beeinflussen.

Die daraus resultierende Verringerung des Datenvolumens wirkt sich besonders vorteilhaft aus, wenn bei längeren Sensorkabeln die Daten zusätzlicher Sensoren für eine gesteigerte Datenmenge sorgen. Um den erhöhten Energieverbrauch, der für Sensorkabel größerer Länge bereits aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu vernachlässigen ist, einigte man sich im Konsortium darauf, einen Sensor zum Einsatz zu bringen, der aufgrund seines hohen Innenwiderstands zur Energieverbrauchsminimierung am geeignetsten ist. Da bereits bei dem Projektpartner Listec eine Sensorplatine (Abbildung 5) entwickelt worden war, die auf dem kommerziellen Sensor-Asic der Firma Freescale beruht, kamen die Projektpartner darin überein, zunächst diese Platine magnetisch und elektronisch zu vermessen und 25 diese Bausteine in einen Kunststoffschlauch, wie er später auch im fertigen Sensorkabel benutzt werden sollte, zu extrudieren und durch ein digitales Bussystem miteinander zu verbinden. Zur Datenübertragung einigte man sich unter den Projektpartnern auf das Bussystem. Dieses Datenprotokoll ist besonders dazu geeignet, eine größere Anzahl von Knoten zu verwalten und gestattet es zudem, Kabel zu realisieren, die über eine Länge von mehr als xxx m und bei einer Übertragungsrate von bis zu xxx Mbit/s eine stabile und zuverlässige Kommunikation gewährleisten. Kennzeichnend für diesen seriellen Datenbus ist seine geringe Anfälligkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen aufgrund der differentiellen, d.h. symmetrischen Signalübertragung. Da lediglich zwei Datenleitungen benötigt werden, kommt man zusammen mit der Spannungsversorgung mit einem vieradrigen Anschlusskabel aus.

Schnittstellen des Sensorknotens

AP 2.2 Konzept für die Integration der Vibrometerkabel-Komponenten

Die Konzeption des Vibrometerkabels beinhaltet die Integration aller Komponenten in ein flexibles, allen Umwelteinflüssen trotzendes, möglichst einfach zu verlegendes und möglichst kostengünstiges Kabel eines möglichst geringen Querschnitts.

Aufgabenstellungen von AP 2.2

Basierend auf der Anwendung der Zaunüberwachung oder der Flughafenzugangsüberwachung wurden Position, Detektionsrichtung, Abstand zwischen den Sensoren und deren Anzahl pro gewisser Zaunlänge nach benötigter Detektionsrichtung und der getesteten Leistung des Sensors ermittelt.

Besonderes Augenmerk musste dabei auf die Kommunikation und die Signalübertragung gelegt werden, so dass das Sensorkabel diese Anforderungen erfüllen kann.

Ergebnisse von AP 2.2

Unter den Projektpartnern verständigte man sich zunächst dahingehend, ein mit 25 Sensoren bestücktes Demonstrations-Sensorkabel aufzubauen, die auf einer bei dem Projektpartner LT bereits existierenden Sensorplatine beruhen. Neben dem Magnetsensor-ASIC enthält die Platine als weitere wesentliche Bestandteile einen Mikrocontroller und den RS-485 Buskonverter. Die geringe Baugröße der Platine und ihre mechanische Stabilität ermöglichen dabei den problemlosen Einbau in einen Kunststoffschlauch, wie er bei dem Partner LT bereits für andere Sensorsysteme (Feuermeldesystem) im Einsatz ist. Hier konnte auf die Expertise und die Möglichkeiten der Realisierung, wie Sie durch den Projektpartner LT zur Verfügung gestellt wurden, in besonderer Weise zurückgegriffen werden.

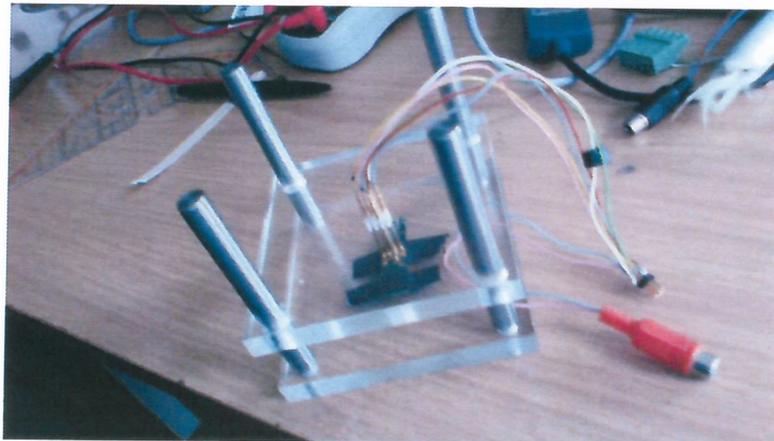


Abbildung 8: Vorrichtung zum Kontaktieren der LT-Sensorplatine mit Hilfe von Federprüfstiften. Ebenfalls zu sehen sind die Schnittstellen zum ISP-Programmierer und zur Spannungsversorgung.

Die einzelnen Sensoren werden durch ein vieradriges Flachbandkabel verbunden, das sowohl zur Stromversorgung als auch zur Datenübermittlung dient. Eingebettet in ein Füllmaterial sind die Sensoren durch eine äußere Kunststoffhülle vor Witterungseinflüssen geschützt. Wie wir mit Hilfe außen am Kabel aufgebrachter Sensoren feststellten, hat die relativ hohe Steifigkeit der Kunststoffaußenhülle keinen negativen Einfluss auf die

Detektierbarkeit auch kleinerer Signalamplituden. Mithilfe des Mikrocontrollers der LT-Platine waren wir außerdem in der Lage, einen Teil der Datenauswertung bereits im Knoten selbst vorzunehmen, was sich in einer Verringerung der zu übertragenden Datenmenge niederschlug. So wurde zuerst die Spektralanalyse des Sensorsignals im Mikrocontroller implementiert. Die dazu notwendige Hard- und Software steht bei dem Projektpartner LT wie auch an der Universität des Saarlandes in Form entsprechender Buskonverter und Kontaktiervorrichtungen zur Verfügung.

Dadurch, dass auch der Universität des Saarlandes eine auf Linux basierende Programmierumgebung (Abbildung 9) zur Verfügung stand, waren alle beteiligten Projektpartner in der Lage, Änderungen im Programmcode eigenständig vorzunehmen und zu kommunizieren. Es ist denkbar, dass bei größeren Systemen Kompressionsalgorithmen bereits im Sensormodul selbst zum Einsatz kommen.

Abbildung 9: Virtueller Linux-PC mit geöffneter Software zur Programmierung des Mikrocontrollers auf der LT-Sensorplatine.

AP 3.3 Labortests der Einzelkomponenten

ST sollte das erarbeitete Sensormodulkonzept umsetzen und dafür einen Herstellprozess entwerfen, der die Anfertigung einer ausreichenden Menge an Modulen ermöglicht. Die Module sollten bei ST gefertigt und anschließend elektrisch und magnetisch getestet werden.

Aufgabenstellungen von AP 3.3

In dieser Projektphase wurden die Standardparameter des Sensors von ST (Typ, Signalausgangsformat und -reichweite, Frequenzspektrum, Geräuschpegel, Sensitivität, Temperaturstabilität, Größe, Schnittstelle) in den Labors der US getestet, um zu überprüfen, ob die Anforderungen erfüllt sind.

Zur Funktionalitätsprüfung wurden die Tests unter definierten Bedingungen durchgeführt. Hierbei wurde untersucht, welche Einflüsse auf den Sensor und welche Betriebsumgebung die dominierenden Faktoren der Sensorleistung darstellen.

Der Sensoroutput wurde bei Änderung des äußeren Magnetfeldes aufgezeichnet. Zudem wurde der Sensor während einer Vibration getestet um die Schwankung eines Zaunes zu simulieren. Um statistische Ergebnisse zu erhalten wurden die Tests an einer Reihe von Sensoren durchgeführt.

Die Ergebnisse wurden an ST und LT weitergeleitet zwecks Verbesserung und Herstellung einer finalen Version des Sensors und der Komponenten.

Ergebnisse von AP 3.3

Das vom Projektpartner LT entwickelte Sensormodul wurde hinsichtlich seiner elektrischen und magnetischen Eigenschaften getestet. Dabei wurde festgestellt, dass das Modul in der vorliegenden Form, trotz seiner Eignung für den geplanten Verwendungszweck hinsichtlich Energieverbrauch, Kosten und Kompaktheit, unübersehbare Mängel u. a. in Bezug auf Signalstabilität und Reproduzierbarkeit aufweist. Darüber hinaus zeigte der verwendete Sensor ein erheblich größeres Rauschsignal als der Referenzsensor (Abbildung 10). Zudem liegt die gemessene Empfindlichkeit des Sensor-Asics mit xxxx nT um rund eine Größenordnung unter der des Honeywell Sensors, der mit xxx nT eine für die zu erwartenden Störereignisse als hinreichend erachtete Empfindlichkeit besitzt.

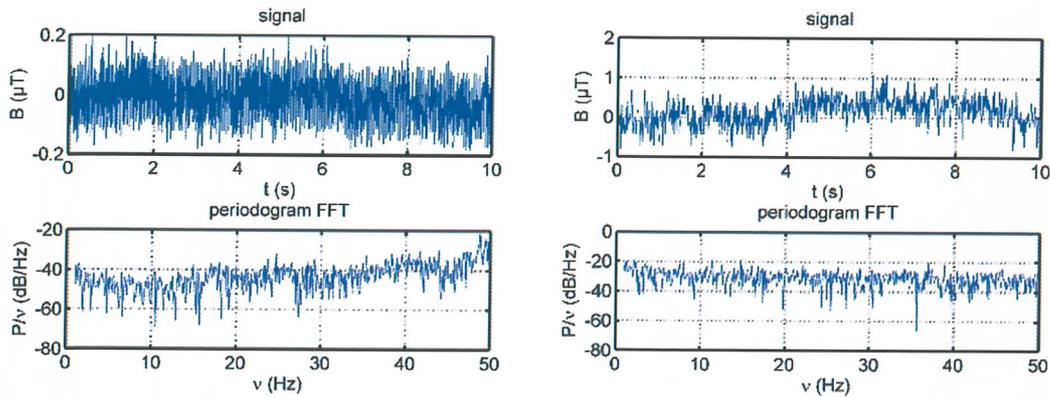


Abbildung 10: Links: Rauschsignal und spektrale Leistungsdichte des Sensors. Rechts: Rauschsignal und spektrale Leistungsdichte des Sensors.

In einem Versuch, bei dem eine Drehung der Sensoren um eine feste Achse (x-Achse) im Erdmagnetfeld durchgeführt wurde, ist, wie in Abbildung 11 dargestellt, im untersuchten Winkelbereich zwischen 0° und 15° ein deutlich stärkeres Rauschen und eine geringere Empfindlichkeit des Sensorbausteins im Vergleich zu dem Magnetfeldsensor zu erkennen.

Abbildung 11: Detektion der Änderung einer zur Drehachse senkrechten Komponente der Magnetfeldstärke B in μT bei einer Drehung des Sensors um eine feste Achse im mathematisch negativen Sinne mit dem Winkel ϕ . Die linke Grafik zeigt oben die gemittelten Messwerte des Sensors im zeitlichen Verlauf der Erfassung, während unten der Vergleich zwischen Theorie und Experiment zu sehen ist. Die linke Grafik zeigt die direkten Messwerte des Sensors im zeitlichen Verlauf der Erfassung. Unten: Darstellung des Magnetfeldes als Funktion des Drehwinkels ϕ .

In Labortests mit Hilfe eines von uns entworfenen und konstruierten Aufbaus (Abbildung 12), der im Wesentlichen aus drei durch einen PC unabhängig ansteuerbaren Schrittmotoren bestand, konnten reproduzierbare Vibrations- und Annäherungs-experimente an einem Modellzaun entlang der drei Raumachsen durchgeführt werden. Dabei ließen sich Frequenz und Amplitude der Vibrationen sowie Geschwindigkeit und Entfernung der Annäherung frei einstellen.



Abbildung 12: Auf der linken Seite erkennt man an einem Zaunmodell befestigt das schwarze mit Magnetfeldsensoren bestückte Kabel. Dahinter steht der mit Schrittmotoren angetriebene Manipulator. Rechts: Weiterer Modellzaun

AP 4.1 Technische Grenzen

In diesem AP sollten die technisch bedingten Grenzen des Vibrometerkabels untersucht werden. Dazu gehörte die Ermittlung der maximalen Kabellänge für einen hinreichend rauschfreien Signalverlauf bei einer vernünftigen Gesamtbetriebsleistung. Die technisch bedingten Grenzwerte sollten kritisch verglichen werden mit Gegebenheiten, die sich aus der praktischen Errichtung von Sicherungsvorrichtungen an Flughäfen und aus Normen ergeben.

Aufgabenstellungen von AP 4.1

Im Konkreten wurde die Reaktion des Vibrometerkabels bei Kabelvibrationen bestimmter Amplitude, Frequenz und Richtung getestet und aufgezeichnet. Das Annähern eines ferromagnetischen Objektes an den Zaun wurde auch untersucht. Diese Tests sollten die Fragen nach dem maximalen Detektionssbereich des Kabels und der minimalen detektierbaren Vibration beantworten können.

In diesem Kontext wurden die technischen Grenzen des Sensorkabels ausgelotet und dokumentiert. Die Ergebnisse wurden an die Partner weitergereicht und mit den Anforderungen aus AP 1.1 verglichen.

Ergebnisse von AP 4.1

Durch den Einsatz eines geschirmten Kabelsystems und die Verwendung des Bussystems, das auf einer differenziellen Signalübertragung beruht, wird der Einfluss externer Störquellen in Form von elektrischen Feldern weitestgehend unterdrückt. Im Hinblick auf die maximale Kabellänge, bei der eine Signalübertragung in ausreichender Qualität noch möglich ist, stellt das verwendete Bussystem aufgrund seiner Spezifikation einen guten Kompromiss zwischen Kostenaufwand und Effektivität dar. Eine Reduktion der Datenmenge bietet darüber hinaus die Möglichkeit, die maximale Kabellänge nochmals zu steigern. Die Untersuchungen hierzu bezogen auch die Möglichkeit einer weiteren Aufteilung in kleinere Kabelabschnitte unter Verwendung mehrerer Kopfrechner mit ein.

Die dazu notwendige Erweiterung der Datenerfassungseinheiten mit entsprechenden Softwareerweiterungen war ebenfalls Gegenstand dieses Arbeitspakets.

AP 4.3 Aufbau eines Gefährdungssimulators

Um vergleichbare Daten für die Reaktion eines Sensors des Partners ST oder des Sensorkabelsystems des Partners LT auf verschiedene Arten von Gefährdung an verschiedenen Orten am Zaun zu erhalten, sollte ein Gefährdungssimulator aufgebaut werden. Damit sollte es möglich sein, die in AP 1.2 ermittelten Frequenzspektren in Form von Vibrationen und auch in Form von sich verändernden Magnetfeldern an allen möglichen Stellen in Modelle und verlegte Vibrometerkabel einzukuppeln.

Aufgabenstellungen von AP 4.3

Der Einsatz des Gefährdungssimulators sollte durch ein standardisiertes Verfahren Gefährdungen experimentell simulieren und die gemessenen Sensorkabelreaktionen z.B. bei einer Variation der Lage eines Sensors im Zaun mit den theoretischen Voraussagen vergleichbar machen. Diese Tests wurden an den vom Partner PN gelieferten Zäunen und an Modellaufbauten die aus Probestücken verschiedener Zaunarten und ferromagnetischen Gegenständen bestanden, durchgeführt.

Ergebnisse von AP 4.3

An drei unterschiedlichen Zauntypen (Abbildung 13), die vom Projektpartner PN auf einem Versuchsgelände auf dem Campus in Saarbrücken aufgestellt wurden, konnten auf der Grundlage von Informationen über typische Szenarien zu Durchdringungs- und Überwindungsereignissen, die uns ebenfalls durch den Projektpartner PN in Form eines Videos¹ zur Verfügung gestellt wurden, unter realistischen Bedingungen Daten zur notwendigen Sensorempfindlichkeit, den auftretenden Signalstärken und Frequenzen ebenso gesammelt werden, wie es möglich war, die notwendige Datenrate zur Übertragung der Signale zu bestimmen (siehe dazu Eintragungen im Lastenheft).

Ein zu diesem Zweck entwickeltes MATLAB Programm gestattet die Offline-Analyse der erhaltenen Daten. Eine erste Testreihe manuell ausgeführter Eindringversuchen wurde bis zum Projektabbruch abgeschlossen.

¹Ing.-Büro Rathenow, *Durchdringungsversuche JVA Wriezen* (Justizministerium Brandenburg, Brandenburg, 2003).



Abbildung 13: Drei unterschiedliche Zauntypen auf dem Campus in Saarbrücken mit befestigtem Sensorkabel.

Abbildung 14 zeigt die Auswertung eines Versuchs den Zaun kletternd zu überwinden. Der geplante Aufbau eines Gefährdungssimulators wurde wegen des vorzeitigen Projektendes nur als Laborversion ausgeführt. Mit Hilfe von drei unabhängig ansteuerbaren Schrittmotoren für die drei Raumrichtungen konnten wir damit reproduzierbare Störungen in Form von Vibrationen und Auslenkungen eines Zaunmodells mit variabler Amplitude und Frequenz erzeugen. Umgekehrt ließ sich auch der Sensor selbst in alle drei Raumrichtungen verkippen oder einem ferromagnetischen Gegenstand annähern.

Abbildung 14: Spektralanalyse der Sensorsignale eines Versuchs, einen Stabmattenzaun kletternd zu überwinden. An der gemittelten spektralen Leistungsdichte lassen sich gut die Amplitudenmaxima bei etwa xx Hz und xxx Hz ablesen. Gemessen wurde jeweils die x-Komponente (oben) bzw. y-Komponente (unten) des Magnetfelds.

In Abbildung 15 ist zum Vergleich zu der Spektralanalyse eines sicherheitsrelevanten Störereignisses eine Leermessung angeführt, in der lediglich das Signal eines leichten Windstoßes zu sehen ist.

Abbildung 15: Leermessung mit dem deutlich erkennbaren Signal einer leichten durch Wind verursachten Bewegung des Zauns.

Mit Hilfe einer Videokamera waren wir darüber hinaus in der Lage ein beobachtetes Ereignis an den Zäunen direkt mit den gemessenen Sensorsignalen zu korrelieren (Abbildung 16).



Abbildung 16: Sensorsignal einer Vibration des Zaunes (links), das simultan mit einer Videokamera beobachtet wurde (rechts).

AP 4.4 Signalauswertung und Algorithmen

Es sollten konkret die Rahmenbedingungen für die Signalauswertung und die Auslösung von Alarmen erforscht werden. Ebenfalls im Einklang mit Vorgaben aus der Praxis sollen erste Konzepte zur Minimierung der Fehlalarmquote erarbeitet werden.

Aufgabenstellungen von AP 4.4

Die Antworten des Sensorkabels, gemäß vorangegangener AP, speziell AP 4.3, sollten gesammelt und analysiert werden. Die Sensorreaktion auf mögliche Gefährdungen aus AP 1.1, die einen Alarm verursacht, musste von jener auf störende Umwelteinflüsse unterschieden werden. Geeignete Algorithmen, die anhand der Amplitude, des Frequenzspektrums und der Signalform die Art des Störereignisses ermitteln, waren zu entwickeln. Damit wurde der Meilenstein M4 „Sensorauswertekonzept“ definiert.

Ergebnisse von AP 4.4

Bis zum Abbruch des Projekts konnte neben der Offline-Signalanalyse, die in AP 4.3 ausgiebig Verwendung fand, eine Short Time Fast Fourier Transformation (STFFT) zur Spektralanalyse der erhaltenen Daten direkt im Mikrocontroller des Sensormoduls etabliert werden. Somit bestand die Möglichkeit der unmittelbaren Auswertung der erhaltenen Signale im Sensor selbst, als auch die Option, das spektral analysierte Signal entsprechend der gewählten Zeitkonstante der STFFT und der Größe des Frequenzintervalls im Umfang der übermittelten Datenmenge zu reduzieren. Abbildung 17 zeigt die Implementierung des C-Codes der STFFT.

Abbildung 17: C-Code der Steuersoftware, wie er zur Erfassung und Auswertung der Magnetfeldsensor-Signale im Mikrocontroller der Sensorplatine implementiert wurde. Zu sehen ist ein Teil der Short Time Fast Fourier Transformationsroutine (STFFT).

2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Wesentliche Kosten im Projekt waren die Personalkosten. Am Aufbau der Labor- und Feldversuche und insbesondere an der Durchführung der Simulation unterschiedlicher Eindring- und Störereignisse an den Zäunen auf dem Versuchsgelände auf dem Campus Saarbrücken waren mehrere Mitarbeiter beteiligt. Darüber hinaus wurden zur Programmierung der Mikrocontroller verschiedene Adapter und Buskonverter zur Kommunikation mit den Sensoren erworben. Mit Hilfe einer neu gekauften Videokamera wurden Störereignisse an den Sicherheitszäunen auf dem Außengelände überwacht, um beobachtete Ereignisse mit den gemessenen Magnetfeldstärkeänderungen zu korrelieren.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Im Projekt wurden die Meilensteine M1 (Anforderungsprofil Sensor modul) und M2 (Konzept Vibrometerkabel) erfüllt. Aufgrund des vorzeitigen Projektendes konnte die Meilenstein M3-M5 nicht mehr erreicht werden.

4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Arbeiten zu AP 1.2 und AP 1.3 sowie die Testmessungen unter AP 4.3 haben wichtige Erkenntnisse über das Anforderungsprofil eines geeigneten Magnetfeldsensors und die Charakteristika typischer und relevanter Signale erbracht. Diese Ergebnisse sollen in Zukunft validiert werden und letztlich im Zusammenhang mit der Patentverwertung zur Gründung einer eigenen Firma führen.

5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Laufe des Projekts wurden uns keine Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bekannt.

6. Veröffentlichungen des Ergebnisses

- U. Schmitt, H. Gao and U. Hartmann: New Surveillance Technologies Based on Magnetic Field Sensors. *Proc. 13th Symposium on Magnetoresistive Sensors and Magnetic Systems*, Wetzlar, 3rd – 4th März 2015, pp. 7-16.

III. Erfolgskontrollbericht (Universität des Saarlandes)

- separate Anlage beim Projektträger -

IV. Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Magnetfeldvibrometerkabel zur punktgenauen Überwachung von Sicherheitsanlagen und des Bodenverkehrs an Flughäfen Akronym: VibroMag	
4. Autor(en)[Name(n), Vorname(n)] Schmitt, Uwe, Dr. Gao, Haibin, Dr. Hartmann, Uwe, Prof. Dr.	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.06.2015
	6. Veröffentlichungsdatum 18.12.2015
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Lehrstuhl für Nanostrukturforschung, Experimentalphysik, Universität des Saarlandes Postf. 151150 66041 Saarbrücken	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 13N12865
	11. Seitenzahl 26
12. Fördernde Institution Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)	13. Literaturangaben 1
	14. Tabellen 3
	15. Abbildungen 17
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projekträger VDI, Dr.Jan Bornemeier, Düsseldorf, Dez. 2015	
18. Kurzfassung Im Projekt VibroMag wurde das charakteristische Spektrum von Vibrationen verschiedener Sicherheitszäune mit Hilfe von Magnetfelssensoren erfasst und analysiert. Es wurden geeignete Magnetfeldsensoren identifiziert und ein Anforderungsprofil an die Sensoren erstellt. Verschieden Softwaremodule zur Echtzeit- und Offline-Datenerfassung und Verarbeitung wurden entwickelt und getestet. Da Projekt wurde auf der Hannover Messe und auf dem MR-Symposium 2015 in Wetzlar sowie in verschiedenen Pressemeldungen und im Radio vorgestellt und präsentiert.	
19. Schlagwörter Magnetfeldsensor, Vibrometerkabel, Überwachungstechnik, Intrusion, Flughafensicherungsanlagen	
20. Verlag	21. Preis

IV. Document Control Sheet (1)

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) final report
3. title Magnetic field vibrometer cable for exact surveillance of security facilities and of ground traffic on airports acronym: VibroMag	
4. autor(s))family name, first name(s)) Schmitt, Uwe, Dr. Gao, Haibin, Dr. Hartmann, Uwe, Prof. Dr.	5. end of project 30.06.2015
	6. publication date 18.12.2015
	7. form of publication report
8. performing organisation(s) (name, address) Institute of nanostructure research, experimental physics, Saarland University P.O. box 151150 66041 Saarbrücken	9. originator's report no.
	10. reference no. 13N12865
	11. no. of pages 26
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)	13. no. of references 1
	14. no. of tables 3
	15. no. of figures 17
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Projekträger VDI, Dr.Jan Bornemeier, Düsseldorf, Dec. 2015	
18. abstract In the project VibroMag, the characteristic vibration spectra of different guard fences were measured with magnetic field sensors and analyzed. Suitable magnetic field sensors were identified and a qualification profile was made for the sensors. Software modules for the real time data acquisition and offline data processing have been developed and tested. The project was introduced and presented in 2014 and 2015 at the Hannover Fair and at the MR symposium in Wetzlar as well as in different press reports and broadcasting.	
19. keywords Magnetic field sensor, vibrometer cable, surveillance technology, intrusion, airport security facility	
20. publisher	21. price

IV. Document Control Sheet (2)

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) publication
3. title New surveillance technologies based on magnetic field sensors	
4. autor(s))family name, first name(s)) Schmitt, Uwe, Dr. Gao, Haibin, Dr. Hartmann, Uwe, Prof. Dr.	5. end of project 30.06.2015
	6. publication date 03.03.2015
	7. form of publication Conference paper
8. performing organisation(s) (name, address) Institute of nanostructure research, experimental physics, Saarland university P.O. box 151150 66041 Saarbrücken	9. originator's report no.
	10.reference no. 13N12865
	11. no. of pages 10
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)	13. no. of references 16
	14. no. of tables 2
	15. no. of figures 6
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) <i>13th Symposium on Magnetoresistive Sensors and Magnetic Systems, Wetzlar, 3rd – 4th März 2015, pp.7-16.</i>	
18. abstract A completely new concept was developed, which allows for fully automated remote surveillance of airport fences based on highly sensitive miniaturized magnetic field sensors. These magnetic sensors are integrated into a thin cable and are connected through a digital bus. The whole cable with is connected to a data processing and evaluation unit. The cable can be attached to fences or other security devices. Any tiny vibration of the fences due to intrusion can be detected by the magnetic field sensors in an accurate way through analyzing the data from all sensors. Furthermore, complex algorithms permit the discrimination of false alerts and the identification of the intrusion category.	
19. keywords Magnetic field sensor, vibrometer cable, surveillance technology, intrusion, airport security facility	
20. publisher Sensitec GmbH	21. price

Liste der Veröffentlichungen im Rahmen des F+E-Vorhabens

FKZ: 13N12865

Außerhalb des Abschlussberichtes sind die Ergebnisse des o.g. F+E- Vorhabens in folgenden Beiträgen publiziert worden:

- U. Schmitt, H. Gao and U. Hartmann, New Surveillance Technologies Based on Magnetic Field Sensors. *Proc. 13th Symposium on Magnetoresistive Sensors and Magnetic Systems*, Wetzlar, 3rd – 4th März 2015, pp.7-16.

Saarbrücken, 18.12.15
Ort und Datum


Unterschrift

Anlage zum Abschlussbericht zu dem F+E-Vorhaben FKZ:

Anzeige von Schutzrechtsanmeldungen und Erfindungen*

Im Rahmen des F+E-Vorhabens wurden keine Schutzrechtsanmeldungen vorgenommen

Im Rahmen des F+E Vorhabens wurden folgende Schutzrechtsanmeldungen vorgenommen

Patentamtliche
Aktenzeichen mit Prüfziffer

Korrespondierende
Auslandsanmeldung

EP11186937 **System and method for detecting mechanical vibrations**

Sarlicke, 18.12.15
Ort und Datum


Unterschrift

* Zutreffendes bitte ankreuzen

Versand an die TIB

Zwei Exemplare des Abschlussberichtes¹ (eine gedruckte und eine elektronische Version)

FKZ: 13N12865

haben wir mit Datum vom 18.12.15 an die

Technische Informationsbibliothek
-Deutsche Forschungsberichte-
Welfengarten 1B
30167 Hannover

übersandt.

Saarbrücken, 18.12.15

Ort und Datum



Unterschrift

¹ Der Abschlussbericht ist ohne vertraulichen Teil bzw. ohne eine nicht zutreffende Kennzeichnung der Vertraulichkeit an die TIB zu übersenden