

Abschlussbericht

Thema

Dynamische sensorgestützte Personaleinsatz- und Tourenplanung in der ambulanten Pflege (Dynasens)

(Förderkennzeichen 16SV5929)

Teilvorhabensbeschreibung " Sensorik zur Erfassung von Körperhaltungen und Bewegungen ambulanter Pflegekräfte im Projekt Dynasens "

Teilvorhaben Corscience GmbH & Co. KG

Corscience GmbH & Co. KG
Hartmannstr. 65
91052 Erlangen

Bewilligungszeitraum: 01.09.2012 bis 31.08.2015

August 2015

Version A	Abschlussbericht – Dynasens	CORSCIENCE
-----------	-----------------------------	------------

Inhalt

1	Projektpartner	3
2	Aufgabenstellung	4
2.1	Gesamtziel des Vorhabens / Voraussetzungen	4
2.2	Planung und Ablauf des Projekts	5
2.3	Stand der Wissenschaft und Technik / Literatur	6
3	Projektablauf und Ergebnisse	8
3.1	Anforderungsmanagement und Pflichtenheft	8
3.2	Elektronik-Entwicklung	11
3.2.1	Dynahead-Hauptplatine	11
3.2.1.1	Mikrocontroller	12
3.2.1.2	Spannungsversorgung	12
3.2.1.3	Akku-Management	12
3.2.1.4	Akku-Überwachung	13
3.2.1.5	Bluetooth Modul	14
3.2.1.6	LED Benachrichtigungskonzept	15
3.2.2	Sensormodul	16
3.2.2.1	Inertialsensor	16
3.2.2.2	Druck- und Temperatursensor	18
3.2.2.3	Inbetriebnahme	18
3.3	Firmware-Entwicklung	20
3.3.1	Übertragungsprotokoll	20
3.4	Entwicklung Sensorsystem	23
3.4.1	Aufbau Demonstrator	23
3.4.2	Referenzdatenaufzeichnung	24
3.5	Veröffentlichung der Projektergebnisse	26

1 Projektpartner

Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit 6 Partnern, die ein Forschungsinstitut, eine soziale Einrichtung sowie vier KMU enthalten, durchgeführt. Die Koordination der Projektarbeiten oblag der Sigma GmbH.

In der folgenden Tabelle sind die deutschen Teilverbundpartner mit Ihren wesentlichen Kennziffern, Ansprechpartnern und dem Einsatz im Projekt dargestellt:

	Sigma GmbH (Konsortialführer)	Corscience GmbH & Co. KG	Ergoneers GmbH
Straße	Am Weichselgarten 4	Hartmannstraße 65	Mitterstraße 12
Postleitzahl	91058	91052	85077
Ort	Erlangen	Erlangen	Manching
Anzahl der Mitarbeiter	42	65	20
Jahresumsatz	1 – 10 Mio. €	7 Mio. €	1,85 Mio. €
Gründungsjahr	1978	2001	2005
Webseite	www.develop-group.de	www.corscience.de	www.ergoneers.com
Ansprechpartner	Reinhold Straubmeier	Johannes Spallek	Dr.-Ing. Christian Lange
Telefonnummer	09131-7773-0	09131-977986-431	08459-99542-0
Faxnummer	09131-7773-25	09131-977986-449	08459-99542-99
Email	straubmeier@develop-group.de	spallek@corscience.de	lange@ergoneers.com
	Evangelischer Gemeindeverein Nürnberg-Mögeldorf e.V. (Diakonie Nürnberg- Mögeldorf)	Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS	STARRINGER Wearable Solutions
Straße	Ziegenstraße 30	Am Wolfsmantel 33	Am Zacherkeller 2
Postleitzahl	90482	91058	86529
Ort	Nürnberg	Erlangen	Schrobenhausen
Anzahl der Mitarbeiter	173	750	3,5
Jahresumsatz	1,936 Mio. €	Ca. 52 Mio. €	150.000 €
Gründungsjahr	1906	1985	1961
Webseite	www.diakonie-nuernberg.de	www.iis.fraunhofer.de www.scs.fraunhofer.de	www.starringer.com
Ansprechpartner	Günter Beucker	Tuan Huy Ma	Knut Starringer
Telefonnummer	0911-99541-13	0911-58061-9562	08252-889144
Faxnummer	0911-99541-15	0911-58061-9599	08252-889146
Email	gbeucker@diakonie-moegeldorf.de	tuan-huy.ma@scs.fraunhofer.de	info@starringer.de

2 Aufgabenstellung

2.1 Gesamtziel des Vorhabens / Voraussetzungen

Ambulante Pflegekräfte leiden als Folge ihrer beruflichen Tätigkeit zunehmend – und im Mittel 30% häufiger als andere Berufsgruppen – an physischen und psychischen Beschwerden. Physische Beschwerden sind Ergebnis der hohen körperlichen Belastungen und äußern sich zumeist in Form muskuloskelettaler Erkrankungen. Psychische Beschwerden zeigen sich z. B. in geringer Arbeitszufriedenheit, chronischer Erschöpfung oder einer depressiven Erkrankung als Folge von latentem Termindruck, fehlenden Gestaltungsmöglichkeiten oder auch konfliktreichen Pflegesituationen. Die Belastungen und Probleme bleiben dem Pflegebedürftigen und deren Angehörigen nicht unbemerkt, da sie sich in mangelnder Motivation, Unpünktlichkeit, Stress und mangelnder Zuwendung der Pflegekräfte niederschlagen können.

Im Zentrum des Vorhabens standen daher die Prävention und Intervention für die physische wie auch psychische Belastung ambulanter Pflegekräfte. Im Bereich der psychischen Entlastung wurde eine Software-Lösung zur Flexibilisierung der Tourenplanung entwickelt. Diese verfolgt das Ziel, den Termindruck zu mindern, indem automatisch auf unerwartete Verzögerungen reagiert und auf kurzfristige Wünsche seitens der Pflegebedürftigen und Angehörigen eingegangen werden kann. Zur physischen Entlastung der ambulanten Pflegekräfte wurde eine in die Dienstkleidung integrierte Sensorik entwickelt, auf deren Basis individuelle Belastungsprofile ermittelt werden können. Die Ergebnisse wurden verwendet, um

- a) individuelle präventive Trainings- und Schulungsprogramme zu konzipieren,
- b) Möglichkeiten zur Umgestaltung der Arbeitsplätze zu untersuchen und
- c) Dienstpläne unter Berücksichtigung der Belastungsprofile zu erstellen.

Zudem wurde untersucht, inwieweit sich aus den Daten konkrete pflegerische Leistungen rekonstruieren lassen und diese automatisiert dokumentiert werden können, um den Dokumentationsaufwand zu verringern.

Wissenschaftliche Problemstellungen ergaben sich durch

- a) die Ableitung von Belastungsprofilen und pflegerischen Tätigkeiten aus Sensoren in der Pflegekleidung,
- b) die Erforschung einer dynamischen Einsatzplanung für ambulante Pflegedienstleister, die kurzfristige Änderungen und individuelle Bedürfnisse berücksichtigt,

- c) den Nachweis der Effektivität der technischen Lösungen zur physischen und psychischen Entlastung der Pflegekräfte.

Um anwendernahe Lösungen zu gewährleisten, wurden die Wünsche und Anforderungen der ambulanten Pflegekräfte von Projektbeginn an berücksichtigt. Sie begleiteten die wesentlichen Schritte des Projekts von der Konzeptionierung bis hin zur Realisierung. In abschließenden Praxistests wurde die Effizienz und Effektivität der Systeme hinsichtlich der psychischen und physischen Belastung der Pflegekräfte evaluiert. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass sich durch die implementierten Lösungen die Qualität der Pflege verbessert, wodurch Pflegebedürftige und Angehörige ebenfalls von den Maßnahmen profitieren.

2.2 Planung und Ablauf des Projekts

Die Corscience GmbH & Co. KG übernahm im Projekt Dynasens die Konzeption und Realisierung eines Sensornetzwerkes zur Erfassung von Körperhaltungen und Bewegungsabläufen bei Fachkräften in der ambulanten Pflege. Einzelne Sensormodule erfassen hochgenau sowohl die Position als auch die Bewegung. Die Anforderungen an die einzelnen Sensormodule wurden gemeinsam mit den anderen Partnern festgelegt. Eine einfache Hardware erlaubt einen kleinen und energiesparsamen Aufbau der Elektronik. Die von Corscience verantworteten Aufgaben umfassten dabei insbesondere die Erstellung des Pflichtenheftes für die Sensorik, Elektronik-Implementierung, Layout, Software-Implementierung, Integration, Aufbau und Test des Sensornetzwerkes.

Die einzelnen Sensormodule wurden zu einem Sensornetzwerk zusammengefasst. Auch hier übernahm die Corscience GmbH & Co. KG die Federführung und erstellte basierend auf der bisherigen Erfahrung einen Sammelknoten, welcher von sämtlichen Einzelmodulen die Sensordaten einholt, die Sensormodule mit Energie versorgt und abschließend die konsolidierten Daten basierend auf einer gemeinsam mit den Partnern spezifizierten Drahtlos-Schnittstelle an ein Host-System abgibt.

Im Rahmen des Projektes sollte eine enge Zusammenarbeit zwischen den Kooperationspartnern berücksichtigt werden. Entsprechend ihrer jeweiligen Kompetenzfelder, die zwischen den Einrichtungen Sigma GmbH (Pflegesoftware), Corscience GmbH & Co. KG (Sensorik), Ergoneers GmbH (Ergonomiebewertung), Evangelischer Gemeindeverein Nürnberg-Mögeldorf e.V. (Praxispartner), Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS (Analyse von Körperhaltungen und pflegerischen Tätigkeiten, Dynamische Touren- und Einsatzplanung) und STARRINGER Wearable Solutions (Pflegekleidung mit Sensorik) eine sinnvolle Ergänzung darstellen, erfolgte die Aufgabenverteilung.

Zur Erreichung des Gesamtziels des Vorhabens ergänzten sich diese Aufgabenstellungen der Partner. Die Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern sollte mit Hilfe der Projektkoordination effizient und ergebnisorientiert gestaltet werden. Hierzu sollten neben periodischen persönlichen Treffen der deutschen Partner, Telefonkonferenzen und elektronische Datenhaltungen/-Speicherungen sowie operative Abstimmungen im Vordergrund stehen.

2.3 Stand der Wissenschaft und Technik / Literatur

Arbeitsbezogene Erkrankungen des muskuloskelettalen Systems stellen eine erhebliche Belastung für das Gesundheitssystem und die Industrie dar. Derzeit existieren kaum ausreichend validierte Messverfahren, mit denen Körperhaltungen und Bewegungen im Arbeitsalltag objektiv erfasst werden können. Dadurch wird die Untersuchung, wie sich diese Faktoren auf körperliche Beschwerden auswirken, stark erschwert (Straker et al., 2010; Li & Buckle, 1999).

Entwicklungen im Bereich elektromechanischer Systeme (MEMS) eröffnen neue Möglichkeiten, indem kleine Sensoren zur Bewegungs- und Haltungserfassung direkt in Kleidung integriert werden. Im Gegensatz zu den im Laborumfeld häufig eingesetzten kamerabasierten Systemen zur Bewegungserfassung beschränkt sich der Bewegungsradius des Anwenders nicht mehr auf den von Kameras beobachteten Bereich, sondern dehnt sich beliebig aus.

Vereinzelt existieren bereits Lösungen, die auf MEMS-basierten Inertialsensoren aufbauen, z.B. xsens mvn (www.xsens.com) oder animazoo IGS-190 (www.animazoo.com). Diese sind vor allem auf Anforderungen der Filmindustrie und Wissenschaft ausgelegt. Durch die Kombination unterschiedlicher Sensoren (Beschleunigungssensoren, Gyroskope, Magnetfeldsensoren) sind sie in ihrer Genauigkeit nahezu vergleichbar mit optischen und elektromagnetischen Systemen (Thies et al., 2007; Saber-Sheikh et al., 2010). Preislich liegen diese Systeme allerdings in einem Segment, das sie für einen flächendeckenden Einsatz in der Pflege unattraktiv macht. Ein weiterer Nachteil liegt in der fehlenden Integration in die Arbeitskleidung, eine Grundvoraussetzung für den einfach zu handhabenden Einsatz im Alltag. Auch sind für medizinische Anwendungen (Erkennung der körperlichen Belastung könnte als diagnostische Anwendung deklariert werden) andere normative Anforderungen zugrunde zu liegen als an kommerzielle Anwendungen.

Neben der Auswertung ergonomisch relevanter Körperhaltungen und Bewegungen bieten Systeme zur Bewegungserfassung auch das Potenzial, Pflegekräfte bei der Dokumentation zu entlasten. Bereits heute können auf Inertialsensoren basierende Aktivitätsmonitore Aktivitäten des täglichen Lebens wie Gehen, Rennen und Treppensteigen erkennen (Rulsch

et al., 2009). Verglichen mit diesen Aktivitäten weisen Pflegeabläufe eine viel größere Komplexität auf. Die Erfassung und Klassifizierung elementarer Pflegeschritte mit Hilfe von Sensoren in der Kleidung der Pflegekräfte könnte jedoch zu einer automatisierten Dokumentation der Pflege und damit zu einer deutlichen Zeitersparnis führen. Bisher wurde diese Fragestellung wissenschaftlich jedoch noch nicht betrachtet.

Die Erstellung eines Dienstplans ist eine hoch komplexe Aufgabe. Aus mathematischer Sicht kann sie als Optimierungsproblem formuliert werden und ist damit dem Fachgebiet Operations Research zuzuordnen. Zur Unterstützung dieser Planungstätigkeit wurden in den letzten Jahren eine Reihe von Algorithmen und Softwareunterstützungstools entwickelt (Duke, 2008; Van den Berg & Hassink, 2008). Aktuelle Systeme und Algorithmen unterstützen jedoch nur eine starre unflexible Planung, die individuelle Bedürfnisse der Pflegekräfte und Pflegebedürftigen, aber auch unerwartete Ereignisse wie Verzögerungen oder Personalausfall gar nicht oder nur rudimentär berücksichtigen.

Die dynamische Einsatzplanung unter Berücksichtigung individueller Bedürfnisse (z. B. physische Gesundheit, Terminwünsche) ist eine Erweiterung des grundlegenden Problems der Dienstplanung im ambulanten Bereich. Sie beruht auf dem Konzept der dynamischen Terminierung. Dieses Konzept wird bereits in anderen Dienstleistungsbereichen, etwa dem Pannendienst (Rambau & Schwarz, 2007) oder der Serviceindustrie (Kiechle et al., 2010), verwendet, nicht aber im Bereich der Pflege. Aufgrund der in der Pflegebranche vorherrschenden spezifischen Anforderungen stellt die Entwicklung eines Optimierungsalgorithmus zur dynamischen Einsatzplanung von Pflegekräften einen neuen und anspruchsvollen Anwendungsfall dar. Im Vergleich zu anderen Branchen müssen eine Reihe von zusätzlichen Restriktionen beachtet werden, die das Problem der Einsatzplanung erschweren. So muss eine hohe Übereinstimmung zwischen dem Anforderungsprofil des Patienten und dem Qualifikationsprofil der Pflegekraft vorliegen. Bedarf es beim Klienten einer Behandlungspflege, muss der Einsatz einer examinierten Pflegekraft gewährleistet sein. Möchte der Klient nur von einer männlichen Pflegekraft versorgt werden, macht es keinen Sinn, wenn eine weibliche Pflegekraft als Ersatz einspringt. Neben der Erfüllung dieser spezifischen Anforderungen gilt es zudem, allgemeine Restriktionen zu berücksichtigen (z.B. Arbeitszeitregelungen oder die Einhaltung gesetzlich vorgeschriebener Pausen). Die Einbeziehung der im Projekt erhobenen Belastungsprofile in die Personaleinsatzplanung kann eine weitere physische Entlastung der Pflegenden bewirken, erhöht aber gleichzeitig den Anspruch der Aufgabenstellung.

3 Projektablauf und Ergebnisse

3.1 Anforderungsmanagement und Pflichtenheft

Zunächst war es für die Implementierung des Demonstrators erforderlich, das Pflichtenheft mit den Anforderungen für den Bereich der Pflegekleidung sowie der Sensorik zu erstellen. Die Corscience GmbH & Co. KG war hierbei für das Pflichtenheft mit den Anforderungen für den Bereich der Sensorik hauptverantwortlich zuständig, koordinierte dieses technische Arbeitspaket und sorgte für einen reibungslosen Ablauf und eine problemlose Zusammenarbeit innerhalb der einzelnen Aufgaben der Arbeitspakete. Bei der Erstellung des Pflichtenhefts für den Bereich der Pflegekleidung wirkte Corscience unterstützend mit.

Im Pflichtenheft für den Bereich Sensorik erfolgte zunächst die Beschreibung der Ziele unter Berücksichtigung des geplanten Einsatz- und Anwendungsgebiets für das Produkt sowie eine Darstellung und Erläuterung des Systemkontextes und der Systemarchitektur. Weiterhin erfolgte die Erfassung der technischen Anforderungen an die Sensorik, insbesondere die Bauelemente zur Bewegungserfassung, der Anforderungen an die Platinen (wie z.B. Abmessungen und Gewicht) und an die Schnittstelle zur besseren textilen Integration sowie die Erfassung der Anforderungen an die Genauigkeit der Sensorbauelemente und der Anforderungen an die Energieversorgung. Zusätzlich wurden die Anforderungen an die Datenschnittstelle (Funkschnittstelle) festgelegt und die Softwareanforderungen (Firmware) des Sensornetzwerks definiert.

Das Dynasens System besteht aus zwei Hauptkomponenten, dem Sensornetzwerk und der Dynasens-Hauptplatine. Das Sensornetzwerk besteht aus mehreren Sensoren, wobei jedes der Sensormodule in die Pflegekleidung integriert ist. Alle Sensorelemente sind per Kabel mit der Dynahead-Hauptplatine verbunden. Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Sensornetzwerkes, Abbildung 2 das Blockschaltbild der Dynahead-Hauptplatine. Die Hauptkomponente der Dynahead-Hauptplatine ist dabei ein Mikrocontroller, der die Messdaten der einzelnen Sensoren des Sensornetzwerkes erfasst und diese via Bluetooth Funkfernübertragung an einen Empfänger (Host) überträgt.

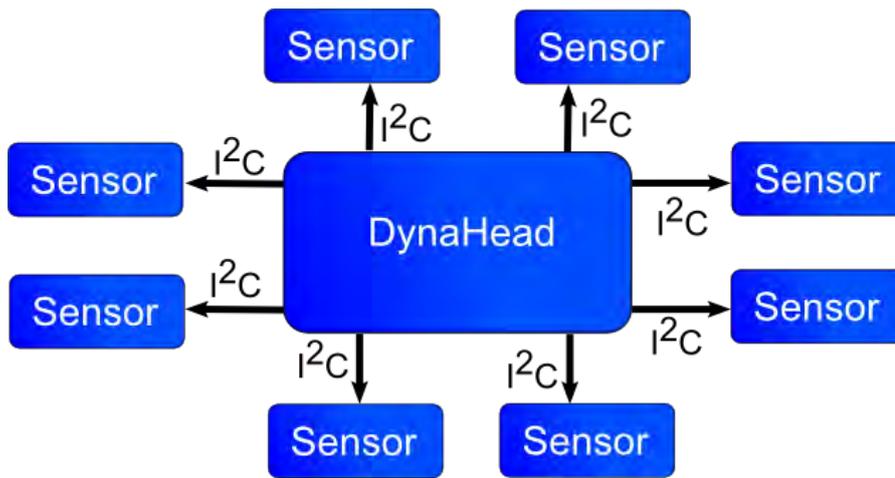


Abbildung 1: Sensornetzwerk

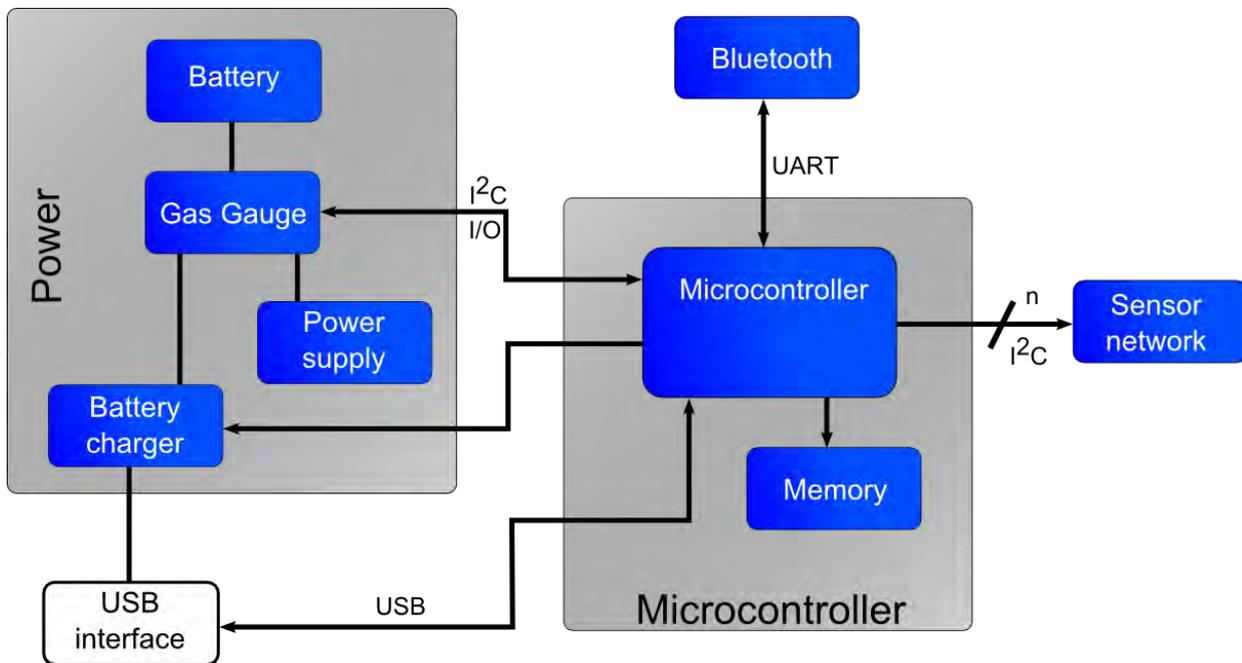


Abbildung 2: Blockschaltbild der Dynahead-Hauptplatine

Nachdem das Pflichtenheft nach der Fertigstellung ein erstes Review durchlaufen hatte, wurden an der Erstversion Änderungen vorgenommen, die daraufhin durch ein folgendes zweites Review überprüft wurden. Ende des Jahres 2013 wurde die endgültige überarbeitete Version der „Requirement Specification“ freigegeben. Folgende Anforderungen wurden dabei festgelegt:

Generelle Anforderungen:

Key	R/O	Who	Requirement	Value + Unit
REQ001	O	COR	The system can have a service manual	n.a.

Hardware – System

Key	R/O	Who	Requirement	Value + Unit
REQ002	R	COR	The system must be compliant with USB2.0 hardware specification	n.a.
REQ003	R	COR	The system must be operational without recharging for:	10 h
REQ004	R	COR	The system must be operational at a temperature range of:	0 °C to 45 °C
REQ005	R	COR	The system must be storable at a temperature range of:	-5 °C to 50 °C
REQ006	R	COR	The system must have a rechargeable energy storage.	n.a.
REQ007	O	COR	The system should include two LEDs	Green and Yellow
REQ008	R	COR	The maximum distance from DynaHead to Sensor should not exceed:	1.5 m

Hardware - Dynahead

Key	R/O	Who	Requirement	Value + Unit
REQ009	R	COR	The DynaHead must be able to communicate with a host via wireless connection.	Bluetooth
REQ010	R	COR	The DynaHead must be removable from the care-clothing	n.a.
REQ011	R	COR	The DynaHead should be able to store raw data temporarily	n.a.
REQ012	R	COR	The DynaHead must have a weight of less than:	70 g
REQ013	R	COR	The DynaHead must perform a self-test of the hardware components.	n.a.
REQ014	R	COR	The DynaHead should have a dimension of not more than:	(60 x 40 x 15) mm

Hardware - Sensornetzwerk

Key	R/O	Who	Requirement	Value + Unit
REQ015	R	COR	Every Sensor must have a weight of less than:	50 g
REQ016	R	COR	The sensor network must be operational at a temperature range of:	0 °C to 45 °C
REQ017	R	COR	The sensor network must be storable at a temperature range of:	-5 °C to 50 °C
REQ018	R	COR	The sensor network must include an inertial measurement unit.	n.a.
REQ019	O	COR	The sensor network should include a magnetometer	n.a.
REQ020	O	COR	The sensor network should include an ambient pressure sensor.	n.a.
REQ021	O	COR	Every sensor should have a dimension of not more than:	(40 x 30 x 15) mm

Software - Dynahead

Key	R/O	Who	Requirement	Value + Unit
REQ022	R	COR	The DynaHead must have SW revision number	n.a.
REQ023	R	COR	The DynaHead should be able to store raw data of the sensor network.	n.a.
REQ024	R	COR	The DynaHead must implement software watchdog functionality.	n.a.
REQ025	R	COR	The DynaHead must give the user a feedback for 'Low Battery'.	Refer to LED blinking concept
REQ026	R	COR	The DynaHead must provide a debug interface for the controller.	n.a.

Key	R/O	Who	Requirement	Value + Unit
REQ027	R	COR	The DynaHead must sample the data from the inertial measurement unit with:	100 Hz (a deviation of +/- 10 Hz is derived from the sensor network hardware)
REQ028	O	COR	The DynaHead should sample the data from the magnetometer with (see: also REQ019):	100 Hz (a deviation of +/- 10 Hz is derived from the sensor network hardware)
REQ029	O	COR	The DynaHead should sample the data from the pressure sensor with (see: also REQ020):	10 Hz
REQ030	R	COR	The DynaHead must provide a common USB interface	With USB profile: CDC for COR protocol

Software – System

Key	R/O	Who	Requirement	Value + Unit
REQ031	R	COR	The system must be developed under constraints of the Corscience GmbH & Co. KG coding rules	Version of 2013-05-28

Während der Inbetriebnahme und der Tests der DynaHead-Hauptplatine sowie des Sensormoduls wurde die Anzahl der Sensormodule von ursprünglich zehn auf acht verringert. Aufgrund dieser Anpassung war es anschließend erforderlich, das Pflichtenheft für den Bereich Sensorik entsprechend zu überarbeiten und anzupassen.

3.2 Elektronik-Entwicklung

Auf Basis des Pflichtenhefts wurde die Hardware-Designspezifikation erstellt, in der die detaillierten Anforderungen an die zu implementierenden Module, also das Sensormodul und die Dynahead-Hauptplatine, festgelegt wurden. Im Folgenden wird die Auswahl der einzelnen Komponenten, basierend auf der schematischen Darstellung des Sensornetzwerks in Abbildung 1 und dem Blockschaltbild der Dynahead-Hauptplatine in Abbildung 2, erläutert.

3.2.1 Dynahead-Hauptplatine

Die Dynahead-Hauptplatine besteht, wie im Blockschaltbild in Abbildung 2 dargestellt ist, im Wesentlichen aus einem Mikrocontroller, der Spannungsversorgung, der Batterie mit der zugehörigen Ladeinheit und Ladestandüberwachung sowie dem Bluetooth Kommunikationsmodul.

3.2.1.1 Mikrocontroller

Als Mikrocontroller für die Dynahead-Hauptplatine wurde aufgrund der bisherigen Erfahrungen ein Prozessor vom Typ MSP430 (MSP430F5659) von Texas Instruments ausgewählt. Dieser Prozessor zeichnet sich insbesondere durch seine sehr geringe Leistungsaufnahme aus, verfügt jedoch trotzdem über genügend Leistung und weist die für die Anwendung erforderlichen Schnittstellen auf.

3.2.1.2 Spannungsversorgung

Abbildung 3 zeigt das Blockschaltbild des ausgewählten Abwärtswandlers (TPS62240 von Texas Instruments). Die Ausgangsspannung berechnet sich dabei wie folgt:

$$V_{OUT} = V_{REF} * \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

Unter den gegebenen Nebenbedingungen und Vorgaben aus dem Datenblatt ($V_{REF} = 0.6 \text{ V}$, R_2 should be 180 kΩ or 360 kΩ, The sum of R_1 and R_2 should not exceed ~1 MΩ), kann der zu verwendende Widerstand R_1 berechnet werden:

$$V_{OUT} = V_{REF} * \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \rightarrow R_1 = R_2 * \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1\right)$$

$$R_1 = 180 \text{ k}\Omega * \left(\frac{3.3 \text{ V}}{0.6 \text{ V}} - 1\right) = 810 \text{ k}\Omega$$

Der entsprechende Wert eines Standard-Widerstands beträgt 822 kΩ. Damit ergibt sich eine Ausgangsspannung von $V_{OUT} = 3.35 \text{ V}$.

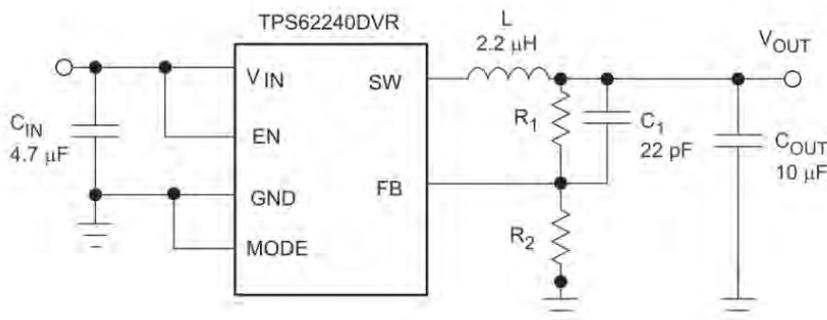


Abbildung 3: Blockschaltbild Abwärtswandler (Abb. entnommen aus Datenblatt)

3.2.1.3 Akku-Management

Entsprechend der Pflichtenheftanforderungen sollte das Gesamtsystem über einen Akkumulator mit Spannung versorgt und bei Bedarf über eine USB Schnittstelle geladen werden können. Um diese Funktionalität einfach und effektiv implementieren zu können wurde ein Akku-Management-Modul des Herstellers Texas Instruments (bq24050) verwendet. Das Blockschaltbild des Moduls ist in Abbildung 4 dargestellt.

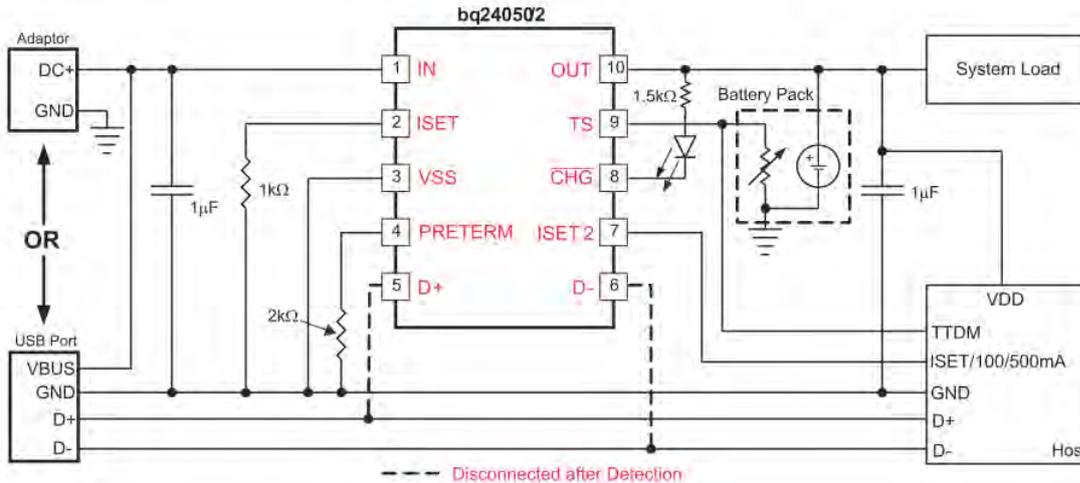


Abbildung 4: Blockschaltbild des Akku-Management-Moduls (Abb. entnommen aus Datenblatt)

Die Ladung des Akkus kann damit sowohl über eine USB-Schnittstelle als auch über ein USB Netzteil erfolgen, wobei der Ladestrom bei der Verbindung über die USB-Schnittstelle 100 mA oder 500 mA betragen kann. Die Festlegung des Ladestroms auf 500 mA (fast charge) erfolgt über die Wahl des Widerstandes R_{ISET} am Pin ISET:

$$R_{ISET} = \frac{K_{ISET}}{I_{CHG}} \text{ with } K_{ISET} \text{ from the electrical characteristics table}$$

$$R_{ISET} = \frac{540 \text{ A}\Omega}{500 \text{ mA}} = 1.08 \text{ k}\Omega$$

Der entsprechende Wert eines Standard-Widerstands beträgt 1 kΩ. Damit ergibt sich ein Ladestrom von 540 mA.

3.2.1.4 Akku-Überwachung

Die Überwachung des Ladezustandes des Akkus erfolgt mit einer sog. Gas Gauge von Texas Instruments (bq27510-g2). Das Modul liefert Informationen über die verbleibende Akkukapazität, den Ladezustand, die Restlaufzeit und die Akkuspannung. Obwohl das Akku-Management Modul ebenfalls eine Temperaturüberwachung des Akkus zu Verfügung stellt um im Fall einer zu hohen Temperatur die Ladung zu unterbrechen, übernimmt die Gas Gauge im realisierten Aufbau diese Aufgabe. Der Grund dafür ist, dass die Gas Gauge zum einen die Temperatur des Akkus in die Berechnung der Laufzeit einbezieht und diese damit genauer bestimmen kann, zum anderen kann die Gas Gauge das Lademodul über den BAT_LOW/BAT_GD Pin deaktivieren. Das Blockschaltbild des verwendeten Moduls ist in Abbildung 5 dargestellt.

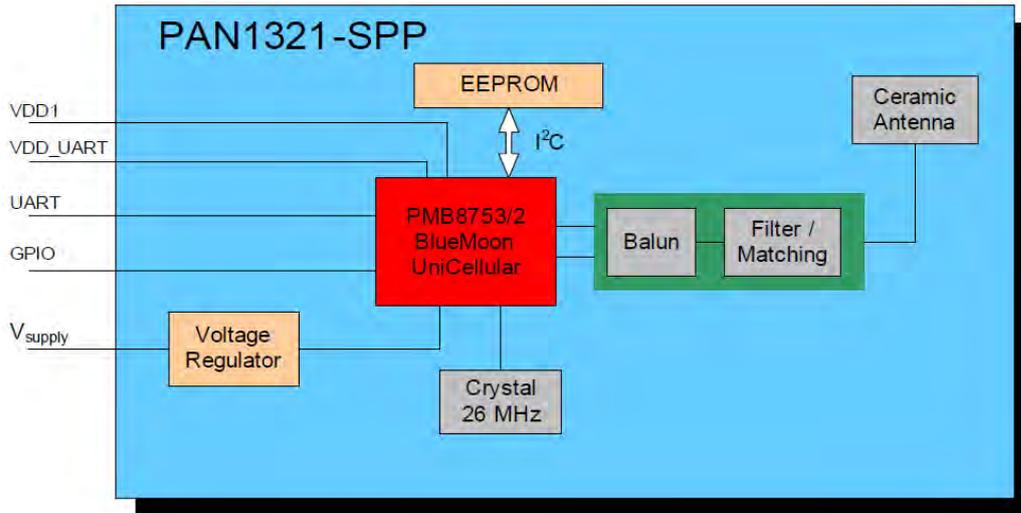


Abbildung 6: Blockschaltbild des verwendeten Bluetooth Moduls PAN1321 (Abb. entnommen aus Datenblatt)

3.2.1.6 LED Benachrichtigungskonzept

Der aktuelle Betriebszustand der DynaHead-Hauptplatine wird dem Anwender über zwei LEDs signalisiert (siehe Anforderung REQ007 aus dem Pflichtenheft). Das Benachrichtigungskonzept ist in Abbildung 7 darstellt. Der Status der Bluetooth Verbindung wird durch die Blinkmuster der grünen LED signalisiert. Ist die Verbindung hergestellt und das Gerät bereit für den Einsatz, so leuchtet die grüne LED durchgehend. Geht die Akkukapazität zur Neige, so wird dies in zwei Schritten mit Hilfe der roten LED signalisiert. Tritt ein allgemeiner Fehler auf, leuchtet die rote LED durchgehend.

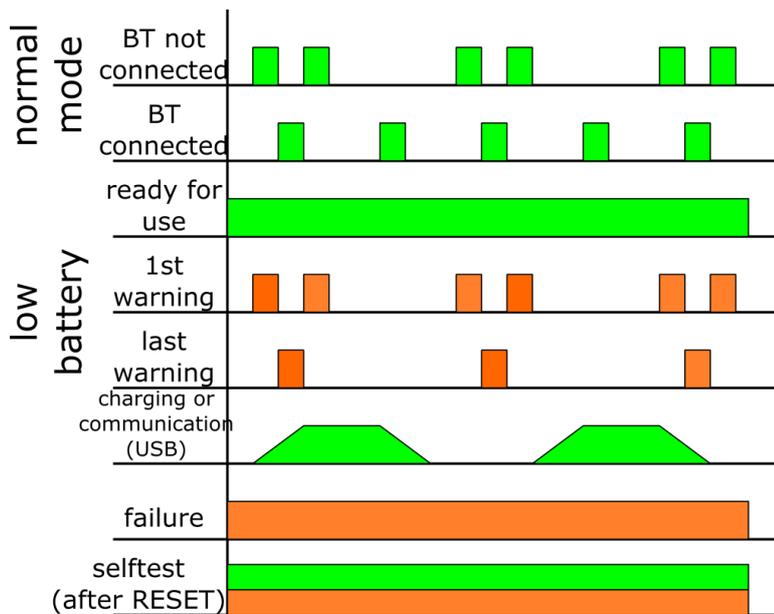


Abbildung 7: LED Benachrichtigungskonzept

3.2.2 Sensormodul

Für die einfache, flexible und universelle Verwendung und Platzierung der Sensormodule in der Pflegekleidung musste zunächst ein Konzept für die Verbindung der einzelnen Module untereinander erarbeitet werden. Das Ergebnis ist in Abbildung 8 dargestellt. Die ausgewählte Anordnung der Konnektoren erlaubt es, die einzelnen Sensormodule untereinander mit Hilfe von Flachbandkabeln, unabhängig von ihrer Position in der Pflegekleidung, zu verbinden, ohne die Kabel drehen bzw. kreuzen zu müssen. Dies erlaubt eine flache und flexible Verbindung der Sensormodule.

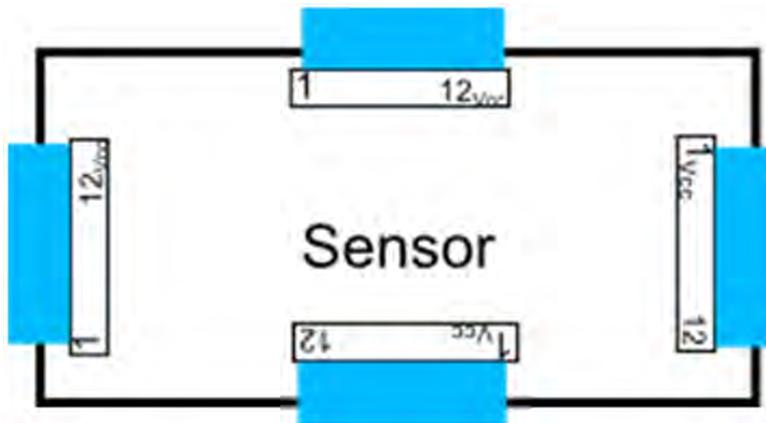


Abbildung 8: Platzierung und Belegung der Konnektoren des Sensormoduls

Belegung der Konnektoren:

- 01 (12): DVdd
- 02 (11): SCL
- 03 (10): Sensor 1
- 04 (09): Sensor 2
- 05 (08): Sensor 3
- 06 (07): Sensor 4
- 07 (06): Sensor 5
- 08 (05): Sensor 6
- 09 (04): Sensor 7
- 10 (03): Sensor 8
- 11 (02): Reserviert
- 12 (01): GND

3.2.2.1 Inertialsensor

Als Inertialsensor wird ein LSM9DS0 „inertial module“ von ST Microelectronics verwendet. In diesem Sensor ist neben einem 3D Beschleunigungssensor und einem Gyroskop auch ein Magnetometer integriert. Abbildung 9 zeigt die Standardbeschaltung des Moduls. Die Kondensatoren wurden entsprechend des Datenblattes gewählt.

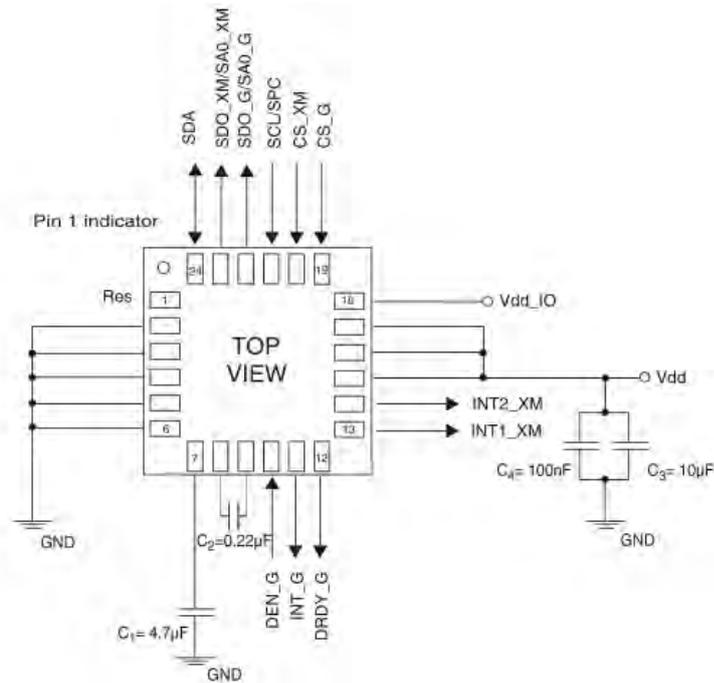


Abbildung 9: Beschaltung LMS9DS0 (Abb. entnommen aus Datenblatt)

Die Kommunikation der Inertialsensoren der einzelnen Sensormodule mit der Dynahead-Hauptplatine erfolgt über eine I²C Schnittstelle. Die I²C Adressen der Beschleunigungs- und Magnetsensoren sowie der Winkelsensoren sind gemäß des Datenblattes wie folgt festgelegt:

Command	SDO_XM/SA0_XM pin	SAD[6:2]	SAD[1:0]	R/W	SAD+R/W
Read	0	00111	10	1	00111101 (3D)
Write	0	00111	10	0	00111100 (3C)
Read	1	00111	01	1	00111011 (3B)
Write	1	00111	01	0	00111010 (3A)

Tabelle 1: I²C Adressen der Beschleunigungs- und Magnetsensoren

Command	SAD[6:1]	SAD[0] = SDO_G/SA0_G pin	R/W	SAD+R/W
Read	110101	0	1	11010101 (D5h)
Write	110101	0	0	11010100 (D4h)
Read	110101	1	1	11010111 (D7h)
Write	110101	1	0	11010110 (D6h)

Tabelle 2: I²C Adressen der Winkelsensoren

Da somit alle Inertialsensoren bis auf das Adressbit die gleiche Adresse besitzen, und somit nur zwei Sensoren direkt angesprochen werden können, musste eine Möglichkeit gefunden werden, auch die übrigen acht Sensoren direkt anzusprechen. Dies wurde mit Hilfe eines Multiplexers realisiert. Durch den Multiplexer kann die SDA (Serial Data) Leitung individuell

gesteuert werden, während die SCL (Serial Clock) Leitung der I²C Schnittstelle für alle Inertialsensoren gemeinsam genutzt wird. Die Anordnung der Einzelsensoren auf der Pflegekleidung erfolgte T-förmig, so dass die Kombination aus Multiplexer und dem Adressbit der Inertialsensoren entsprechend Abbildung 10 festgelegt wurde.

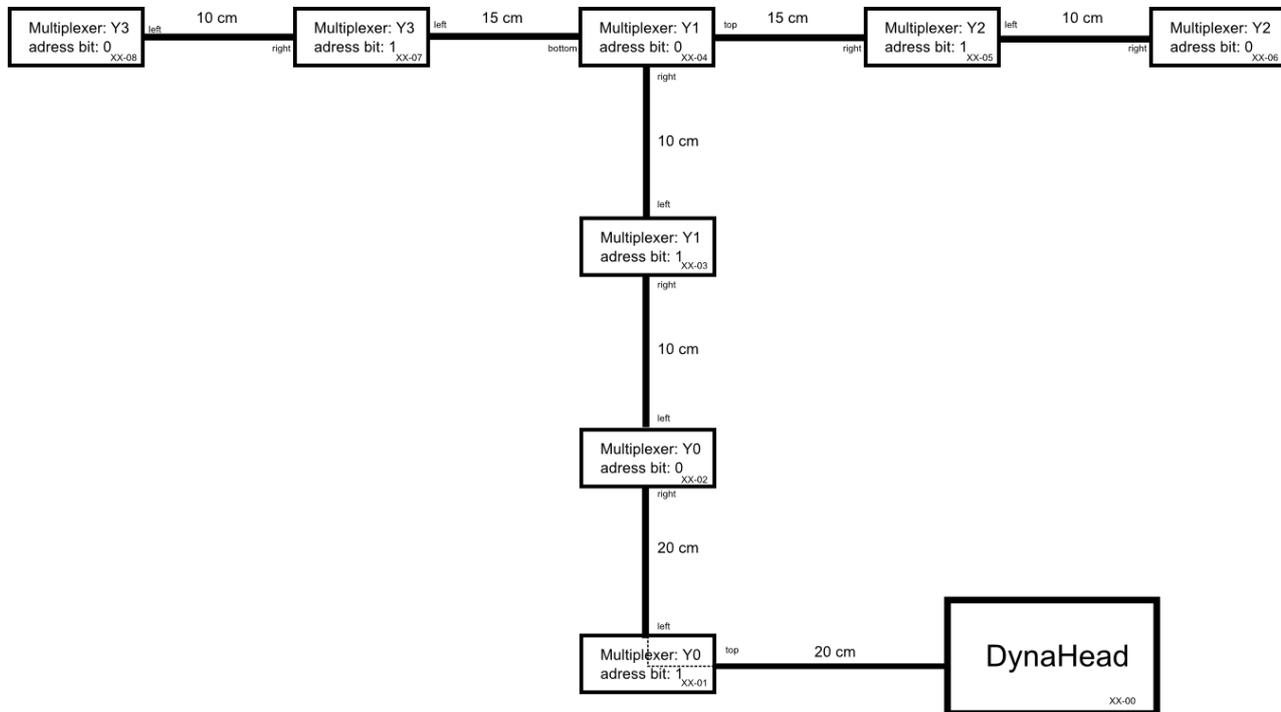


Abbildung 10: Adressierung der einzelnen Sensormodule

3.2.2.2 Druck- und Temperatursensor

Um sowohl Temperatur als auch Umgebungsdruck erfassen zu können wurden neben den Inertialsensoren zusätzlich zwei digitale Drucksensoren vom Typ BPM180 der Firma Bosch in das Sensornetzwerk integriert. Bei der Auswahl des Sensors wurde, wie bei allen anderen Komponenten, sehr großen Wert auf einen geringen Stromverbrauch gelegt. Die Kommunikation erfolgt auch bei diesem Sensor über die I²C Schnittstelle des Mikrocontrollers.

3.2.2.3 Inbetriebnahme

Nach der Erstellung der Schalt- und Stromlaufpläne sowie des Layouts der Leiterplatten wurden die Leiterplatten gefertigt, bestückt und anschließend in Betrieb genommen. Zusätzlich zu entwicklungsbegleitenden Tests wurde die Funktionalität der einzelnen Komponenten der Dynahead-Hauptplatine sowie des Sensormoduls während der Inbetriebnahme verifiziert. Hierzu wurden verschiedene Leitungen der Platinen einzeln durchgemessen und dahingehend überprüft ob das geplante Verhalten der Beschaltung eingehalten wird. Abbildung 11 zeigt drei verschiedene Pegel des beschalteten Prozessors

bei der Inbetriebnahme. Stück für Stück wurden einzelne Schaltungsteile auf ihr Verhalten untersucht und überprüft ob die geplanten Pegel­eigenschaften eingehalten werden. Auf dem Bild ist ein Screenshot des verwendeten Oszilloskops zu sehen, auf dem die Pegel verschiedener Pins dargestellt sind.

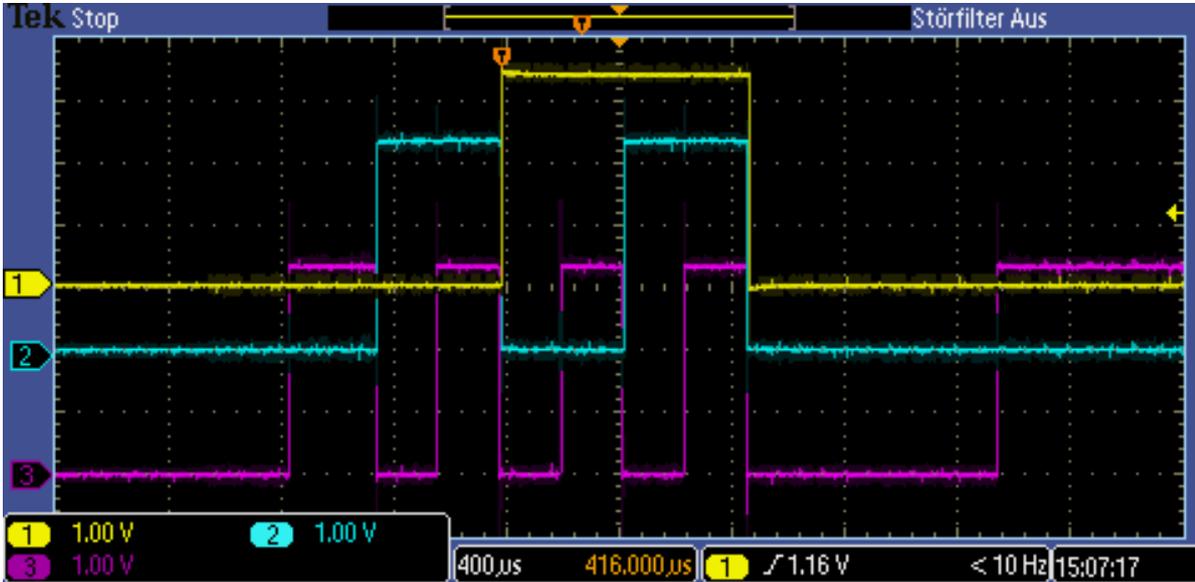


Abbildung 11: Pegel verschiedener Pins bei der Inbetriebnahme/Oszilloskop-Aufzeichnung

Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen die bestückte Dynahead-Hauptplatine mit Mikrocontroller und Bluetooth-Funkmodul sowie ein einzelnes Sensor­modul.



Abbildung 12: Dynahead-Hauptplatine



Abbildung 13: Einzelnes Sensormodul

3.3 Firmware-Entwicklung

Nach der Inbetriebnahme der Dynahead-Hauptplatine sowie der einzelnen Sensormodule wurden diese zu einem Gesamtdemonstrator integriert. Wesentlicher Bestandteil dieses Arbeitsschrittes war die Implementierung und der Test der Ansteuerungssoftware für die einzelnen Sensormodule sowie insbesondere auch die Definition und Implementierung des Kommunikationsprotokolls der Funkfernübertragung. Die von den Sensormodulen generierten Daten werden hierbei von der DynaHead-Hauptplatine abgerufen, bei Bedarf zwischengespeichert und via Bluetooth-Funkfernübertragung dem Empfänger (Host) zur Verfügung stellt. Weiterhin wurde der Akku für die Energieversorgung des Gesamtsystems festgelegt.

3.3.1 Übertragungsprotokoll

Das verwendete Protokoll ist ausgelegt für eine einfache und speichersparsame Implementierung in einem Mikrocontroller. Der Overhead wurde so niedrig wie möglich gehalten. Das Prinzip dieses Protokolls lehnt sich etwas an PPP (Point-to-Point Protocol) an, das häufig bei Modemverbindungen eingesetzt wird. Es werden Escape-Sequenzen verwendet, um reservierte Bytes (Start-Flag, Ende-Flag, Escape-Flag) aus dem Datenstrom auszufiltern (sog. Octet-Stuffing). Das Octet-Stuffing im Sender geschieht nach der Checksummenberechnung. Bei der Checksummen-Bildung im Sender wird natürlich nicht das Start-Flag und das Ende-Flag mit einbezogen. Im Empfänger wird zuerst das inverse Octet-Stuffing angewendet, bevor der Datenstrom gespeichert oder weiterverarbeitet wird. Im Empfänger wird der Checksummenalgorithmus über das gesamte Paket (exklusiv Start-Flag und Ende-Flag) laufen gelassen. Das Ergebnis muss dann 0 sein.

Den Aufbau eines Datenpaketes zeigt die folgende Tabelle:

Start flag	Packet number	Command	Payload	Checksum	End flag
0xFC	1 byte	2 byte	x bytes	2 bytes	0xFD

Tabelle 3: Aufbau eines Datenpaketes des verwendeten Übertragungsprotokolls

Das Start-Flag mit einer Länge von einem Byte und dem festen Wert 0xFC ist das unverwechselbare Startzeichen eines Paket. Dieses Zeichen darf im gesamten restlichen Paket nicht auftauchen, um Verwechslungen zu vermeiden. Um zu verhindern, dass dieser Fall eintritt, wird das Octet-Stuffing angewendet.

Das Paket-Nummer Feld hat eine Länge von einem Byte und kann demzufolge Zahlen von 0 bis 255 durchlaufen. Wird 255 erreicht, wird beim nächsten Paket wieder mit 0 begonnen. Die Pakete werden fortlaufend durchnummeriert. Die Nummern werden von beiden Seiten getrennt vergeben und müssen nicht die gleichen Nummern haben. Die Paketnummerierung dient der Erkennung von fehlenden Paketen, zur Bestätigung von empfangenen Paketen, zur Ablehnung von unerwünschten Paketen und zur Neuansforderung von defekten Paketen.

Das Kommandofeld hat eine Länge von zwei Bytes und enthält das Kommando.

Die Payload gibt die Länge des folgenden Paketabschnittes (Payload) an. Sie wird in Bytes gemessen. Dieses Element ist optional. Bei den meisten gerätespezifischen Kommandos ist die Information redundant, da sich die Länge des Payloads bereits aus der Kommandodefinition ergibt.

Die Checksumme hat eine Länge von zwei Bytes. Die Parameter der Checksumme lauten: CRC16 (CCITT), Polynom 0x1021, Startwert 0xFFFF, MSB first. Die Checksumme wird im Sender über das gesamte Paket mit Ausnahme der Felder Start-Flag, Ende-Flag und Checksumme berechnet. Die Checksumme muss im Sender vor dem Octet-Stuffing erfolgen. Im Empfänger wird die Checksumme über das gesamte Paket mit Ausnahme der Felder Start-Flag und Ende-Flag berechnet, das Ergebnis muss bei einem gültigen Paket dann – wie bereits oben erwähnt - 0 sein. Die Checksummenprüfung muss im Empfänger nach dem Octet-Stuffing erfolgen.

Das Ende-Flag mit einer Länge von einem Byte und dem festen Wert 0xFD ist das unverwechselbare Endezeichen eines Paket. Dieses Zeichen darf im gesamten restlichen Paket nicht auftauchen, um Verwechslungen zu vermeiden. Um zu verhindern, dass dieser Fall eintritt, wird das Octet-Stuffing angewendet.

Octet stuffing

Es gibt drei Sonderzeichen, die nicht unbeabsichtigt im Paket auftreten dürfen:

- Start-Flag **0xFC**
- Ende-Flag **0xFD**
- Escape-Flag **0xFE**

Diese drei Zeichen müssen vor dem Senden des Paket aus dem Datenstrom gefiltert und gesondert behandelt werden. Tritt eines dieser Zeichen im Datenstrom auf, wird zuerst ein Escape-Flag gesendet und anschließend das ursprüngliche Byte mit 0x20 EXOR verknüpft.

Zeichen innerhalb des Paketes:	Wird beim Senden zu:
0xFC	0xFE 0xDC
0xFD	0xFE 0xDD
0xFE	0xFE 0xDE

Tabelle 4: Escape-Flags beim Senden

Im Empfänger wird beim Auftreten einer Escape-Sequenz dieses Byte nicht gespeichert, sondern das darauf folgende Byte mit 0x20 EXOR verknüpft und gespeichert. Die Escapesequenzen werden also wie folgt dekodiert:

Empfangene Zeichen:	Dekodiert
0xFE 0xDC	0xFC
0xFE 0xDD	0xFD
0xFE 0xDE	0xFE

Tabelle 5: Escapesequenzen beim Empfang

Technische Implementierung des Protokolls

In den folgenden Tabellen ist die technische Implementierung der Paketstruktur dargestellt. Dabei sind zum einen die Kommandos, welche vom Host zur Dynahead-Platine als auch die Datenpakete die von der Dynahead-Platine zum Host gesendet werden, aufgeführt. Weiterhin wird die Struktur der entsprechenden Datenpakete aufgezeigt.

Command	Payload	Description
0x0910	0 Bytes	Start data transmission
0x0911	0 Bytes	Stop data transmission

Tabelle 6: Implementierte Kommandos

Die 16 Bit Daten werden dabei "LSB first" übertragen (also z.B. FC 00 10 09 C6 5E FD)

Command	Payload	Description
0x0710	x Bytes	Response of command "Start data transmission". The payload contains the IDs of the detected sensors
0x0711	0 Bytes	Response of command "Stop data transmission"
0x0712	19 Bytes	Data transmission - LSM9DS0
0x0713	22 Bytes	Calibration data BMP180
0x0714	2 Bytes	Data transmission - BMP180 - temperature
0x0715	3 Bytes	Data transmission - BMP180 - pressure
0x0300	1 Bytes (Packet number of the invalid packet.)	NACK - return for a received invalid CRC
0x0400	1 Bytes (Packet number	REJECT - return for received invalid

	of the invalid packet.)	command
--	-------------------------	---------

Tabelle 7: Mögliche Antworten

Start flag	Packet number	Command	Sensor ID	Payload	Checksum	End flag
0xFC	1 byte	2 byte	1 Byte	18 bytes	2 bytes	0xFD

Tabelle 8: Struktur des LSM9DS0 Datenpaketes (ohne Octet-Stuffing)

Payload		
3 angular rate channels	3 magnetic field channels	3 acceleration channels
6 Byte (X-axis – LSB; X-axis – MSB; Y-axis – LSB; Y-axis – MSB; Z-axis – LSB; Z-axis – MSB)	6 Byte (X-axis – LSB; X-axis – MSB; Y-axis – LSB; Y-axis – MSB; Z-axis – LSB; Z-axis – MSB)	6 Byte (X-axis – LSB; X-axis – MSB; Y-axis – LSB; Y-axis – MSB; Z-axis – LSB; Z-axis – MSB)

Tabelle 9: Format der Payload für den LSM9DS0 Inertialsensor

3.4 Entwicklung Sensorsystem

3.4.1 Aufbau Demonstrator

Der Gesamtdemonstrator des Sensornetzwerkes ist in Abbildung 14 dargestellt. Alle Sensoren, die in die Kleidung integriert werden, sind über Flachbandkabel mit der DynaHead-Hauptplatine, die sich an der Hüfte befindet, verbunden. Im Rahmen der Integration wurden noch kleinere Anpassungen an der Software durchgeführt (insbesondere Fehlerkorrekturen bei Fehlern, die erst während oder nach der Inbetriebnahme aufgefallen sind).

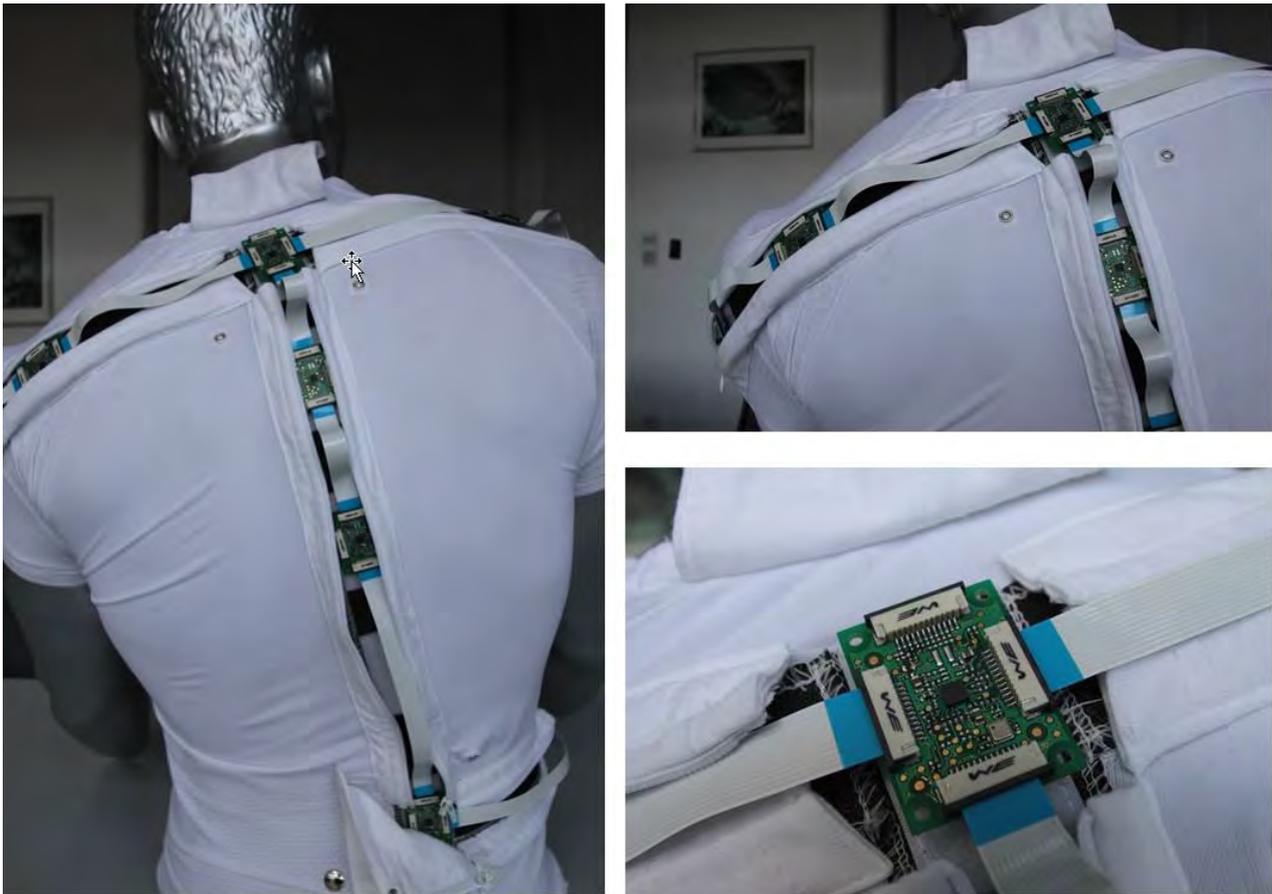


Abbildung 14: Gesamtdemonstrator Sensornetzwerk

3.4.2 Referenzdatenaufzeichnung

Nach der Fertigstellung des Gesamtdemonstrators wurde die Referenzdatenaufzeichnung zusammen mit den beteiligten Kooperationspartnern vorbereitet und durchgeführt. Im Rahmen der Referenzdatenaufzeichnung wurden ambulante Pflegekräfte des Ev. Gemeindevereins Nürnberg-Mögeldorf e.V. in einer vorbereiteten Messumgebung unter der Berücksichtigung eines Versuchsprotokolls bei der Ausführung von ausgewählten Tätigkeiten beobachtet. Diese Messungen dienten als Grundlage für die Entwicklung der Algorithmen zur Erzeugung des Belastungsprofils und der Klassifikation der Pflegetätigkeiten. Nach der Referenzdatenaufzeichnung standen entsprechende Messwerte zur Verfügung, die von den Projektpartnern weiter ausgewertet werden konnten. Corscience unterstützte die Referenzdatenaufzeichnung dabei durch kleinere technische Anpassungen zur Laufzeit. Weiterhin erfolgte eine technische Unterstützung bei der Handhabung des Demonstrators. Im Folgenden sind die Messdaten der Inertialsensoren für einen Transfer eines Pflegebedürftigen vom Bett in einen Stuhl durch eine Pflegekraft dargestellt.

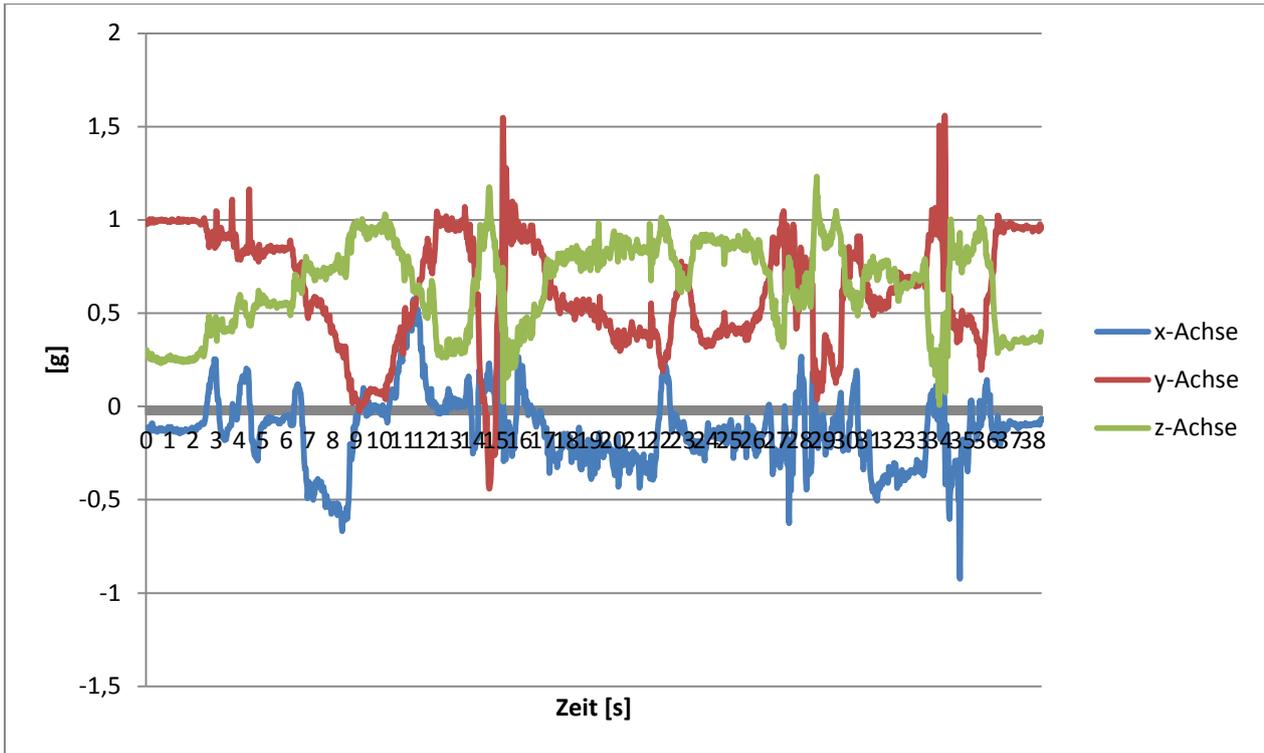


Abbildung 15: Messdaten Accelerometer beim Transfer Bett - Stuhl

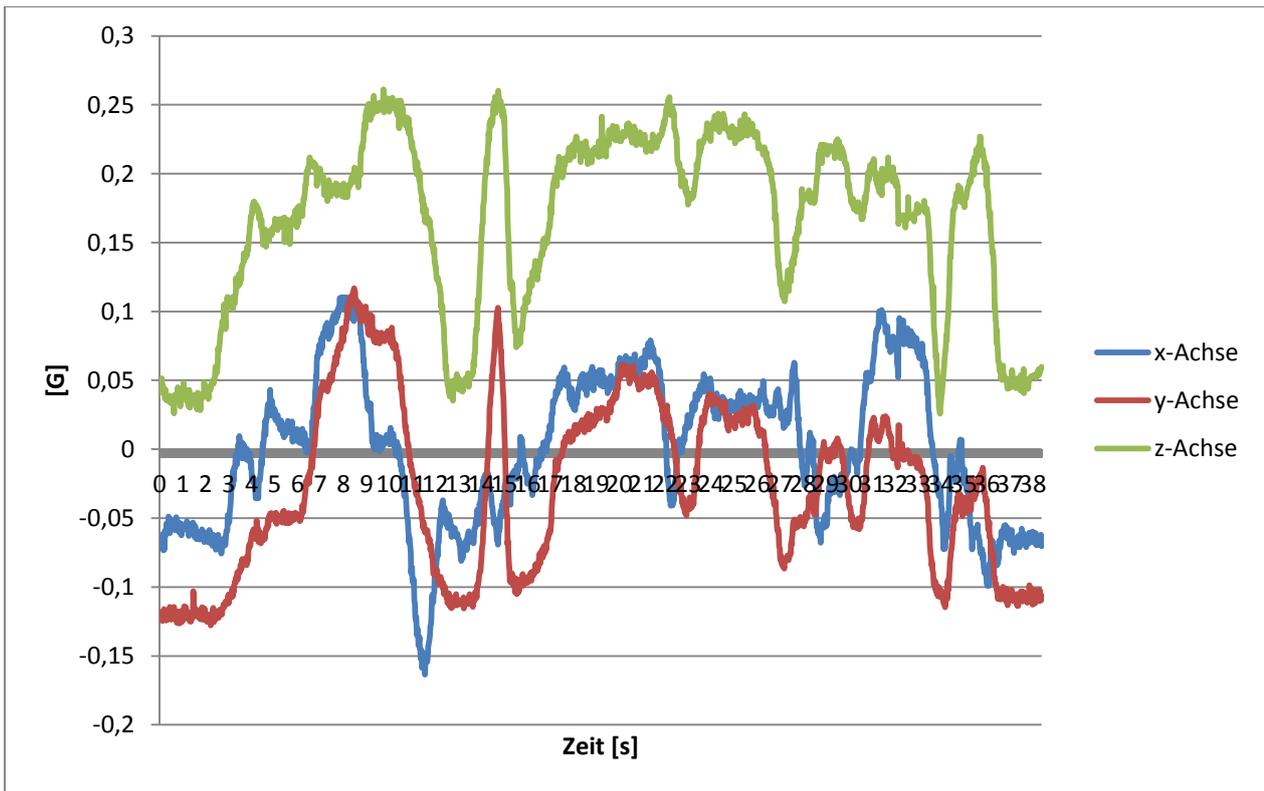


Abbildung 16: Messdaten Magnetometer beim Transfer Bett - Stuhl

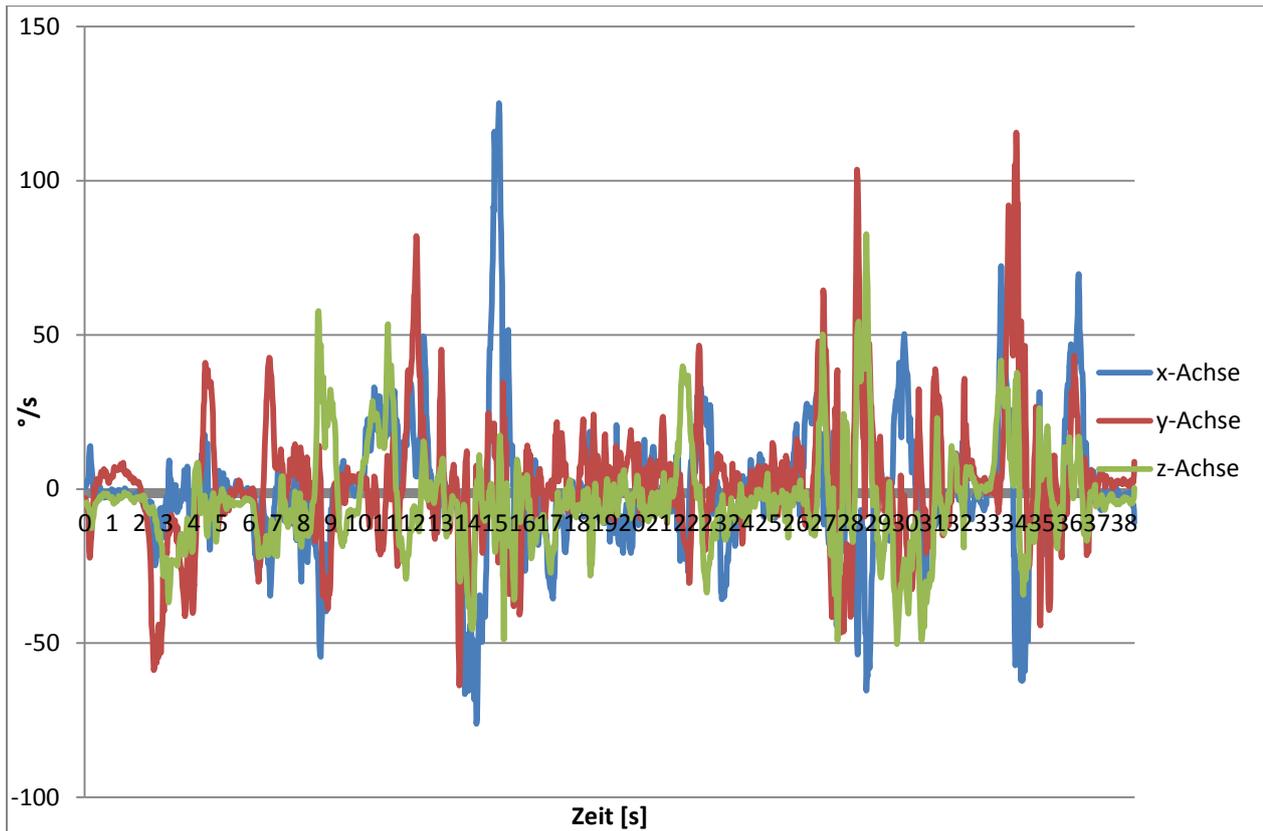


Abbildung 17: Messdaten Gyroskop beim Transfer Bett - Stuhl

3.5 Veröffentlichung der Projektergebnisse

Die Projektergebnisse werden in den für Corscience üblichen Kanälen veröffentlicht. Hierzu zählen insbesondere:

- Vorstellung der Projektergebnisse bei Kundengesprächen in Form einer Präsentation und potentiellen Anwendungsszenarien. Bei Projekten zur Bewegungserfassung werden die Arbeiten aus diesem Projekt zukünftig immer als innovative Alternative zu existierenden Technologien vorgestellt.
- Präsentation der Ergebnisse auf Veranstaltungen: Im Jahr 2015 werden voraussichtlich fünf nationale und internationale branchenspezifische Veranstaltungen besucht, auf welchen die Projektergebnisse vorgestellt werden:
 - Kooperationsforum Medizinelektronik 2015 in München
 - BMT 2015 in Lübeck
 - MedConf 2015 in München
 - MEDICA 2015 in Düsseldorf
 - Embedded Software Engineering Kongress 2015 in Sindelfingen

- Bei lokalen Veranstaltungen und Branchen-Meetings wird das Projektergebnis ebenfalls vorgestellt. Hervorzuheben ist an dieser Stelle die Mitgliedschaft von Corscience im Medical Valley EMN e.V. in Erlangen, welcher sich für den Aufbau eines Netzwerks und den Austausch von Wissen im Bereich der Medizinprodukt-Entwicklung einsetzt.