

Projektgruppe FALSE

Endbericht
im Rahmen des Masterstudiums

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Sauer
Dipl.-Ing. (FH) Arne Stasch
Dipl.-Inform. Jan-Hinrich Kämper
Prof. Dr.-Ing. Axel Hahn

Vorgelegt von: Berthe Pulcherie Ongnomo
Chancelle Merveille Tematio Yme
Christopher Schwarz
Jan Paul Vox
Jan-Gerd Meß
Jannik Fleßner
Malte Falk
Mathias Aden
Michael Goldenstein
Nagihan Aydin
Raschid Alkhatib
Simon Jakubowski

Abgabetermin: 30. September 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik	2
2.1	Fahrerlose Transportsysteme	2
2.2	Fahrerlose Transportfahrzeuge	3
2.2.1	Orientierungssystem bzw. Navigation	4
2.2.2	Steuerungstechnik	7
2.3	Materialflusssysteme	10
2.4	Fallbeispiele	13
2.4.1	FTS in der Gläsernen Manufaktur Dresden (Volkswagen)	13
2.4.2	FTS beim Automobilhersteller BMW im Werk Leipzig	14
3	Projektorganisation	15
3.1	Organisation der Teilgruppen (Materialfluss, Fahrzeuge, Simulation)	15
3.2	Rollenverteilung	15
3.3	Vorgehensmodell	16
4	Komponentenbeschreibung	19
4.1	Mikrocontroller	19
4.2	Sensorik/ Aktorik	22
4.3	Contiki	23
4.3.1	Systemarchitektur	23
4.3.2	Events	24
4.3.3	Prozesse	24

Abbildungsverzeichnis

1	Prinzipskizze zur induktiven und optischen Spurführung (Quelle: Günter Ullrich,2011,S.79)	5
2	Prinzipskizze zur Koppelnavigation (links) und zur Magnet- bzw. Transpondernavigation (rechts) (Quelle: Günter Ullrich,2011,S. 79)	5
3	Prinzipskizze zur Koppelnavigation (links) und zur Magnet- bzw. Transpondernavigation (rechts) (Quelle: Günter Ullrich,2011,S. 79)	6
4	Prinzipskizze zur Koppelnavigation (links) und zur Magnet- bzw. Transpondernavigation (rechts) (Quelle: Günter Ullrich,2011,S. 79)	7
5	Die Systemarchitektur eines einfachen FTS (Quelle: Günter Ullrich, 2011 S. 93)	8
6	Allgemeine Darstellung einer FTF-Steuerung mit Datenschnittstellen (vgl. VDI 4451)	9
7	Elemente einer Wertschöpfungskette (vgl. Wulz, J, 2008, S. 7)	10
8	Beispiel eines Stetigförderer (entnommen aus Ten Hompel, Schmidt, Nagel, 2007, S. 131)	12
9	Scrumplanung für einen Meilenstein	17
10	Modell für die Darstellung der einzelnen Projektphasen	18
11	schematischer Aufbau eines Mikrocontrollers [1]	19
12	Atmel8 (http://www.ids.tu-bs.de/tl_files/Lehre/Vorlesungen/Simulation2/Einfuehrung_in_die_MC_Programmierung_Teil1.pdf)	21
13	Atmel8 (http://www.ids.tu-bs.de/tl_files/Lehre/Vorlesungen/Simulation2/Einfuehrung_in_die_MC_Programmierung_Teil1.pdf)	21
14	Adam Dunkels, Björn Grönvall, Thiemo Voigt: Contiki - a Lightweight and Flexible Operating System for Tiny Networked Sensors. (Quelle: http://www.up.edu.ps/ocw/upinar/moodldata/872/moddata/assignment/970/1287/10.1.1.59.2303.pdf)	23

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung

2 Stand der Technik

Die Fahrerlose Transportsysteme und die Materialflusssysteme sind Prozesse der Logistik. In den vergangenen Jahren hat die Verbreitung Fahrerlose Transportsysteme (FTS) stark zugenommen. Beim Einsatz von FTS stellen sich vielfältige Konfigurierungs- und Planungsprobleme, so auch die Einsatzplanung für die einzelnen Fahrerlosen Transportfahrzeuge [2, S.2]. Der innerbetriebliche Materialfluss von Industrieunternehmen bietet fahrerlosen Transportsystemen (FTS) zahlreiche Einsatzgebiete: Sie verketteten Produktionsprozesse, verknüpfen Fertigungsstationen oder ganze Betriebsbereiche und beschicken Montageplätze. Darüber hinaus dienen sie als mobile Werkbank oder versorgen und entsorgen Lager unterschiedlicher Art. Um die Systemvorteile von Fahrerlosen Transportsystemen und Materialflusssysteme zu optimieren, braucht man ein maßsgerechtes Wissen auf Ihr spezifisches Anlagekonzept abzustimmen. Allerdings wichtige Kriterien sind z.B. die Einbindung der Fahrerlosen Transportsysteme in den gesamtbetrieblichen Materialfluss, die Anpassung an die vorhandenen Steuerungshierarchien und die optimale Auslegung der Technik in Bezug auf Fahrzeugbauart, Lastaufnahmemittel, Energiekonzept, Kommunikation und Leitsystem [8]. Ziele von Fahrerlosen Transportsystemen und Materialflusssystemen sind Kostensenkung durch Personaleinsparung, Verringerung von Transportschäden, hohe Zuverlässigkeit in Vorgängen und bessere Materialflussplanung. Dieses Kapitels wird in drei Teile gegliedert. Das erste Teil wird über die Fahrerlose Transportsystem vorstellen und erklären bzw. die Fahrerlose Transportfahrzeuge, die Orientierungs- und die Steuerungssystem; das zweite Teil ist eine Darstellung der Materialflusssysteme und seine verschiedene Funktionen und das dritte Teil wird erklären, wie fahrerlose Transport- und Materialflusssysteme in großer Firmen wie Volkswagen und BMW Anwendung findet.

2.1 Fahrerlose Transportsysteme

Nach Verein Deutscher Ingenieur 2510 bestehen FTS im Wesentlichen aus „einem oder mehreren Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF), einer Leitsteuerung, Einrichtung zur Standortbestimmung und Lagererfassung, Einrichtungen zur Datenübertragung sowie Infrastruktur und peripheren Einrichtungen“. In seinem Buch Transport und Lagerlogistik fasst Martin die Definition von VDI 2510 eines FTS zusammen. Er beschreibt ein FTS als mit FTF ausgestattete rechnergesteuerte Materialflussanlagen zum automatischen Transport von Gütern im innerbetrieblichen Materialfluss [6, S.262f]. Bei FTS handelt es sich um Flurgebundene Fördersystemen mit automatisch geführten FTF. Die einzelnen FTF befördern Ladungsträger zwischen zwei oder mehrere Stationen innerhalb eines Gebietes. Die Fahrzeugsteuerung wird automatisch und rechnergestützt erfolgt. Der Einsatzbereich von FTS ist generell überwiegend innerbetrieblich ausgerichtet. In diesen Rahmen übernehmen

FTS sowohl reine Förderaufgaben, wie Verkettung von Fertigungs- und Montageeinrichtungen als auch Aufgaben der Lagerbedienung und Kommissionierung [Guenther:2000]. Das FTS ist eine Technik, die im Vergleich gegenüber Stetigfördersystemen zum Vorteil hat, die hohen Anpassungsfähigkeiten an den ändernden Marktsituationen. Daher die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten konzentrieren sich heutzutage auf die sog. „Zellulare Fördersysteme“, in welchen stetige Förderanlagen zur Verknüpfung von Logistischen Funktionen durch individuelle, autonom arbeitende FTF ersetzt werden [3]. Die Haupteinsatzgebiete des FTS liegen nun in der Intralogistik. Also bei der Organisation, der Steuerung, der Durchführung und der Optimierung des innerbetrieblichen Waren- und Materialflusses und Logistik, der Informationsströme sowie des Warenumschlages in Industrie, Handel und öffentlichen Einrichtungen. Z.B. Automobil- und Zulieferindustrie, Papiererzeugung und -verarbeitung, Elektroindustrie, Getränke-, Lebensmittelindustrie, Baustoffe, Stahlindustrie, Kliniklogistik [Gunter:201]. FTS bestehen im Wesentlichen aus drei Systemkomponenten: Die Fahrerlose Transportfahrzeuge, das Orientierungssystem, das Steuerungssystem.

2.2 Fahrerlose Transportfahrzeuge

Die FTF sind flurgebundene Fördermittel mit eigenem Fährantrieb, die automatisch geführt, gesteuert und berührungslos geführt werden. Sie dienen dem Materialtransport, und zwar zum Ziehen und/oder Tragen von Fördergut mit aktiven oder passiven (FTF mit passiver Lastaufnahme werden von anderen Fördermitteln gezogen oder manuell mit den Gütern bestückt) Lastaufnahmemittel [Verein:Deutscher:Ingenieure:2510]. Da das FTS mit Fahrerlosen Aspekten Systematisiert ist, ergibt sich dann aus den funktionalen Ebene Unterschieden zu fahrerbedienten Fahrzeugen, wie z. B. den klassischen Gabelstaplern und FTF: In Rahmen dieser Arbeit wird es nur eine Kategorie von FTF tiefer eingegangen: das Mini-FTF. Die Mini-FTF sind kleine, schnelle, intelligente und flexible Fahrzeuge, die extrem schnell Bedürfnisse befriedigen können. Heutzutage arbeiten viele Universitäten in der ganzen Welt in Swarm bzw. Schwärme-Experiment. Hier die kleine FTF sollen intelligent miteinander arbeiten. Die Fahrzeuge sollen sich ohne eine eigene separate FTS-Leitsteuerung untereinander verständigen, Strategien entwickeln und gemeinsam Arbeiten ausführen. Die Forschungsgebiete heißen Agentensysteme und Schwarmtheorie. Die Mini-FTF können nur intralogistische Aufgaben auffüllen. Dennoch sind viele unkonventionelle Einsatzfälle denkbar. Die Kommissionierung (eine ausführliche Begriffserklärung wird im Teil Materialfluss gegeben) ist die verbreitete Anwendungsmöglichkeit von Mini-FTF [10, S. 105]. Als Zusammenfassung kann man sagen, dass die Fahrzeugsteuerung die Systemsicherheit, das Energiemanagement, das Lastaufnahmemittel und die Lenkung eines FTF gewährleistet. Eine FTF kann ohne Energie nicht funktionieren. Damit ein FTF seine Aufgabe erfüllen kann, ist

eine Energieversorgung notwendig. Die Energie kann durch Akkus oder Traktionsbatterien oder mit Hilfe eines Induktionssystems oder Stromschiene versorgt werden. Jedoch können die beiden Versorgungsarten gekoppelt werden, um einen Hybridsystem zu bekommen. Die Notwendigkeit der Existenz eine Ladestation in einem FTS ist unumstritten. Die FTF müssen immer mit Energie versorgt werden. Je nachdem wie die FTF programmiert sind, kann ein FTF selber zur Ladestation beim Energiebedarf fahren, oder kann ein Auftraggeber (Mensch) es zu Ladestation führen.

2.2.1 Orientierungssystem bzw. Navigation

Das Orientierungssystem bzw. die Navigation dient zur Lokalisierung des Fahrzeugs. Sie ist ein Hilfsmittel zur Berechnung des sichersten Wegs um das Ziel zu erreichen. Außerdem dient die Navigation auch zur Vermeidung von eventuellen Kollisionen. Sie gilt sowohl als für die Orientierung als auch für die Sicherheit des Fahrzeuges und sein Umfeld. Während seiner Bewegung bzw. Orientierung folgt das FTF einer physischen oder virtuellen Linie (Spur), damit es sein Ziel Gefahrlos erreichen kann. Allerdings aufgrund eines Sicherheits-systems sollte das FTF sofort anhalten, wenn Hindernisse oder Kollisionsgefahr vor ihn stehen. Mit Navigationshilfe kennt man nicht nur die Positionierung und Orientierung des Fahrzeuges sondern auch wohin das Fahrzeug gelangen würde, wenn keine auf seine Bewegung verändernden Maßnahmen ergriffen wurde. Die Steuerung sagt was zu tun ist, und die Navigation bestimmt durch welchen Weg das Fahrzeug dem gewünschten Ziel sicher zu erreichen ist bzw. auf einem vorgegebenen Weg zu verfolgen oder eine alternative Weg zu nehmen. Die Steuerung von fahrerlosen Transportfahrzeugen, deren Grundfunktionen und der Umgang mit diesen werden in den VDI- Richtlinien [VDI92], [VDI94], [VDI04] vorgestellt. Für das Konstrukt von fahrerlose Transportsysteme werden verschiedene Ansätze verfolgt, die abhängig vom System verschiedene Konstruktionsbemühungen auf das Fahrzeug oder auf der Strecke erfordern. Es gibt mehrere Navigationsverfahren: die physische Leitlinie, die Orientierung durch Magnetmarken, das Global Positioning System (GPS) und die Lasernavigation [10, S. 112]

- **Die physische Leitlinie:** Fahrerlose Transportsysteme, die auf physischen Leitlinien navigieren bzw. fahren, benutzen Einrichtungen am oder im Fußboden.
- **Orientierung durch optische Leitspur:** Bei dieser Methode wird ein farbstrich mit deutlichem Farbkontrast zum umgebenden Boden entweder lackiert oder mit einem speziellen Gewebepband aufgebracht wird. Eine geeignete Kamerasensorik unter dem Fahrzeug nutzt ebenfalls Kantendetektions-Algorithmen und errechnet so die Ansteuerungssignale für den Lenkmotor [10, S. 112]. Optische Verfahren dienen durch eine ständige Kurskorrektur eine hohe Fahrgenauigkeit zu erreichen.

- **Orientierung durch induktive Leitspur:** Diese Methode der Navigation fahrerloser Transportfahrzeuge ist profitabel aufgrund der permanenten Kurskorrektur und ist ausserdem besonders zuverlässig und fahrzeugseitig durch die Nutzung einfacher Komponente. Es ist möglich, die Stromversorgung der Fahrzeuge fahrbahnseitig zu realisieren, so dass die Nutzung schweren Akkumulatoren entfällt. Jedoch sind Systeme mit Leitdrahtsteuerung nicht flexibel und sie sind in der Konstruktion sehr teuer.

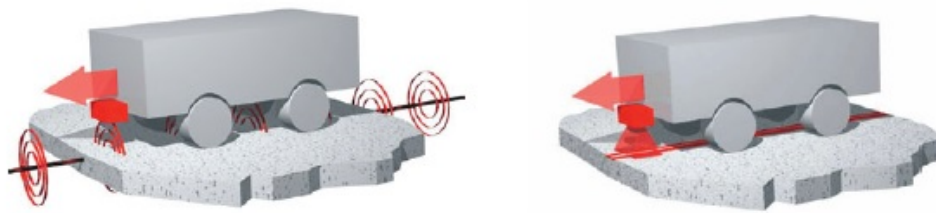


Abbildung 1: Prinzipskizze zur induktiven und optischen Spurführung (Quelle: Günter Ullrich, 2011, S. 79)

- **Orientierung durch Magnetmarken:** Eine weitere Möglichkeit der Steuerung ist die Abtastung von Magnetstreifen oder magnetischen Markierungen auf der Straßenoberfläche. Dabei bedarf es zur Berechnung der Leitlinie einerseits der Koppelnavigation, zusätzlich der für die Peilung in regelmässigen Abständen in den Boden eingelassenen Marken. Diese Marken können rein passive Dauermagnete oder aber quasi-aktive Transponder sein [10, S. 80]. Das Bild 2 ist eine Repräsentation der Navigation durch Magnetstreifen.

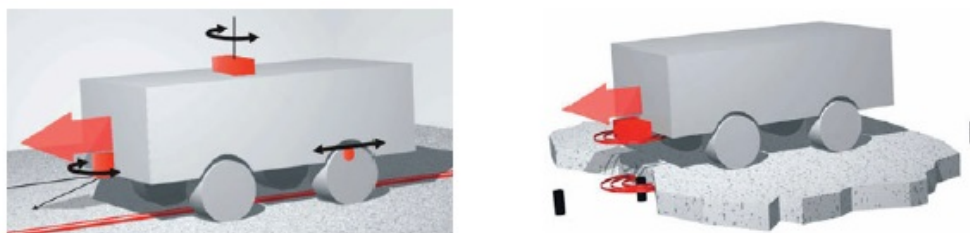


Abbildung 2: Prinzipskizze zur Koppelnavigation (links) und zur Magnet- bzw. Transpondernavigation (rechts) (Quelle: Günter Ullrich, 2011, S. 79)

- Bei der Lasernavigation bestimmt der Laserscanner die Position des FTF, dazu kommen noch optische Sensoren für Hinderniserkennung z.B. Mensch. Lasergeführte FTS bieten einen hohen Wert an Flexibilität, da sie ohne Bodeninstallation funktionieren. Nur bei engerem Raum, kann die Lasernavigation nicht so effizient wie z.B.

eine induktive Spurführung sein, wenn viele Fahrzeuge zum Einsatz kommen. Um die Systemvorteile eine Lasernavigation optimal zu benutzen, benötigt man allerdings ein passendes Anlagenkonzept. Die wichtigen Kriterien sind: die Einbindung in den gesamtbetrieblichen Materialflusssystem, die Anpassung an die vorhandenen Steuerungshierarchien und die optimale Auslegung der Technik in Bezug auf Fahrzeugbauart, Lastaufnahmemittel, Energiekonzept, Kommunikation und Leitsystem. Ein Aspekt, der für das Laser-geführte FTS spricht, ist die Wirtschaftlichkeit. Und dies trotz der Alternativen Elektro-, Low-Cost- sowie induktiv geführtes FTS. Letztere lassen sich so einrichten, dass sie auch auf leitdrahtlosen, rein rechnergeführten Teilstrecken verkehren können. Keinerlei kostenintensive Bodeninstallation benötigt dagegen das über Lasersensor gesteuerte, völlig frei navigierende Laser-FTS. Die Fahrzeuge orientieren sich lediglich an im Raum verteilten Reflektoren und mit Hilfe der Kombination von Winkel- und Distanzmessung [8]. Das Bild 3 ist eine Visualisierung der Lasernavigation.

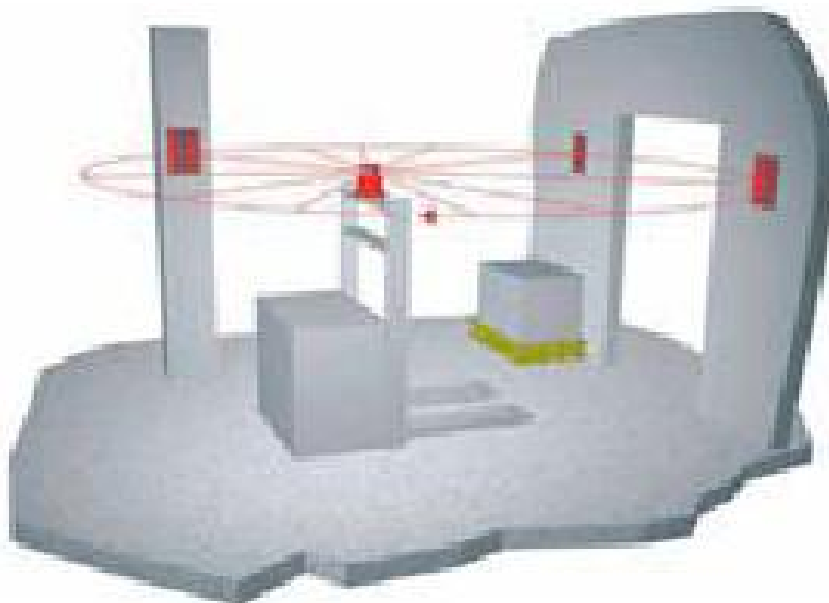


Abbildung 3: Prinzipskizze zur Koppelnavigation (links) und zur Magnet- bzw. Transpondernavigation (rechts) (Quelle: Günter Ullrich, 2011, S. 79)

- **Orientierung durch GPS:** Seine Anwendung im Bereich der Fahrzeugsteuerung wird in Form des DGPS eingesetzt, die als Referenzsignal dient. DGPS bedeutet differential GPS und meint die Verwendung eines zusätzlichen GPS-Empfängers, der nicht auf dem FTE, sondern stationär fest installiert ist. Mit Hilfe dieses ortsfesten GPS-Empfängers wird der sich zeitlich ändernde Fehler ermittelt, der dem GPS-System eigen ist. Mit Hilfe dieser Kenntnis können zeitgleich die fahrenden GPS-Empfänger

auf den FTF exakte Positionen ermitteln [10, S. 27]. Diese Navigationstechnik braucht eine freie Sichtkegel von 15 Grad nach oben (siehe Bild 4), um zuverlässig arbeiten zu können. Die Schritte zur Erlangung der erforderlichen Fahr- und Positioniergenauigkeit sind:

- Prüfung der örtlichen Gegebenheiten, insb. der Empfangsstärken der Satelliten
- Einsatz des Differential-GPS
- Real Time Kinematic Differential GPS.



Abbildung 4: Prinzipskizze zur Koppelnavigation (links) und zur Magnet- bzw. Transpondernavigation (rechts) (Quelle: Günter Ullrich, 2011, S. 79)

Im Rahmen des Projekt FAISE wird die Navigation durch den Laser durchgeführt. Es kann hier kein Global Positioning System (GPS) verwendet werden, da das ganze Experiment in einem geschlossenen Raum gemacht wird. Weiterhin es kann auch keine Navigation durch die physische Leitlinie oder durch die Stützpunkte im Boden erzielt, weil der Boden gebrochen werden müsste.

2.2.2 Steuerungstechnik

Die interne Materialflusssteuerung ist eine Vorstufe der Transportauftragsabwicklung und wird nur dann benötigt, wenn die Transportaufträge nicht klar dezidiert übertragen, sondern aufbereitet werden müssen. Eine Anforderung wie z. B. benötigte Ware A an Maschine B erfordert eine Umsetzung in einen oder mehrere Transportaufträge nach dem klassischen Muster. Hole von C und Bringe nach D. Die FTS-interne Materialflusssteuerung kombiniert also Quelle und Senke über die in ihr hinterlegten Transportbeziehungen zu einem Transportauftrag und schickt diesen zur Durchführung an die Transportauftragsverwaltung. Diese ganze Transportauftragsverwaltung ist in der FTS-Leisteuerung geregelt. Die FTS-Leitsteuerung ist die Kommandozentrale, um das FTS in das Umfeld zu integrieren. Außerdem steuert es die FTF, die sich im System befinden. Damit ist das FTS dann in der Lage, die ihm übertragenen Aufträge zu erfüllen. „Eine FTS-Leitsteuerung besteht

aus Hard- und Software. Kern ist ein Computerprogramm, das auf einem oder mehreren Rechnern abläuft. Sie dient der Koordination mehrerer Fahrerloser Transportfahrzeuge und/oder übernimmt die Integration des FTS in die innerbetrieblichen Abläufe.“(VDI 4451). Die Leitsteuerung bringt das FTS in seinem Umfeld zusammen, bietet seinen Bedienern vielfältige Service-Möglichkeiten und nimmt Transportaufträge entgegen. Weiterhin stellt sie den Aufgaben entsprechende Funktionsblöcke zur Verfügung. Die FTS-Leitsteuerung ist der Kern der FTS. In Rahmen des Projekt FAISE, wird es auch eine Leitsteuerung benötigt. Eine Leitsteuerung ist nur mit Hilfe eine Systemarchitektur zu implementieren und zu verstehen. In seinem Buch Fahrerlose Transportsysteme, hat Günter Ulrich zwei verschiedene Systemarchitekturen dargestellt. Eine für eine einfache FTS und eine andere für eine komplexe FTS. Da es bei FAISE nur mit vier FTF gearbeitet wird, ist es sinnvoll mit einer einfachen Systemarchitektur zu arbeiten. Das Bild 3 ist eine Repräsentation einer einfachen Systemarchitektur.

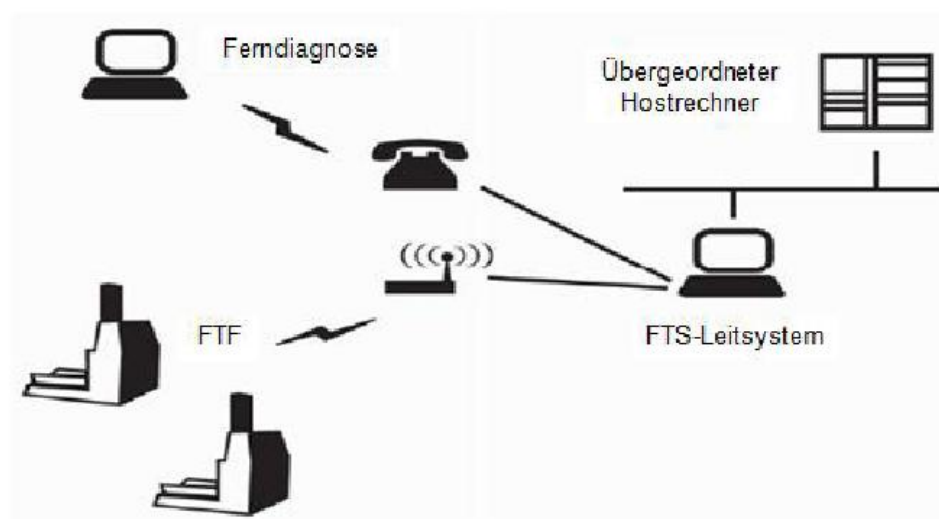


Abbildung 5: Die Systemarchitektur eines einfachen FTS (Quelle: Günter Ullrich, 2011 S. 93)

Es gibt eine geringe Anzahl von FTF, mit denen die Leitsteuerung per WLAN in Verbindung ist. Außerdem gibt es ein LAN, über das es eine direkte Verbindung mit einem übergeordneten Rechner gibt, von dem die Transportaufträge kommen. über die angedeutete Telefonleitung ist eine VPN-Verbindung zur Ferndiagnose eingerichtet. Die Datenübertragung zu den übergeordneten Host-Rechnern erfolgt meist über lokale, Ethernet basierte Netzwerke mit dem Protokoll TCP/IP. Solche Host-Rechner können beispielweise Materialflusssteuerungssysteme zur Produktionssteuerung (z. B. SAP) Produktionsplanungssysteme (PPS) Lagerverwaltungssysteme (LVS) sein.“[10, S. 13]. Außerdem nach der VDI 4451(Blatt 4) „zum internen Umfeld der FTF-Steuerung gehören das Lastaufnahmemittel (LAM), Sensoren und Aktoren, Bedienfeld am Fahrzeug und das Sicherheitssystem. Das

externe Umfeld besteht aus der FTS-Leisteuerung, anderen FTF, automatischen Stationen und Gebäudeeinrichtungen“. Die Abbildung 1 stellt eine Darstellung eine FTF-Steuerung und ihr Steuerungsumfeld dar. Die administrative Ebene, die häufig über einen stationären

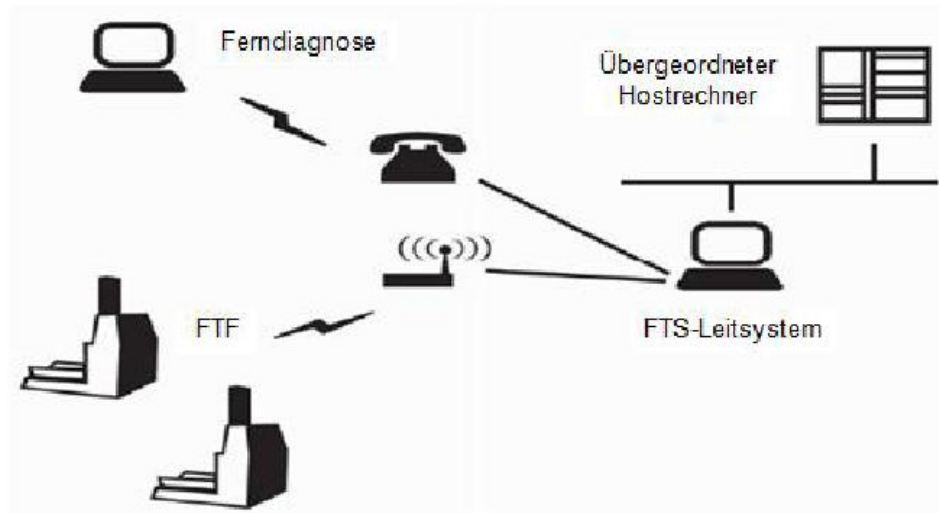


Abbildung 6: Allgemeine Darstellung einer FTF-Steuerung mit Datenschnittstellen (vgl. VDI 4451)

Leitrechner realisiert wird, verwaltet die Transportaufträge der ganzen Materialflusssteuerung. Die operative Ebene, die auch als Fahrzeugsteuerung bezeichnet wird, erhält ihre Informationen über die Fahrzeugdisposition der administrativen Ebene. Der Funktionsblock Kommunikation leitet den stattgefundenen Datenaustausch zum Manager weiter. Dieser sorgt für die Koordination, indem er die Fahraufträge in einzelne Befehle aufteilt, sowie für ein reibungsloses Zusammenwirken der einzelnen Funktionsblöcke. Neben dem Block Kommunikation sind weitere Blöcke vorhanden. Dazu gehört für die gesamte Lastübergabe inklusive der Lastlagererfassung verantwortliche Lastaufnahme, das Energiemanagement, welches den Lade- und Allgemeinzustand der Batterien überwacht, und der Block Überwachung/Sicherheitsschnittstelle, welcher zum Schutz der Personen und Sachgegenstände dient. Der Funktionsblock Fahren und die damit verbundene Sensorik bzw. Aktorik koordinieren die Ablaufsteuerung der Funktionen des Orientierungssystems [5, S. 33].

2.3 Materialflusssysteme

Damit ein Produkt auf den Markt kommen kann, muss man ihn denken, ihn erstellen und dann ihn vermarkten. Die Produkterstellung und -vermarktung sind Prozesse des Wirtschaftens. Vorprodukte oder Materialien werden von Beschaffungsmärkten in die Unternehmen geführt und dort werden sie durch besondere Produktionsprozesse transformiert. Am Ende

der Produktion, steht ein Endprodukt, der für den Konsum bereits ist. Die Produktion und Logistik von Gütern sind daher sehr wichtige Bereiche für den Unternehmenserfolg. Allerdings führen heute die unterschiedlichen Ausprägungen der Logistik z.B. in Produktions-, Handels-, oder Verkehrsunternehmen zu einer terminologischen Differenzierung der Logistik. Der Materialflussbegriff leitet sich einfach von dem logistische Konzept ab, in anderen Wörtern das Materialflusssystem führt in der Logistik zurück. Die Abbildung 2 dient zur Erläuterung einer konventionellen Wertschöpfungskette.

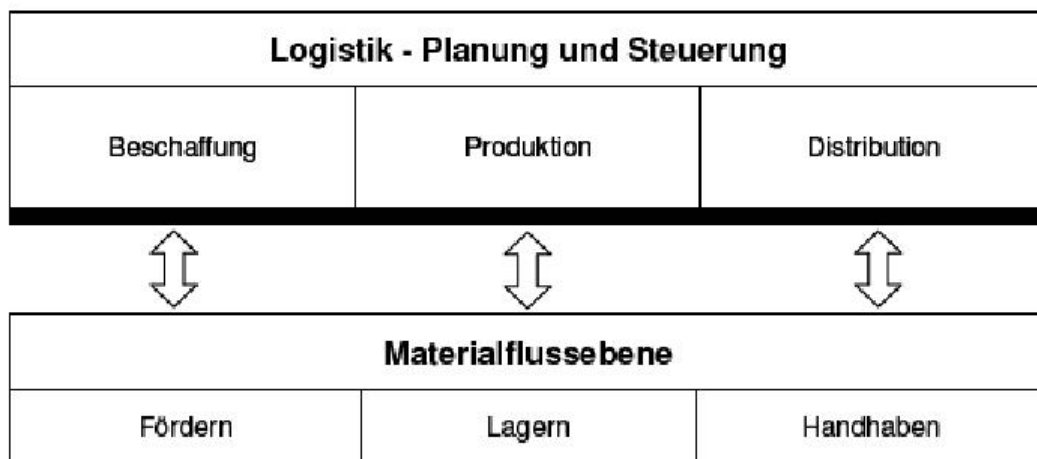


Abbildung 7: Elemente einer Wertschöpfungskette (vgl. Wulz, J, 2008, S. 7)

Der Begriff Materialfluss bedeutet die Verkettung aller Prozesse bei der Beschaffung, Bearbeitung, Verarbeitung sowie bei der Distribution von Gütern innerhalb festgelegter Bereiche. Deswegen lässt sich der Materialfluss in vier Stufen unterordnen: externer Transport, betriebsinterner Materialfluss, gebäudeinterner Materialfluss und Materialfluss am Arbeitsplatz. Nach dem Verein Deutscher Ingenieur bzw. VDI-2411 beinhaltet die Logistik fünf Hauptfunktionen. Diese Funktionen sind Bearbeiten, Prüfen, Handhaben, Fördern, Lagern und Aufenthalt. Neben diesen Hauptfunktionen zählen auch Nebenfunktionen wie z.B. Montieren, Umschlagen, Kommissionieren, Palettieren und Verpacken (VDI 2411). Jedoch ist auf der Ebene des Materialflusssystems nur drei Funktionen zu berücksichtigen: Fördern, Lagern, Handhaben. Die anderen Funktionen setzen sich normalerweise aus den erläuterten Funktionen zusammen. Dieses Arbeitsteil wird in zwei Teile gegliedert. Im ersten Teil werden die drei Funktionen der Materialflusssysteme vorgestellt. Im zweiten Teil wird eine Planung von Materialflusssystemen dargestellt.

Funktionen von Materialflusssystemen

- **Funktion Fördern**

Fördern bedeutet Transportieren und ist eine der wichtigsten Aspekte innerhalb des Materialflusssystems. Nach der VDI 2411 ist Fördern das Fortbewegen von Arbeitsgegenständen in einem System. „Die Fortbewegung oder Ortsveränderung von Gütern oder Personen mit technischen Mitteln wird allgemein als Transport bezeichnet. Findet diese Ortsveränderung in einem räumlich begrenzten Gebiet wie beispielsweise innerhalb eines Betriebes oder Werkes statt, so wird dieser Vorgang durch den Begriff Fördern präzisiert. Das Fördern bzw. die Fördertechnik umfasst also das Bewegen von Gütern und Personen über relativ kurze Entfernungen einschliesslich der dazu notwendigen technischen organisatorischen und personellen Mittel“ [9, S. 119]. Das Fördermittel (technisches Transportmittel, zur Ortsveränderung von Gütern oder Personen) und das Förderelement bilden das physikalische Bestandteil eines Fördervorgang. Der Ablauf und die Steuerung werden durch den Fördervorgang dargestellt. In Punkto Fördermittel kann auf verschiedenste Elemente der Materialflusstechnik zurückgegriffen werden. Dies umfasst unter anderen Rollenbahnen, und FTS. Neben der Möglichkeit auf automatisierte Fördermittel zurückzugreifen, kommen auch manuell mechanisierte bzw. rein manuelle Systeme zum Einsatz. In diesem Fall ist der Mensch oder der Bediener eines Fördermittels wesentlich für den Ablauf eines reibungslosen Materialflusses in Zusammenspiel mit den physikalischen Elementen sowie dem Prozessablauf verantwortlich [4, S. 8]. Das Bild 4 gilt als Beispiel eines Fördersystems.

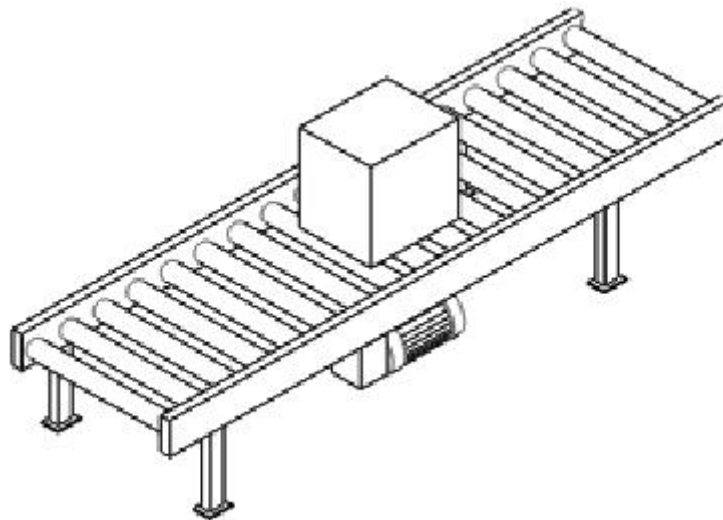


Abbildung 8: Beispiel eines Stetigförderer (entnommen aus Ten Hompel, Schmidt, Nagel, 2007, S. 131)

- **Funktion Lagern**

Das Lagern ist jedes geplante Liegen des Arbeitsgegenstandes im Materialfluss. Das Lager ist ein räumlich abgegrenzter Bereich bzw. eine Fläche zum Aufbewahren von

Stück- und/oder Schüttgütern in Form von Rohmaterialien, Zwischenprodukte oder Endprodukte, das mengenmässig erfasst wird (VDI-2411). Die Einlagerung von Lagereinheiten, die Aufbewahrung und Bereithaltung von Lagereinheiten auf Lagerplätzen und die Auslagerung einer Lagereinheit, sind die grundlegenden Prozesse in einem Lager. Aufgrund der starken Veränderungen im Markt, müssen auch die unternehmerischen Abläufe an Lagersysteme schnell angepasst werden. In einem Lagersystem werden im Verlauf des Materialflusses Speicher- bzw. Lagerfunktionen sowie Förderfunktionen wahrgenommen. Aufgabe eines Lagers ist das Bevorraten, Puffern und Verteilen von Gütern. Während Vorratslager lang- und mittelfristige und Pufferlager kurzfristige Bedarfsschwankungen ausgleichen sollen, erfüllen Verteillager neben der Bevorratungs- noch eine Kommissionierfunktion. Daher können die Aufgaben eines Lagers anhand folgender Ausgleichsmaßnahmen beschrieben werden: Zeitausgleich, Mengenausgleich, Raumausgleich und Sortimentsausgleich [7]. Ein Zeitausgleich ist immer dann erforderlich, wenn die Zeitfunktion der Nachfrage nicht der Zeitfunktion der Produktion entspricht. Beispielsweise steht eine losgrößenoptimierte Fertigung einer saisonalen Nachfrage gegenüber. Gerade in Bereichen mit Serienfertigung, in denen aus Kostengründen in der Regel grössere Mengen als die Nachfragemengen produziert werden, muss Mengenausgleich vollzogen werden. Sobald der Produktionsort nicht mit dem des Produktabnehmers übereinstimmt, findet mit Hilfe von Verkehrsträgern ein Raumausgleich statt. Mit zunehmender Sortimentsbreite steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Anzahl der Produktionsstandorte steigt [5, S. 14].

- **Funktion Handhaben**

Der Begriff Handhaben wurde gedanklich von der menschlichen Hand abgeleitet, wird aber auch für automatische ablaufende Vorgänge zur Manipulation von Objekten gebraucht. Handhaben bedeutet etwas greifen, bewegen und an einem bestimmten Ort ablegen. Das heisst, durch Handhaben wird die Lage oder Position von Objekten geändert. Im übertragenen Sinne bedeutet handhaben auch bewerkstelligen bzw. praktisch ausüben. Von Handhabungstechnik spricht man, wenn für die Handhabung Geräte eingesetzt werden. Die Richtlinie VDI 2860 definiert die Funktion Handhaben als „das Schaffen, definiertes Verändern oder vorübergehendes Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern.“ Die Teilfunktionen des Handhabens stellen das Speichern, das Bewegen, das Sichern, das Kontrollieren und das Verändern von Gütern dar. Das Handhaben kann sowohl als eine Funktion als auch eine Fertigung des Materialflusses betrachtet werden. Eine mögliche Handhabungsfunktion im Materialfluss ist z.B. das Palettieren, worunter die Stapelung von Stückgütern zu einem Stückgutstapel nach einem gewissen Muster verstanden wird. Handhabungsfunktionen können entweder von Automaten z.B. Roboter oder von Menschen durchgeführt werden. Auf Grund der Greifflexibilität ist

der Mensch jedoch meist unübertroffen in der Handhabung.

2.4 Fallbeispiele

2.4.1 FTS in der Gläsernen Manufaktur Dresden (Volkswagen)

Volkswagen AG montiert das neue Modell der Luxusklasse "Phaeton" in der "Gläsernen Manufaktur" in Dresden. Die Materialversorgung übernimmt ein fahrerloses Transportsystem mit 56 frei navigierenden Fahrzeugen. Die gesamte Steuerungs- und Navigationstechnik stammt von FROG Navigation Systems, dem Projektpartner des Generalunternehmers AFT (Mechanik). Die Produktion ist auf drei Ebenen unterteilt: . Die eigentliche Montage findet auf den beiden oberen Montageebenen statt: Die Rohrkarosse befindet sich auf einer Montageplattform, die Teil des Schuppenbandes ist, das sich sicher in den Hallenboden einfügt und mit konstanter Geschwindigkeit durch die Montagezyklen bewegt. Danach erfolgt die Übergabe an eine schwere Elektrohängebahn (EHB) zur Hängemontage. Während der Hängemontage erfolgt die Hochzeit, d. h. das Zusammenfügen von Karosse und Triebwerk, wobei der Triebwerkssatz von einem fahrerlosen Transportfahrzeug (FTF) herangebracht wird. Anschließend wird die Karosse wieder auf eine Schubplattform, die sog. Schuppe, zur Komplettierung und Qualitätskontrolle gestellt.

Im Untergeschoss, der Logistikebene, wird die verbauende Ausrüstung zur Verfügung gestellt und in Betrieb genommen. Die FTS übernimmt die Versorgungsleitungen der Materialien und damit eine erhebliche logistische Funktion. Um zwischen den Ebenen zu wechseln, nutzen die automatischen Fahrzeug-Hebebühnen. Das FTS hat die grundsätzliche Aufgabe, die Montagelinien (Schuppenband oder EHB) zu versorgen. Dabei wird allerdings zwischen folgenden sechs Gewerken unterschieden:

1. Anlieferung von Warenkörben auf die Schuppe
2. Anlieferung von Schalttafeln (Cockpits)
3. Anlieferung von Kabelsträngen
4. Anlieferung des Triebwerks mit Fahrwerk und Ausführung der Hochzeit
5. Anlieferung von Warenkörben zur Hängemontage
6. Anlieferung der Türen plus Warenkörbe

2.4.2 FTS beim Automobilhersteller BMW im Werk Leipzig

Das BMW-Werk in Leipzig hat im Jahre 2005 mit der Produktion der 3er reihe (E90) gestartet. Im Bereich der Teileversorgung übernimmt erstmals in der Geschichte der Automobilindustrie ein Fahrerloses Transportsystem (FTS) umfangreiche Logistikfunktionen. Folgende Prozesse wurden für die Teilversorgung im Leipzig-Werk definiert:

- Direktanlieferung per LKW: Große Teile mit geringer Komplexität (z. B. Bodenmatte oder Kofferraumverkleidung) werden per LKW zeitnah und in unmittelbare Nähe des Verbaues angeliefert.
- Modulanlieferung per EHB8: Große und komplexe Baugruppen (z. B. Cockpit) werden direkt auf dem Werksgelände von externen Lieferanten oder BMW Mitarbeitern montiert.
- Lagerware per FTS: Die Mehrzahl der Teile wird in einem Versorgungszentrum gelagert, kommissioniert und mit Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) an die jeweiligen Verbaue in der Montage gebracht [S.36, 10].

Es sind 74 FTF im Einsatz, als Ladehilfsmittel werden mehr als 2.000 Rollwagen in zwei unterschiedlichen Ausführungen eingesetzt. Je FTF werden entweder zwei kleine Rollwagen, zur Aufnahme von Behältern bis DIN-Größe, oder ein so genannter übergroßer Rollwagen zur Aufnahme von Großbehältern eingesetzt. Zusätzlich gibt es noch die Sequenziergestelle mit Sonderaufbauten [10, S. 37]. Durch einen Laser-Scanner auf dem FTF wird der Personenschutz und Hinderniserkennung übernommen.

Die Fahrerlosen Transportfahrzeuge finden ihren Weg mit Hilfe der so genannten freien Navigation. Damit ist gemeint, dass die Fahrzeuge ohne physikalische Leitspuren und nach einem kombinierten Prinzip aus Kopplung und Peilung arbeiten. Kopplung bedeutet die Auswertung von fahrzeuginternen Sensoren (Messräder und ein faseroptischer Kreisel), wodurch der zurückgelegte Weg samt Kurven bestimmt wird [10, S. 36]. Bei jeder Peilung werden aufgetretene Fahrfehler, die durch Schlupf der Räder oder durch Veränderungen des Raddurchmessers auftreten können, korrigiert. Die Vorteile dieses, auch Magnet Navigation genannten, Verfahrens liegen in der Zuverlässigkeit und der Flexibilität bei zukünftigen Layoutanpassungen [10, S. 36].

3 Projektorganisation

Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben den organisatorischen Ablauf innerhalb der Projektgruppe. Dazu gehört die Aufteilung in Gruppen, sowie die zeitliche Planung und Rollenverteilung. Des weiteren werden hier das Vorgehen für das gesamte Projekt und die verwendeten Werkzeuge beschrieben.

3.1 Organisation der Teilgruppen (Materialfluss, Fahrzeuge, Simulation)

Die Projektgruppe ist in die drei Teilgruppen unterteilt, da das Gesamtprojekt in eindeutig abgrenzbare Aufgabenfelder gegliedert ist und so Kompetenzen und Verantwortlichkeiten klar definiert werden können.

- **Materialfluss**

Die Teilgruppe Materialfluss befasst sich mit Programmierung der Sensorik und Aktorik für die Rampen, sowie dem Aufbau eines Sensornetzwerkes zur Kommunikation zwischen den verschiedenen Akteuren der Simulation.

- **Fahrzeuge**

Die Teilgruppe Fahrzeuge befasst sich mit allen Aspekten, die für das Funktionieren der Fahrzeuge verantwortlich sind. Dazu zählen unter anderem die Navigation, Odometrie und Lokalisierung. Auch ist die Einrichtung der Versorgungsinfrastruktur für die Fahrzeuge in Form von Ladestationen fällt in den Aufgabenbereich der Fahrzeuggruppe. Zusammen entwickeln die Teilgruppen Fahrzeuge und Materialfluss das physische System, so dass Kommunikation und Abstimmung zwischen diesen beiden Gruppen besonders wichtig sind.

- **Simulation**

Die Teilgruppe Simulation entwickelt die Software mit der eine virtuelle Simulation erstellt wird. Diese Software beinhaltet einen hybriden Modus, in dem das physische System auf die Software abgebildet wird und beide Teilsysteme ein Gesamtsystem bilden. Für die Entwicklung des Hybridmodus muss ein funktionierendes physisches System vorliegen.

3.2 Rollenverteilung

Um organisatorische Aspekte innerhalb des Projektes besser umsetzen zu können, wurden unterschiedliche Rollen definiert, die jeweils einen Bereich des Projektes abdecken sollen. Dazu gehören folgende Aufgaben:

- **Administrator**

Der Administrator ist für die Einrichtung und Betreuung der Server und Tools zuständig, dazu zählt auch die Einrichtung der Webseite.

- **Aussendarstellung**

Um das Projekt vernünftig zu Repräsentieren, verwalten die zuständigen der Aussendarstellung den Inhalt der Webseite. Ausserdem sind sie für die externen Kontakte und Events / Präsentationen verantwortlich.

- **Dokumentenbeauftragte**

Damit am Ende ein einheitliches Format für den Endbericht gilt, organisieren, sammeln und verwalten die Beauftragten jegliche Quellen und Berichte (dazu zählt auch das Repository). Des weiteren sind sie Ansprechpartner bei fragen zur Literatur.

- **Gruppenleiter**

Da das Projekt aus drei Teilgruppen besteht, besitzt jede Gruppe einen eigenen Gruppenleiter, der die Prozesse innerhalb der Gruppe lenkt und gemeinsam mit den anderen Gruppenleitern das gesamte Projekt koordiniert.

- **Qualitätsmanagement**

Damit der Projektplan eingehalten wird, ist es Aufgabe des Qualitätsmanagements, dass die Prozesse (Scrums) eingehalten und korrekt ausgeführt werden. Zusätzlich sind sie für die System und Integrationstests verantwortlich.

- **Werkzeugbeauftragte**

Die Werkzeugbeauftragten verwalten die benötigten Geräte und Schlüssel für die gesamte Projektgruppe. Weiterhin regeln sie, mit Rücksprache mit den Betreuern, den Einkauf der Hardware und Software.

3.3 Vorgehensmodell

Für die Durchführung der Projektgruppe muss ein Vorgehensmodell, sowohl für die Gesamt- als auch für die Teilgruppen, festgelegt werden. Durch ein Vorgehensmodell wird die Arbeit im Team strukturiert und es wird festgelegt, wie bestimmte Aufgaben, wie z.B. Abgleich mit Kunden und Anwendern, umgesetzt werden sollen. Sowohl für die Teilgruppen als auch für die Gesamtgruppe wurde ein Scrummodell als Vorgehensmodell gewählt (siehe Abbildung 9).

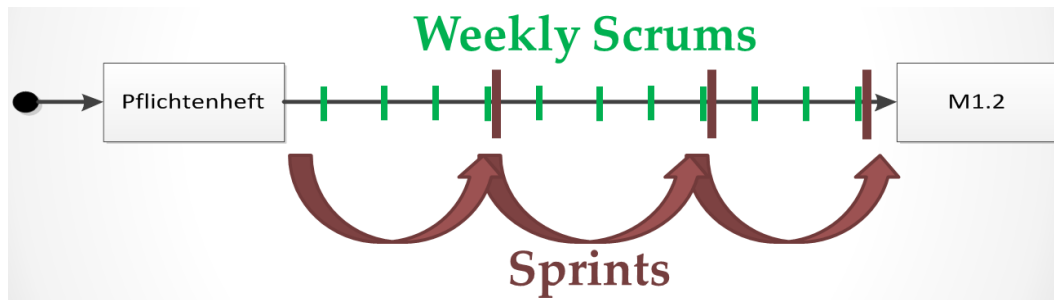


Abbildung 9: Scrumplanung für einen Meilenstein

Da es für ein sehr komplexes Projekt, wie das vorliegende, schwierig ist nur von einer groben Vision, sowie von User Stories auszugehen, wurden zunächst auf Basis des vorliegenden Lastenhefts in jeder Teilgruppe Pflichtenhefte erstellt. Anschließend wurden die dazugehörigen User Stories definiert, die die Anforderungen aus dem Pflichtenheft berücksichtigen und aus Anwendersicht darstellen. Die Sprints in den Teilgruppen sind mit einem Monat bemessen und werden zur Durchführung der User Stories genutzt. Die Rolle des Product Owners wird von den beiden Betreuern eingenommen, die sowohl für die Teil- als auch für die Gesamtgruppen zur Verfügung stehen, um die entwickelten Funktionalitäten abzugleichen. Die Durchführung von Daily Scrums ist zeitlich nicht möglich, da es sich um eine studentische Projektgruppe handelt, deren Stundenplan keine täglichen Treffen ermöglicht. Deshalb wurde das Scrum Vorgehensmodell dahingehend angepasst, dass die Daily Scrums in Weekly Scrums abgewandelt wurden. Die Weekly Scrums finden sowohl in den Teilgruppen als auch in der Gesamtgruppe statt. In den Weekly Scrums der Gesamtgruppe wird zunächst von jeder Person berichtet, welche Aufgaben in der vorherigen Woche erledigt wurden, damit entstandene Probleme und Hindernisse direkt in der Gruppe besprochen und eventuell beseitigt werden können. Die Ergebnisse aus den Teilgruppen werden ebenfalls vorgestellt und mit den Product Ownern abgeglichen. Das Scrum Vorgehensmodell wird mit Prototyping kombiniert (siehe Abbildung 10).

Durch das Prototyping sollen zu bestimmten Meilensteinen die kombinierten Ergebnisse aus den Teilgruppen vorgestellt werden, um den Stand des Gesamtsystems begutachten zu können. Betrachtet man das gesamte Projekt, so besteht es aus 2 Prototyping Phasen. Diese trennen sich im zweiten Meilenstein. Bis zu diesem Zeitpunkt wird mit horizontalen Prototyping die Basis des Projektes geschaffen. Das bedeutet, dass alle Grundfunktionalitäten implementiert und umgesetzt werden. Danach folgt das vertikale Prototyping in dem die Funktionalitäten um weitere Aspekte und Feinheiten ergänzt werden. Innerhalb dieser beiden Phasen kommt es immer wieder zu Aufgabenbereichen, die jede Teilgruppe für sich umsetzt. Ebenfalls sind Phasen vorhanden, in denen die Ergebnisse der einzelnen Gruppen zusammengeführt werden müssen, wodurch das Zusammenspiel zwischen dem Material-

fluss und der Volksbots, sowie die Darstellung in der Simulation, entsteht.

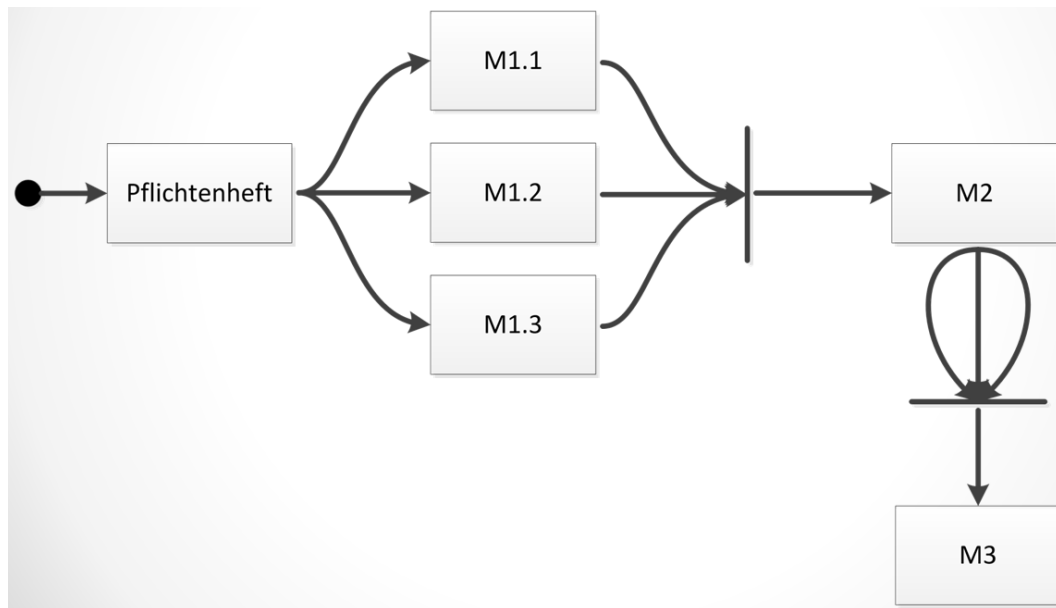


Abbildung 10: Modell für die Darstellung der einzelnen Projektphasen

4 Komponentenbeschreibung

4.1 Mikrocontroller

Ein Mikrocontroller ist ein kleiner Computer auf einem einzelnen Halbleiter-Chip. Dazu gehört ein Prozessor, der Programme ausführen kann, Arbeits- und Programmspeicher sowie Schnittstellen, die eine Kommunikation mit der Umgebung ermöglichen sog. Peripheriefunktionen [13]. Mit ihnen lassen sich komplexe Aufgaben lösen, für die sonst ein aufwändiger Schaltungsaufbau notwendig wäre. Standardmäßig sind folgende Bestandteile in Mikrocontrollern integriert: CPU, SRAM und Flash-Speicher für den Programmcode. Weiterhin bieten MCs analoge und digitale Ports, mehrere AD/DA-Wandler, Timer und Schnittstellen zur Kommunikation mit der Außenwelt [11]. In der nachstehenden Abbildung ist der allgemeine schematische Aufbau eines Mikrocontrollers in folgender Abbildung dargestellt.

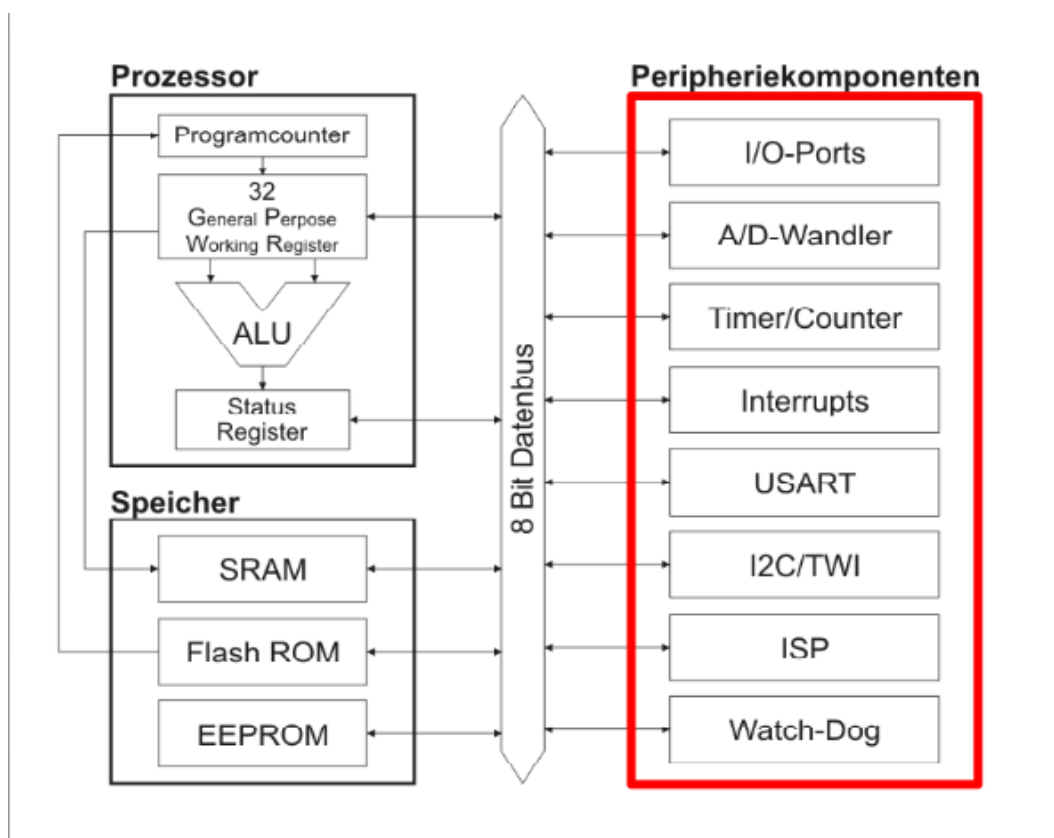


Abbildung 11: schematischer Aufbau eines Mikrocontrollers [1]

- Prozessor (CPU)

- Arithmetic Logic Unit kurz ALU (Rechenwerk)
 - 32 GPIO-Register (Arbeitsregister für ALU)
 - Programmcounter (Programmposition)
 - Statusregister (Status der aktuellen Operation)
- Speicher
 - SRAM– Datenspeicher (Static Random-Access Memory)
 - Flash ROM– Programmspeicher (Read Only Memory)
 - EEPR OM– Festspeicher (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)
- Peripheriekomponenten
 - I/O-Ports Primärfunktion der Pins (Ein- und Ausgänge)
 - A/D-Wandler (Einlesen von analogen Spannungen)
 - Timer/Counter (Zeitintervall-/PBM-Generator)
 - Interrupts (Programmunterbrechungsrouinen)
 - USART, I2C/TWI und SPI (Kommunikationsschnittstellen)
 - Watch-Dog (Absicherung gegen Systemfehler)
 - ISP (Schnittstelle zum übertragen des kompilierten Programms)

Mikrocontroller sind im heutigen Leben weit verbreitet und es gibt eine viele Anzahl von Herstellern, die mikrocontroller anbieten. Im folgenden werden einige Hersteller mit ihren MC-Familien beispielhaft aufgeführt:

- Intel (8051-Serie)
- Renesas (H8)
- Zilog (Z8)
- Microchip (Pic)
- Freescale (früher Motorola) (68HC08 bzw. 68HCS08)
- Atmel (AVR, 8051-Serie)

Für das Projekt FAISE wurde die Atmel-Serie eingesetzt. Es sind Mikrocontroller mit erweiterten Peripherien und Funktionen, die auf der 8-Bit-AVR-Architektur basieren. Bei AVR handelt es sich um einen RISC-Kern, der an der Universität von Trondheim in Norwegen entwickelt und von Atmel aufgekauft wurde. Die CPU besitzt 32 allgemeine 8-Bit Register (general purpose registers) und ist in der Lage in einem einzigen Taktzyklus Daten aus zwei beliebigen Registern in die ALU zu laden, diese zu verarbeiten und das Ergebnis in einem beliebigen Register zu speichern [11]. Die Konfiguration eines Atmega 8 der Firma Atmel sieht so aus:

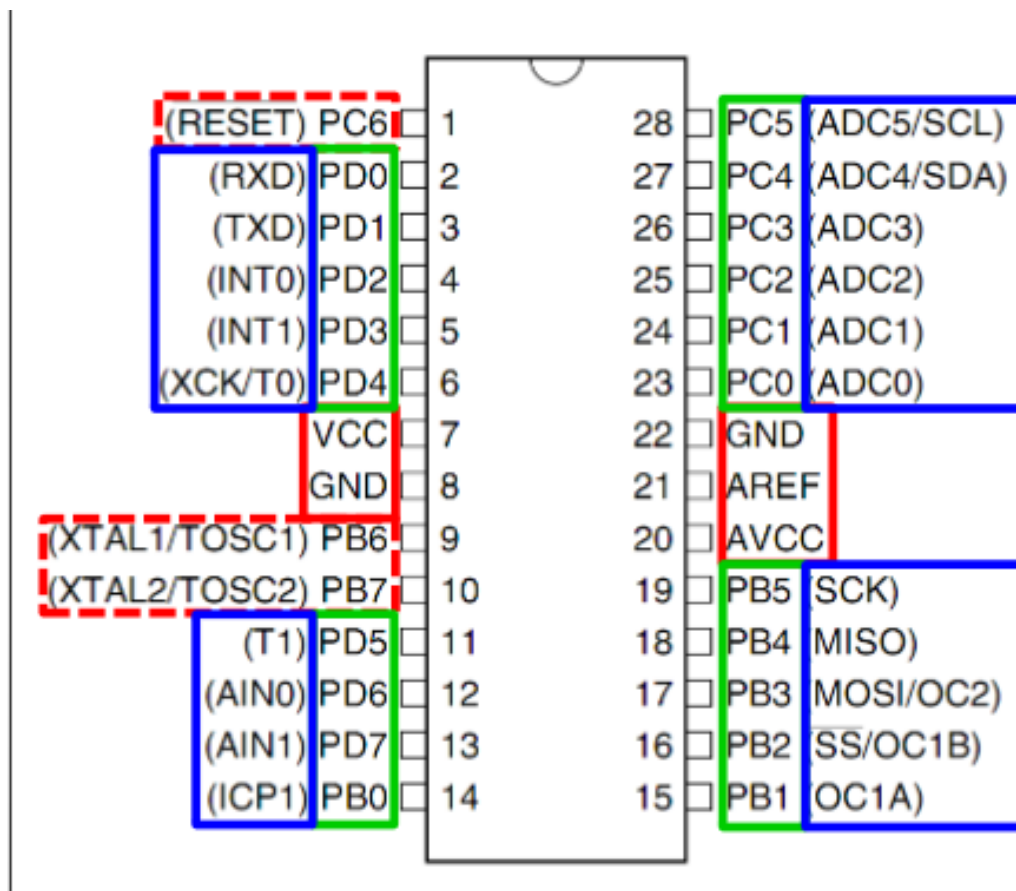


Abbildung 12: Atmel 8

(http://www.ids.tu-bs.de/tl_files/Lehre/Vorlesungen/Simulation2/Einfuehrung_in_die_MC_Programmierung_Teill.pdf)

- Pins für die Minimalbeschaltung
 - Spannungsversorgung
 - ReferenzspannungTaktgeber

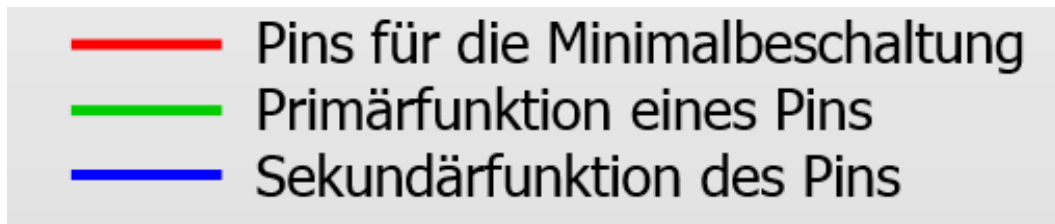


Abbildung 13: Atmel 8 (http://www.ids.tu-bs.de/tl_files/Lehre/Vorlesungen/Simulation2/Einfuehrung)

- Reset
- Primärfunktion eines Pins
 - Ein- bzw. Ausgang
- Sekundärfunktion des Pins
 - A/D-Wandlereingang
 - Ext. Interrupt
 - PBM-Ausgang

Für die Programmierung der AVR-Controller gibt es eine kostenlose Entwicklungsumgebung AVR-Studio, die das Einbinden des Compilers problemlos erlaubt.

4.2 Sensorik/ Aktorik

Hauptziel der Teilgruppe Materialfluss ist das Management von Paketen auf einer Rampe. Die Aufgabe der Sensorik ist dabei, die mit Lichtschranken ausgestatteten Rampen Paketen zu detektieren und auf Änderung der Position der Paketen zu reagieren. Die Lichtschranken bestehen aus einer Lichtstrahlenquelle (dem Sender) und einem Sensor (dem Empfänger) für diese Strahlung. Als Lichtquelle kommt Infrarotlicht zum Einsatz und der Vorteil besteht in der einfachen Einstellung des Sensorsystems durch den sichtbaren Lichtfleck. Das Funktionsprinzip der Lichtschranke besteht darin, der zu ändernden Zustand durch die Lichtintensität mit dem Sensor zu registrieren. Die Rampen werden auf Hardwareebene um eine Aktorik zum Arretieren der Kisten ergänzt. Diese Aktoren (in unserem Fall die eingesetzte Bolzenpaar) sind für das Ausführen von Bewegungen zuständig. Sie sind aktive Stellelemente, die in der Antriebs- und Steuerungstechnik, die vom Mikrorechner angesteuert werden und das Verhalten des Prozesses durch das vom Sensor kommende Signal in einer gewünschten Weise zu ermöglichen. In dieser allgemeinen Darstellung stehen die Ausgangssignale eines Sensors und die Stellsignale der Aktoren mit einem Informationsverarbeitungssystem (IVS) in Verbindung.

4.3 Contiki

Contiki ist ein Open Source Echtzeitbetriebssystem, das bei uns in der PG auf den MICAz-Modulen eingesetzt wird. Contiki bietet einen einfachen ereignisgesteuerten Betriebssystemkern mit sogenannten Protothreads, optionalem präemptiven Multiprogramming, Interprozesskommunikation via Messagepassing durch Events, eine dynamische Prozessstruktur mit Unterstützung für das Laden und Entladen von Programmen, nativen TCP/IP-Support über den uIP TCP/IP-Stack und eine grafische Benutzerschnittstelle, welche direkt auf einem Bildschirm oder als virtuelle Anzeige über Telnet oder VNC genutzt werden kann [14].

4.3.1 Systemarchitektur

Ein laufendes Contiki System besteht aus dem Kernel, Bibliotheken, Prozessen und dem Programm-Lader, mit dem Anwendungen zur Laufzeit aus dem Speicher oder über ein Funkmodul geladen werden können. Die unter stehende Abbildung zeigt die Aufteilung des Betriebssystems in zwei Teile. Der Core ist ein Basissystem und besteht aus dem Kernel,

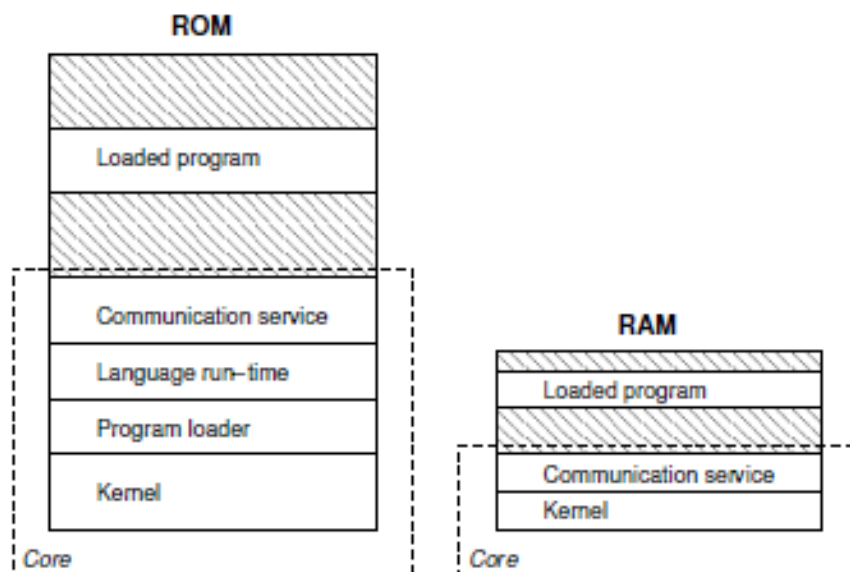


Abbildung 14: Adam Dunkels, Björn Grönvall, Thiemo Voigt: Contiki - a Lightweight and Flexible Operating System for Tiny Networked Sensors. (Quelle: <http://www.up.edu.ps/ocw/upinar/moodledata/872/moddata/assignment/970/1287/10.1.1.59.2303.pdf>)

Bibliotheken, Gerätetreiber und der Programm-Lader. Im allgemeinen sind Änderungen am Core nicht vorgesehen und nur unter Verwendung eines speziellen Bootloader möglich. Die

konkrete Aufteilung des Systems in Core und ladbare Programme wird beim Kompilieren des Systems entschieden und hängt von der Hardware-Plattform ab [12, S. 7]. Gerätetreiber werden als Bibliotheken implementiert.

4.3.2 Events

In Contiki kommunizieren Prozesse über Events. Auch der Kernel versendet Events, um Prozesse über ihren Status (Init, Continue, Exit) oder über abgelaufene Timer zu informieren. Zur Identifikation stehen dabei Event IDs zur Verfügung. Die Event IDs 0-127 können vom Benutzer frei vergeben werden, während die Prozess IDs ab 128 vom System genutzt werden. Grundsätzlich unterscheidet Contiki zwischen synchronen und asynchronen Events.

- Asynchronen Events

Asynchrone Events sind eine Form der Deferred Procedure Call: asynchrone Events werden vom Kernel in einer Warteschlange gespeichert. Die Scheduling-Funktion des Kernels läuft nach Systemstart in einer Endlosschleife. In jedem Durchlauf wird ein Event aus der Schlange entnommen und wird einige Zeit später an den Zielprozess weitergeleitet.

- Synchronen Events

Synchrone Events gleichen einem Funktionsaufruf. Die werden ohne Umweg über die Warteschlange direkt an den Empfänger-Prozess zugestellt [12, S. 7]. Mit der Funktion `process_post_synch(&example_process, EVENT_ID, msg)` wird gezielt ein Prozess aufgerufen (ein Broadcast ist nicht möglich). Während der aufgerufene Prozess aktiv ist, blockiert der Aufrufer und setzt seine Ausführung erst fort, wenn der aufgerufene Prozess die Kontrolle wieder abgibt.

4.3.3 Prozesse

Prozesse in Contiki implementieren ein Konzept namens Protothreads. Dies erlaubt es Prozessen, ohne den Overhead und die langen Prozesswechselzeiten von normalen Threads auszukommen. Gleichzeitig können trotzdem andere Prozesse ausgeführt werden, falls ein Prozess auf ein Event (Timer, Nachricht von anderem Prozess...) warten muss. Für die Entwicklung mit Prozessen ist wichtig, dass nicht-statische Variablen nicht zwischen zwei Aufrufen erhalten bleiben. Der relevante Status eines Prozesses sollte daher mithilfe von statischen Variablen abgelegt werden (siehe Variable `i` im folgenden Beispiel:

In Zeile 1 wird der Prozess initialisiert und in Zeile 2 automatisch beim Boot von Contiki gestartet. Zeile 4 beinhaltet die Deklaration. So können andere Prozesse diesem Prozess

Beispielprozess

```
1  PROCESS(example_process, "Example process");
2  AUTOSTART_PROCESSES(&example_process);
3
4  PROCESS_THREAD(example_process, ev, data)
5  {
6      PROCESS_BEGIN();
7      static uint8_t i = 1;
8      while(1) {
9          PROCESS_WAIT_EVENT();
10         printf("Got event number %d\n", i);
11         i++;
12     }
13     PROCESS_END();
14 }
```

Events (mit oder ohne Daten) schicken, auf die unser Beispielprozess mit `ev` und `data` zugreifen kann. Zeile 6 kennzeichnet den Beginn der tatsächlichen Ablauflogik. Code über dieser Zeile wird bei jedem Prozessaufruf ausgeführt, dies wird jedoch in den meisten Fällen nicht benötigt. Zeile 13 schließlich beendet den Prozess und entfernt ihn aus der Prozess-Liste des Kernels. In diesem Beispiel wird die Zeile jedoch nie erreicht, sodass er Prozess immer wieder aufgerufen wird, bis er von einem anderen Prozess beendet wird. Wichtige Funktionen in Prozessen:

- `PROCESS_WAIT_EVENT()`- Wartet auf ein beliebiges Event, bevor die Ausführung fortgesetzt wird
- `PROCESS_WAIT_EVENT_UNTIL(condition)` - Wartet auf ein beliebiges Event, setzt die Ausführung aber nur fort, wenn die Bedingung erfüllt ist
- `PROCESS_WAIT_UNTIL()` - Wartet, bis die Bedingung erfüllt ist. Muss den Prozess nicht zwangsläufig anhalten

Prozesse können über Events (siehe Events) oder Polling-Anfragen kommunizieren. Polls sind Events mit hoher Priorität und können genutzt werden, um den angerufenen Prozess so schnell wie möglich auszuführen. Sie sind besonders bei der Abarbeitung von Hardware-Interrupts wichtig, da Interrupts-Handler keine Events, sondern nur Polling-Anfragen absetzen dürfen [12, S. 7].

Literatur

- [1] Prof. Dr.-Ing. habil. G.-P. Ostermeyer. *Einführung in die Programmierung von Mikrocontrollern*. 2014. URL: http://www.ids.tu-bs.de/tl/_files/Lehre/Vorlesungen/Simulation2/Einfuehrung_in_die_MC_Programmierung_Teill.pdf.
- [2] Günther. *Einsatzplanung Fahrerloser Transportsysteme*. Berlin: Logistik Management, Heft 1, 2000.
- [3] Ten Hompel und Heidenblut. *Taschenlexikon Logistik - Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik*. Berlin: Springer, 2. Auflage, 2008.
- [4] Wulz Johannes. *Menschintegrierte Simulation in der Logistik mit Hilfe der Virtuellen Realität*. 2008.
- [5] Langenbach Maik. *Beitrag zur Systemfindung von Shuttle-Lagersystemen mit horizontaler Bedienebene*. Dortmund, 2012.
- [6] H. Martin. *Transport und Lagerlogistik – Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik*. Wiesbaden: Springer, 6. Auflage, 2006.
- [7] A. Stich V.; Bruckner. *Industrielle Logistik*. Mainz, Aachen, 7. Auflage, 2002.
- [8] Werner Swoboda. *Lasernavigation sorgt für flexiblere Einsatzmöglichkeiten*. 2014. URL: http://www.industrieanzeiger.de/home/-/article/12503/29025343/Sp%C3%A4tere-Kurskorrektur-macht-kaum-Probleme/art/_co_INSTANCE_0000/maximized/.
- [9] Nagel Ten Hompel Schmidt. *Materialflusssysteme. Förder- und Lagertechnik*. Berlin, 3. Auflage, 2007.
- [10] Günter Ullrich. *Fahrerlose Transportsysteme*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2011.
- [11] Seib Viktor. *Einführung in MCU*. 2014. URL: <http://www.uni-koblenz.de/~physik/informatik/MCU/Einfuehrung.pdf>.
- [12] Florian Walter. *Sensorknoten: Betrieb, Netze und Anwendungen*. München, 2010.
- [13] Die freie Bibliothek Wikibooks. *Mikrocontroller Einleitung und Grundlagen*. 1999. URL: http://de.wikibooks.org/wiki/Mikrocontroller/_Einleitung_und_Grundlagen.
- [14] Die freie Bibliothek Wikipedia. *Contiki*. 2013. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Contiki>.