

Mobilfunkbasiertes Steuerungskonzept für das Flottenamangement in Tagebauen und Minen

Von der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik
der Technischen Universität Bergakademie Freiberg
genehmigte

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur
(Dr.-Ing.)
vorgelegt

von: Dipl.-Ing. Michael Martin
geboren: am 14.07.1975 in Karl-Marx-Stadt

Gutachter: Prof. Dr.-Ing.habil. Peter Löber (Freiberg)
Prof. Dr.-Ing.habil. Carsten Drebenstedt (Freiberg)
Dr.-Ing.habil. Horst Bittner (Mohorn)
Dr. rer. nat. Frank Petrich (Cottbus)

Verleihung: Freiberg, den 21.12.2005

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Prozessautomation des Institutes für Automatisierungstechnik an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg.

Mein besonderer Dank gilt zuerst Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Löber für dessen langjährige Unterstützung, die wissenschaftliche Betreuung sowie die tatkräftige Hilfe und für die Übernahme des Hauptreferates.

Herrn Dr.-Ing. Horst Bittner danke ich für die wertvollen Hinweise und Ratschläge, die weit über die in der Arbeit behandelten Themenkomplexe hinausgingen. Durch seinen unermüdlichen Einsatz und seine Bemühungen für eine praktische Realisierung konnte trotz, teilweise schwieriger Rahmenbedingungen, das gemeinsame Projekt stets erfolgreich fortgeführt werden.

Den Herren Prof.Dr. -Ing. Carsten Drebenstedt und Dr. rer. nat. Frank Petrich (Vattenfall Europe Mining & Generation) danke ich für die Begutachtung der Arbeit.

Bei Herrn Dipl.-Ing. Wolfgang Honka und Herrn Dipl.-Ing. Gerald Paulig (beide ABB Cottbus) möchte ich mich für die sehr gute und angenehme Zusammenarbeit im Rahmen des F&E Projektes bedanken.

Ein ganz besonderer Dank richtet sich an Herrn Michael Henschel für die tatkräftige Unterstützung bei der Implementierung des Konzeptes und für seine umfangreiche Hilfe bei der Vielzahl der durchgeführten Feldversuche.

Nicht zuletzt danke ich Herrn Dipl.-Ing. Gert Anders, Herrn Thomas Wagner und Herrn Dipl.-Phys. Stefan König für die umfangreiche, praktische Unterstützung bei der Erstellung der Versuchshardware.

Freiberg, Dezember 2005

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Motivation - Entwicklungstrends in der Automatisierungstechnik	3
1.2	Einordnung des Themenkomplexes	3
2	Stand der Technik	5
2.1	Mobile Technik in Tagebauen und Minen	5
2.1.1	Fahrzeugtypen	5
2.1.2	Wichtige Fahrzeughersteller	7
2.1.3	Truckinformationssysteme	8
2.2	Minenmanagementsysteme	12
2.2.1	Allgemeine Abgrenzung	12
2.2.2	Modular Mining - IntelliMine	14
2.2.3	Maptek's - MineSuite	15
2.2.4	Wenco Mine Management System	16
2.2.5	Micromine - PITRAM	18
2.2.6	MineStar - (Caterpillar, Aquila Mining Systems, Mincom, Trimble Navigation Ltd.)	19
2.2.7	International Mining Technologies (IMT)	20
2.2.8	IMS - Integrated Mining Systems - (Gemini Positioning Systems, Thunderbird Mining Systems, Tritronics)	21
2.2.9	INCO - Mining Operation System (MOS)	22
2.3	Logistik	23
2.3.1	Verkehrslogistik	23
2.3.2	Flottenmanagementsysteme (FMS)	24
2.3.3	Übersicht über kommerzielle Flottenmanagementsysteme	26
2.4	Telematik	29
2.4.1	Verkehrstelematiksysteme	29
2.4.2	Verkehrsinformationssysteme	32
2.4.3	Verkehrsleit- und assistenzsysteme	33
2.4.4	Fernauslese und Überwachungssysteme	33
2.4.5	Telematiksysteme für den Einsatz in Tagebauen	38
2.5	Geographische Informationssysteme (GIS)	41
2.6	Mobilfunk- und Satellitenkommunikation	42
2.6.1	Mobilfunksysteme	46
2.6.2	Satellitennetze	46
2.7	Verteilte Systeme (VS)	46
2.7.1	Synchrone und asynchrone verteilte Systeme	46
2.7.2	Mobile verteilte Systeme (MVS)	47
2.7.3	Verteiltes Steuerungssystem (VSS)	47
2.7.4	Mobile verteilte Steuerungssysteme (MVSS)	48
2.8	Positionsbestimmungssysteme	49
2.8.1	Positionsbestimmungssysteme im Kontext des Steuerungssystems	49
2.8.2	GPS-Positionsmessung	50
2.8.3	Verbesserung der Positionsbestimmung	50
2.9	Zeit	51
2.9.1	Definition der Zeit	51
2.9.2	Bedeutung der Zeit aus technischer Sicht	52
2.9.3	Gesetzliche Zeit	52
2.9.4	GPS-ZEIT	52
2.9.5	Zeitzeichensender	53
2.9.6	Logische Zeit	54

2.9.7	Precision Time Protocol (PTP) - IEEE 1588	55
2.9.8	Network Time Protocol (NTP)	55
2.9.9	Distributed Time Service (DTS)	56
3	Ableitung der Forschungs- und Entwicklungsaufgabe	57
3.1	Funktionalität eines Flottenmanagementsystems für Tagebaue und Minen	57
3.2	Übersicht über die Aufgaben, Realisierungsansätze und Probleme von FMS in Tagebauen und Minen	59
3.3	Flottenbegriff - Klassifizierung der mobilen Technik	62
3.4	Abgrenzung des Einsatzbereiches	63
3.5	Ergebnisse der Analyse bestehender Systeme	65
3.6	Einordnung der Aufgabe unter dem Aspekt „Mobiles verteiltes System“	67
4	Konzeptdarstellung und Spezifikation	69
4.1	Modell eines FMS aus Sicht des Ebenenmodells der Produktion	69
4.2	Aspekte eines verteilten Steuerungskonzeptes für Tagebaue und Minen	71
4.2.1	Mobile Technik als mobiles verteiltes System	72
4.2.2	Grundlegende Steuerungsprinzipien - Mobiles verteiltes Steuerungssystem	75
4.2.3	Aufbau des mobilen verteilten Steuerungssystems	81
4.2.4	Forderungen an die technische Realisierung des Steuerungskonzeptes	86
4.3	Grundlegende Konzepte zur Beherrschung der Forderungen	88
4.3.1	Mobilität, Verteilung und Kooperation	88
4.3.2	Positionsbezogene Ansätze	89
4.3.3	Zeitbezogene Ansätze	99
4.3.4	Kooperative Ansätze	101
4.4	Kommunikationskonzept	104
4.4.1	Kommunikation zwischen Zentralrechner und Zellenrechnern	105
4.4.2	Kommunikation zwischen Zellenrechner und mobilen Einheiten	106
4.5	Aufbau, Wirkungsweise und Bewertung der Datenerfassung im verteilten mobilen Steuerungssystem	109
4.5.1	Beurteilung der Positionsbestimmungsverfahren hinsichtlich des Einsatzzweckes	109
4.5.2	Zeiterfassungsprinzipien für den Einsatz im Steuerungssystem	114
4.5.3	Messwerterfassung als grundlegender Bestandteil des Systems	120
4.6	Datenübertragung als Bindeglied des MVSS	122
4.6.1	Allgemeine Analyse der Parameter von Mobilfunksystemen	122
4.6.2	Vergleich von Mobilfunksystemen und der sich ergebenden Systemparameter	123
4.6.3	Ansätze für mobilfunkspezifische Datenübertragungsstrategien	126
5	Implementierung	129
5.1	Beschreibung des Systems - Mobile Technik	129
5.1.1	Aufbau des Systems	129
5.1.2	Datenerfassung	131
5.1.3	Datenverarbeitung und -zwischenspeicherung	134
5.1.4	Datenübertragung	134
5.1.5	Datenauswertung und -visualisierung	136
5.2	Teilrealisierung mit dem RMC der Siemens AG	137
5.2.1	Aufbau einer Versuchsanlage mit dem RMC3000 System	137
5.2.2	Erweiterung der RMC-Lösung um ein Funksystem der Firma Cattron-Theimeg	137
5.2.3	Schwächen der Realisierung mit dem RMC-System	137
5.3	Realisierung von Teilaspekten im System „Mobile Technik“	138
5.3.1	Datenerfassung	139
5.3.2	Datenübertragung per Mobilfunk	142
5.3.3	Datenverarbeitung, Datenvisualisierung/-archivierung	146
6	Experimente	149
6.1	Experimente zur Optimierung des Kommunikationssystems	149
6.1.1	DFM10 / DFM868	149
6.1.2	Siemens MT20 - GSM	150
6.1.3	Theimeg - Bündelfunk	150
6.1.4	AeroComm	151

6.2	Experimente zur Positionsbestimmung	152
6.2.1	GPS-Einsatz	152
6.2.2	Barometermessungen	153
6.3	Experimentelle Untersuchungen zur Zeitsynchronisierung	154
6.4	Experimente mit dem System RMC der Firma Siemens	155
6.4.1	Stationärer Test auf dem Gelände der TU Bergakademie Freiberg	155
6.4.2	Mobiler Test im Privatfahrzeug von Prof.P.Löber	155
6.4.3	Einsatzprüfung des RMC-Systems im Tagebau Schleenhain	156
6.5	Experimente mit dem System „Mobilen Technik“	159
6.6	Bestimmung des Dauerbetriebsverhaltens	160
7	Diskussion und Schlussfolgerungen	163
8	Zusammenfassung und Ausblick	169
8.1	Thesen	169
8.2	Zusammenfassung der Arbeit	170
8.3	Ausblick - Weiterführende Arbeiten	172
A	Anhang	189
A.1	Optimierung	189
A.2	Ausgewählte Versuchsergebnisse	190
A.2.1	Stationäre GPS Dauermessungen	190
A.2.2	Mobile GPS Dauermessungen	194
A.2.3	Ergebnisse Barometerversuche	196
A.2.4	Ergebnisse der Versuche im Steinbruch Breitenau	198
A.3	Entstandene Arbeiten	204
A.4	Veröffentlichung	204

Abbildungsverzeichnis

2.1	Schema eines Tagebaus mit kontinuierlicher Förderung [1]	5
2.2	VIMS [2]	10
2.3	Gliederung der Logistikbereiche eines Unternehmens [3]	24
2.4	Schematische Darstellung der Kommunikation über die FMS-Standard-Schnittstelle [4]	25
2.5	Verkehrstelematikmarkt und dessen Entwicklungschancen [5]	30
2.6	CAES - Darstellung für den Bediener [6]	39
2.7	Typische Sichtbereiche eines Trucks [7]	40
2.8	Einbettung von GIS in den Projektablauf [8]	42
2.9	NTP Struktur der Zeitserver	56
4.1	Darstellung eines FMS als Unternehmen	69
4.2	Konzeptioneller Aufbau eines FMS für Tagebaue und Minen	70
4.3	Klassische Automatisierungspyramide	70
4.4	Grundlegende Steuerungskonzepte	76
4.5	Zusammenhang zwischen den Konzepten	77
4.6	Zentrale und dezentrale Koordinierung	78
4.7	Einfluss der Mobilität auf Systemkomponenten	80
4.8	Aufbau des Steuerungssystems	82
4.9	Steuerungshierarchie [9]	84
4.10	Positionsunsicherheit	92
4.11	Aufenthaltswahrscheinlichkeit	92
4.12	Positionsunsicherheit bei bekannter Route	93
4.13	Grundprinzip Steuerung [9]	97
4.14	Einsatzfälle für Funksysteme mit Richtungscharakteristik	98
4.15	Kollisionserkennung - idealisiert (l.) und mit Positionsfehler (r.)	104
4.16	Aufbau des Protokollframes	107
4.17	Übersicht Positionsmessverfahren	110
4.18	US Frequency Allocations [10]	123
4.19	Übersicht Mobilfunksysteme	124
5.1	Architekturkonzept	130
5.2	Prinzipieller Aufbau des Hardwareklienten MT-02	133
5.3	Beispiel für eine Visualisierungssoftware	136
5.4	Hardwareaufbau des Prototypen MT-02	140
5.5	Prinzipieller und realisierter Aufbau eines Theimeg-Funksystems	145
6.1	Darstellung der Fahrzeugposition im Programm Map & Guide	157
6.2	Einbau- und Antennenpositionen des RMC-Systems in einem Truck im Tagebau Schleenhain	158
6.3	Mobile Einheit und Funkmodul des Systems „Mobile Technik“ [11]	159
6.4	Versuchsgelände im Steinbruch Breitenau	160
6.5	Versuchsfahrzeug mit angebauten Antennen	161
A.1	Bremsleistungsdiagramm	189
A.2	Zeitliche Schwankung der Breitengradwerte	190
A.3	Zeitliche Schwankung der Längengradwerte	191
A.4	Zeitliche Schwankung der Höhenwerte	191
A.5	Längen- und Breitengradschwankungen	192
A.6	Zeitlicher Höhenverlauf	192
A.7	Positionsschwankungen	193
A.8	Positionsergebnis der Messfahrt	194

A.9	Positionübersicht	195
A.10	Wiederholgenauigkeit	195
A.11	Differenz der Höhenverläufe	197
A.12	Versuchsrouten 1	198
A.13	Versuchsrouten 2	199
A.14	Ergebnis der automatischen Aufzeichnung	200
A.15	Höhenaufzeichnung mit Driftkorrektur	200
A.16	Positionsergebnis des ersten Betriebstests	201
A.17	Vergrößerter Ausschnitt aus dem aufgezeichneten Verlauf aus Abbildung A.16 . . .	202
A.18	Ausschnitt aus dem Höhenprofil	202
A.19	Ergebnis autonomer Betriebstests	203

Tabellenverzeichnis

2.1	Vergleich von Flottenmanagementsystemen	28
2.2	Vergleich von Funklösungen	43
3.1	Übersicht über Aufgaben, Lösungsansätze und Probleme von FMS in Tagebauen und Minen	61
4.1	Verteilung und Mobilität des Automatisierungsmodells der „Mobilen Technik“ . .	81
4.2	Variantenvergleich - Positionstempel	91
4.3	Vergleich ausgewählter Positionsmessverfahren	112
4.4	Beurteilung externer Zeitsynchronisationssysteme	117
4.5	Beurteilung von Zeitsynchronisationsprinzipien	119
4.6	Bewertung Mobilfunksysteme Teil 1	125
4.7	Bewertung Mobilfunksysteme Teil 2	126
5.1	Vergleich der getesteten Funklösungen	143
A.1	Ergebnisse der Barometerversuche vom 02.04 - 08.04	196
A.2	Ergebnisse der Barometerversuche vom 16.04 - 19.04	196

1 Einleitung

1.1 Motivation - Entwicklungstrends in der Automatisierungstechnik

Der Siegeszug der Feldbussysteme prägte die letzten Jahre in der Automatisierungsbranche. Damit einhergehend wurden selbst komplexeste Industrieanlagen und verteilte Prozesse für die Automatisierung beherrschbar. Inzwischen ist in vielen Bereichen aber eine Komplexität der Technik erreicht, die eine weitere Automatisierung mit den aktuellen Ansätzen und Konzepten zwar technisch möglich, aber nicht mehr wirtschaftlich tragbar macht. Denn nicht nur in wirtschaftlich schwierigen Zeiten müssen alle Investitionen ihren direkten Nutzen nachweisen können.

Durch Vereinheitlichung von Systemen und Konzepten soll die Durchgängigkeit der technologischen Ansätze sichergestellt und die optimale Nutzung der Investition garantiert werden. Das Ziel dieser Entwicklung ist die Einbindung aller Teil- und Insellösungen in ein umfassendes Gesamtsystem. Unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit und der Integration steht zum Beispiel ganz klar der Einzug der Ethernet-Technologie in die Automatisierungsbranche. Die Lücke zwischen „Büro“ und „Fabrik“ soll auf diesem Wege mit standardisierten Mitteln geschlossen werden. Eine weitere Entwicklungsrichtung der Integrationsbemühungen umfasst den Sektor der mobilen Anwendungen. Die ständige Forderung nach Flexibilität bedingt geradezu das starke Wachstum der Automation von veränderlichen Abläufen und Prozessen. Im Zuge der Revolution auf dem Mobilfunkmarkt werden auch im Automatisierungsbereich dafür verstärkt drahtlose Technologien eingesetzt. Die Hoffnungen der Hersteller ruhen dabei auf Einsparungen durch schnellere Installations- und Umrüstzyklen und auf geringeren Kosten für die Infrastruktur. Die drahtlose mobile Datenkommunikation erfordert neue Ansätze und Konzepte, da eine Vielzahl bisher unbedachter Probleme und Fragestellungen in den Vordergrund drängt. Demgegenüber sind die Chancen, die sich aus den technologischen Möglichkeiten ergeben, ebenso mannigfaltig.

Die Steuerung und Beeinflussung von mobilen Objekten kann durch drahtlose Technologien auf eine ganz neue Ebene geführt werden. Tagebaue und Minen sind ein passendes Beispiel für diese Trends. Die Großgeräte, wie Bagger oder Förderbrücken sind bereits seit Jahrzehnten automatisiert. Im Zuge der Flexibilisierung nutzen Tagebaubetreiber verstärkt mobile Technik für den schnellen variablen Abbau und Transport von Material. Neben den vergleichsweise geringen Anschaffungskosten ist die flexible Nutzung an verschiedenen Einsatzorten der große Vorteil der mobilen Technik. Um das Potential diese Abbautechnologie optimal zu nutzen, ist eine Automatisierung der mobilen Technik dennoch unerlässlich. Der Aufgabenstellung liegt die Idee zu Grunde, ein mobilfunkbasiertes Gerüst für die Automatisierung und das Flottenmanagement von mobilen Fahrzeugen in Tagebauen und Minen zu schaffen, ohne dabei die wirtschaftlichen Gegebenheiten außer Acht zu lassen.

1.2 Einordnung des Themenkomplexes

Der Themenkomplex ist ein nahezu klassisches mechatronisches Problem. Lösungen aus den Bereichen Elektronik, Fahrzeugmechanik und Telematik (Informatik + Telekommunikation) spielen die entscheidende Rolle bei der Umsetzung der Aufgabe. Die Technologien und Methoden aus den

folgenden Bereiche werden ganz oder teilweise für eine Lösung herangezogen:

- Automatisierungstechnik
- Positionsbestimmung
- Mobilfunk
- Geographische Informationssysteme
- Logistik
- Bergbautechnologie
- Verteilte mobile Systeme
- Fahrzeugsysteme
- Elektronik

Die überaus breite Auffächerung des Themengebietes erfordert ein hohes Abstraktionslevel bei gleichzeitiger Fokussierung auf ausgewählte Teilaspekte. Die rasante technologische Entwicklung in den genannten Teilbereichen bedingt einen ständigen Wandel der Konzeptausprägung. Die notwendige Flexibilität des Konzeptes kann nur im Rahmen des aktuellen Entwicklungsstandes der Teilbereiche realisiert werden. Im Hinblick auf eine spätere wirtschaftliche Umsetzung ist eine begleitende, fortwährende Betreuung und Einarbeitung neuester Forschungsergebnisse in die Konzeptbasis nötig. Präzisierungen und Anpassungen in Richtung einzelner Teilbereiche des Konzeptes sind ausschließlich unter dem Gesichtspunkt des Gesamtkontexts zu bewerten.

2 Stand der Technik

2.1 Mobile Technik in Tagebauen und Minen

Bezüglich der Tagebautechnologie unterscheidet man zwischen kontinuierlicher und diskontinuierlicher Gewinnung. Kontinuierliche Systeme fördern über Bandanlagen und Absetzer stetig Material und Abraum aus dem Abbaufeld [12]. Die hohen Investitionskosten dieser Förderungsart beschränkt den Einsatz auf wenige sehr große Tagebaue. Das abgebagerte Material und der Abraum wird bei der diskontinuierlichen Gewinnung mit mobilen Fahrzeugen gefördert. Durch den Fahrzeugeinsatz ist der Abbau unstetig. Diskontinuierliche Förderung wird in Europa überwiegend in kleineren Tagebauen und Steinbrüchen eingesetzt. Der VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) listet daher in seiner Firmenübersicht auch überwiegend auf kontinuierliche Gewinnungssysteme spezialisierte Firmen auf [13]. Die diskontinuierliche Förderung wird in anderen Regionen der Erde, in denen sich die Nachteile des verhältnismäßig hohen Personalbedarfs durch geringe Kosten nicht so stark auswirken, wesentlich häufiger eingesetzt.

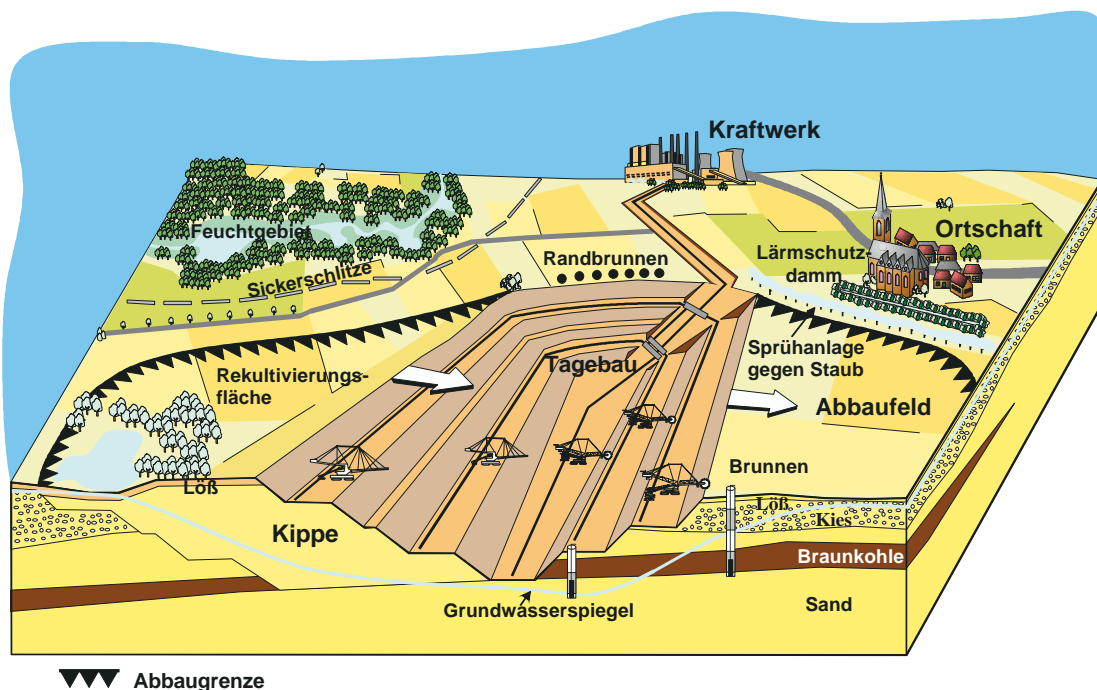


Abbildung 2.1: Schema eines Tagebaus mit kontinuierlicher Förderung [1]

2.1.1 Fahrzeugtypen

Mobile Technik in Tagebauen und Minen muss extremen Witterungsbedingungen widerstehen. Die Einsatzbedingungen erfordern schon bei der Konstruktion dieser Fahrzeuge spezielle Anstrengungen. Weltweit existiert eine Handvoll Firmen, die sich auf diesem Geschäftsfeld betätigen. Alle Hersteller bieten ein komplettes Sortiment von Minenfahrzeugen, Bergwerksequipment und allen

davon abgeleiteten Produkten an. Als Off-Highway Equipment werden Fahrzeuge bezeichnet, die nicht für den öffentlichen Verkehrsraum zugelassen sind. Diese Fahrzeuge werden speziell an die Aufgaben im Bergbau angepasst und sind mit herkömmlichen Baufahrzeugen nicht vergleichbar. Zur Steigerung der Effektivität streben die Hersteller immer größere und leistungsfähigere Fahrzeuge an. Jede Firma befindet sich im Wettbewerb um den weltgrößten Muldenkipper, stärksten Bagger etc. Diese immer höheren Anforderungen zwingen daher kleinere Hersteller zur Kooperation mit anderen Firmen im Rahmen der Entwicklung neuer Fahrzeuge. So arbeiten BELAZ und Cummins¹ zusammen, ebenso wie Hitachi mit Komatsu eine Entwicklungspartnerschaft eingegangen ist [14].

Muldenkipper (Off Highway Trucks) Muldenkipper (Off-Highway Trucks) sind Fahrzeuge, die für den Transport von Material konstruiert sind. Beim Einsatz mobiler Technik in Tagebauen transportieren diese großen Muldenkipper das Material innerhalb des Tagebaues oder schaffen die Massen aus dem Abbaubereich zur Lagerung. Die Trucks können zwischen 40 und 400 Tonnen Erz oder Abraum transportieren. Ab einer Nutzlast von über 130 Tonnen spricht man von „large mining trucks“ [15]. Das Gesamtgewicht kann dabei bis zu 700 Tonnen betragen². Die gigantischen Fahrzeuge werden vorwiegend per Diesellaggregat³ oder dieselektrisch angetrieben⁴. Die Leistungsreserven der Trucks werden vor allem an den Steigungen der Fahrwege benötigt. Die, durch größere Leistung, möglichen schnelleren Transportzyklen haben einen direkten Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und damit auch auf die Kostenbilanz einer Mine.

Radlader (Wheel- / Off-Terrain-Loader) „Lader [...] sind Maschinen mit Arbeitseinrichtungen zum Lösen, Aufnehmen, Transportieren und Abschütten von Erdreich, Gestein und anderen Materialien, wobei der Transport des Ladegutes vorwiegend durch Verfahren des Laders erfolgt.“ [18, Seite 283]

Ein weiterer Fahrzeugtyp, der auch für den Bergbaueinsatz konzipiert wurde, sind die Radlader. Sie kommen bei Beladungsvorgängen und begrenzt für den Transport von Massen zum Einsatz. Diese Fahrzeuge sind sehr wendig und können leicht zwischen verschiedenen Einsatzorten im Tagebau hin- und hergefahren werden. Eine große Bandbreite der Leistungsfähigkeit und Fahrzeuggröße wird auch bei Radladern angeboten. Die größten Exemplare können bis zu 100t Kipplast bewältigen. Die Radladerauswahl wird u.a. auch durch die vorhandenen Muldenkipper bestimmt. Die Hersteller empfehlen optimierte Lader-Kipper Kombinationen aus ihren Produktpaletten, um die höchstmögliche Leistung zu erreichen.

Bagger (Shovel) „Bagger [...] sind Maschinen mit Arbeitseinrichtungen zum Lösen, Aufnehmen, Transportieren und Abschütten von Erdreich, Gestein und anderen Materialien, wobei der Transport des Ladegutes vorwiegend ohne Verfahren des Baggers erfolgt.“ [18, Seite 283]

Bagger werden in Tagebauen für unterschiedlichste Aufgaben eingesetzt. Vom Abbau des Materials, über die Beladung der mobilen Technik hin zur Be- und Entladung am Lagerplatz. Die Größe und Bauform der Bagger (Schaufelbagger, Kettenbagger etc.) hängt vom jeweiligen Einsatzgebiet und der angewendeten Minentechnologie ab.

¹Amerikanische Firma, spezialisiert auf Diesel- und Elektroleistungserzeugung

²Die begrenzenden Faktoren bezüglich des Ladegewichts sind die Reifen und die Antriebsaggregate.

³Beim Marktführer Caterpillar werden Turbodiesellaggregate mit bis zu 2400kW Leistung angeboten.

⁴Ein geringer Anteil Muldenkipper wird mit Elektromotoren angetrieben, die die nötige Leistung nicht mit Diesellaggregaten sondern per Oberleitung bereit gestellt bekommen. Durch die unflexible Handhabung hat sich diese Technik nicht durchgesetzt. Für spezielle Anlagen werden aber auch heutzutage Oberleitungstrucks eingesetzt, da die erreichbare Spitzenleistung nicht durch die von den Diesellaggregaten bereitgestellte Energie begrenzt wird.[16] [17]

Planiergeräte „Planiergeräte [...] sind Maschinen mit Arbeitseinrichtungen zum Lösen, Verschieben und Einebnen von Erdreich, Gestein und anderen Materialien, wobei das bewegte Material nicht aufgenommen wird.“ [18, Seite 283]

Für die Beräumung des Abbaufeldes und für die Gestaltung des Tagebaues (bezüglich Glättung von Flächen, geneigten Ebenen u.a.) werden vielfach Planiergeräte eingesetzt. Der Einsatz von Planiergeräten zum Transport von Material wird durch Kostengesichtspunkte begrenzt. Ab einer bestimmten Transportstrecke lohnt der Einsatz von Planiergerät nicht mehr, stattdessen kommen dann Muldenkipper oder Förderbänder zum Einsatz.

Hilfsfahrzeuge „Hilfsfahrzeuge [...] sind Maschinen mit Arbeitseinrichtungen zur Unterstützung der primären Arbeitsvorgänge. Diese Fahrzeuge sind speziell für einen Arbeitsvorgang ausgelegt.“ [18, Seite 283]

Hilfsfahrzeuge werden für unterstützende Aufgaben benötigt, häufig sind diese sekundären Aufgaben direkt für die Verbesserung der primären Arbeitsschritte notwendig. Diese Fahrzeuge sind beispielsweise Bohr- und Sprengmitteltransportfahrzeuge oder Wässerungsfahrzeuge zur Vermeidung großer Staubbildung.

2.1.2 Wichtige Fahrzeughersteller ⁵

BELAZ Die weißrussische Firma BELAZ ist einer der weltgrößten Hersteller von großen Gewinnungsmaschinen. Muldenkipper mit 30t bis 220t Nutzlast finden sich im Angebot, ebenso wie Radlader und Planiertrauben. BELAZ produziert Großgeräte seit 1948 und Muldenkipper seit 1959 [19]. In den letzten Jahren verstärkt die Firma BELAZ ihre Anstrengungen, um auch außerhalb der GUS⁶ Produkte zu verkaufen.

Caterpillar Caterpillar ist der weltgrößte Produzent von Bau- und Minenmaschinen. Die Firma wird in der Fortune500⁷ gelistet und gehört damit zu den bedeutendsten Firmen der USA. Im Jahr 1925 als Traktorenproduzent gegründet, stellt Caterpillar mit mehr als 20 Milliarden Dollar Umsatz [20] und Forschungsausgaben von 700 Millionen Dollar einen wichtigen Globalplayer dar. Dadurch kann die Firma auf allen Gebieten Bergbaumaschinen anbieten, die modernsten Ansprüchen genügen. Frühzeitig erkannte Caterpillar die Notwendigkeit von Kooperationen und gründete beispielsweise mit Mitsubishi Heavy Industries, Ltd eine Tochterfirma zur Entwicklung und Vertrieb von Baumaschinen.

Hitachi Construction Truck Manufacturing (früher Hitachi/Euclid) Mit der Umbenennung zum 1.1.04 ist die Übernahme der Firma Euclid von Hitachi abgeschlossen. Seit der Gründung im Jahre 1955 stellt Hitachi Baumaschinen her. 1970 wurde die Hitachi Construction Truck Manufacturing in Japan gegründet [21]. Nicht nur in Asien werden die Muldenkipper mit bis zu 250t Nutzlast eingesetzt. Seit 2002 besteht eine Entwicklungspartnerschaft mit Komatsu [14].

Komatsu Ltd. Komatsu Ltd. wurde 1921 in Japan gegründet und ist seither einer der größten Hersteller von Baumaschinen [22]. Die Firma ist ähnlich innovativ wie Caterpillar und bietet ein vergleichbares Produktportfolio an. Neben diesem Geschäftsfeld engagiert sich Komatsu Ltd. zunehmend in Richtung Elektroniklösungen und Systembetreuung.

⁵Die Sortierungsreihenfolge der einzelnen Herstellerbeschreibungen spiegelt nicht die tatsächliche Bedeutung der einzelnen Firmen wieder

⁶Gemeinschaft unabhängiger Staaten

⁷Fortune Magazine ist eines der bedeutendsten Wirtschaftsmagazine der USA und gibt jährlich eine Liste mit den umsatzstärksten Unternehmen heraus, die Fortune500. Auch online unter: www.fortune.com

Liebherr Die deutsche Firma Liebherr entstand 1949 und stellte als erstes Produkt Drehkrane her. Inzwischen ist Liebherr ein weltweit tätiger Konzern, der auch Minenequipment herstellt. Mit dem T282B wird der größte diesel-elektrisch angetriebene Muldenkipper der Welt von Liebherr vertrieben [23]. Das Antriebssystem des T282B ist eine Gemeinschaftsentwicklung mit der Siemens AG.

Terex/Unit Rig Die Firma Terex liefert unter den Markennamen Unit Rig und Terex Bergbaumaschinen in alle Teile der Erde. Das Portfolio umfasst neben Muldenkippern auch Bagger. Die Muldenkipper entsprechen modernsten Anforderungen und können bis zu 325 Tonnen Nutzlast bewegen [24]. In den letzten Jahren ist die Firmengruppe durch Zukäufe und Übernahmen stark gewachsen.

TEREX-KAELBLE GmbH & Co.KG Die Firma Kaelble wurde vor über 100 Jahren gegründet. Seit den 1950er Jahren werden neben Baumaschinen und LKW auch große Muldenkipper produziert. Die ursprüngliche Firma Kaelble-Gmeinder ging 1996 in Konkurs. Als Serviceunternehmen startete daraufhin die KAELBLE Baumaschinen GmbH, um die vorhandenen Kunden weiter zu betreuen. Ab 1997 wurden wieder neue Fahrzeuge angeboten, darunter auch Muldenkipper [25]. 2004 übernahm die Firma TEREX die Kaelble GmbH, die seit dem unter dem Namen TEREX-KAELBLE GmbH & Co.KG. firmiert.

2.1.3 Truckinformationssysteme

2.1.3.1 Allgemeine Systemeigenschaften

Ein Truckinformationssystem sammelt auf vielfältige Weise die verschiedensten Maschinendaten, die während der Lebenszeit eines Fahrzeuges entstehen. Die Art und der Umfang der Datenerfassung werden durch das jeweilige System bestimmt. Die Spannweite reicht dabei von einfachen Sensorschnittstellen, über Systeme die einzelne Teilsysteme eines Fahrzeuges überwachen⁸, bis zur kompletten Beobachtung des gesamten Fahrzeuges⁹. Die ersten Datenrecorder in Fahrzeugen waren die Fahrtenschreiber, die das Signal (Geschwindigkeit) analog aufzeichneten. Um 1980 wurden Geräte mit Festspeicher in Nordamerika eingeführt [26]. Moderne Aufzeichnungsgeräte ähneln in ihrer Funktion den Flugschreibern von Flugzeugen. Nur relevante Informationen werden gespeichert. Das sind beispielsweise Fehlerzustände und -codes, sowie Parameter wichtiger Maschinenteile. Mit Hilfe eines Informationssystems zur Kontrolle von mobilen Bergbaumaschinen sollen folgende 3 Hauptfunktionen realisiert werden¹⁰:

- Maschinenzustandsbeobachtung
 - Erlaubt die schnelle Diagnose des Fahrzeugzustandes
- Nutzungs- und Produktivitätsanalyse
 - Liefert Daten zur Maschinen- und Flottenperformance
- Warnungs- und Alarmsystem
 - Alarmierung des Operators bei Problemen

⁸z.B. das Reifenkontroll- und -überwachungssystem MEMS der Firma Michelin

⁹z.B. das VIMS der Firma Caterpillar

¹⁰Eine genaue Definition des Begriffs Truckinformationssystem existiert nicht, allgemein werden alle Systeme, die Maschinendaten erfassen bzw. Schnittstellen bereitstellen, als Equipment Monitoring Systems bezeichnet.

In einer komplexen Bergbaumaschine existieren eine Vielzahl von Sensoren und Aktoren, die gemeinsam Steuerungsaufgaben übernehmen. Zur korrekten Erfüllung der Steuerungsaufgaben müssen Informationen übertragen werden. Bei modernen Fahrzeugen werden für die Informationsübertragung Feldbussysteme verwendet, speziell das CAN-System ist weit verbreitet. Für die verschiedenen Aufgabenbereiche werden unterschiedliche CAN-Systeme eingesetzt¹¹. Der Einsatz von Feldbussystemen erleichtert die Einrichtung eines Truckinformationssystems, da die Sensorinformationen bereits in einer genormten Form vorliegen. Es muss nur ein weiterer Klient an die jeweiligen Bussysteme angebunden werden, der die gewünschten Informationen aus der Buskommunikation herausfiltert. Unabhängig von der Art der Datenerfassung kann zwischen drei wesentlichen Datenarten unterschieden werden.

- Mess- und Sensordaten (zyklisches Anfallen der Daten)
- Ereignisdaten (azyklisches Datenaufkommen)
- Konfigurationsdaten (azyklisches Datenaufkommen)

Mess- und Sensordaten werden vom Truckinformationssystem in definierten Intervallen angefordert und weiterverarbeitet. Alternativ kann die zyklische Datenübertragung der Sensoren an die Controller vom Informationssystem ausgewertet werden. Ereignisdaten werden durch die verschiedenen Controller in definierten Situationen generiert. Das Informationssystem speichert diese Ereignisse, da sie ein Abbild des Zustandes der Maschine erlauben. Konfigurationsdaten liefern einen Anhaltspunkt wie verschiedene Regler oder Anlagenteile des Fahrzeuges eingestellt sind. Daher ist auch die Speicherung und Auswertung dieser Daten notwendig, um ein möglichst exaktes Modell des Fahrzeuges zu erhalten. Auf der Fahrzeugeebene sind alle Truckhersteller in der Lage alle relevanten Daten zu erfassen und aufzuzeichnen. Diese Systeme befinden sich auch im praktischen Einsatz (exemplarisch werden auf den nächsten Seiten einige Systeme näher vorgestellt). Die Herausforderungen, die sich aus dem Einsatz dieser Systeme ergeben, sind eher praktischer Natur. Besonders das Handling und die sinnvolle Nutzung der Daten bereiten Schwierigkeiten und spiegeln sich deswegen in aktuellen Forschungsbemühungen wieder [27].

2.1.3.2 Caterpillar's Vital Information Management System¹²

Einer der bedeutendsten Hersteller von Großgeräten und Baumaschinen ist die Firma Caterpillar. Mit dem Vital Information Management System (VIMS) bietet sie ein elektronisches Maschinenüberwachungssystem für ihre Fahrzeuge an, an das die fahrzeugeigenen Sensoren und Aktoren angeschlossen sind. Der Muldenkipper Caterpillar 797 besitzt beispielsweise 195 Sensoren und Aktoren, die in das VIMS eingebunden sind.

Mit VIMS ermöglicht Caterpillar Ereignislisten, Ereignislogger, Datenlogger, Trendaufzeichnungen und Nutzlastanzeigen. VIMS beinhaltet weiterhin ein umfangreiches Diagnoseprogramm. Per Schnittstelle kann ein Techniker einen vollständigen Bericht über Betriebsdaten und Systemdiagnosen auslesen. Mit den aufgezeichneten Daten lassen sich Informationen zu Maschinenleistungen in bestimmten Einsatzfällen ermitteln, die Wirksamkeit der vorbeugenden Wartung optimieren und auftauchende Probleme früher erkennen und damit rechtzeitig beheben. Neben verschiedenen Anzeigen aktueller Parameter kann der Bediener ein dreistufiges Warnsystem nutzen. Vom einfachen Leuchten einer Kontrollleuchte über das Blinken einer Warnleuchte bis hin zum Ertönen eines Warnsummers werden per VIMS gewonnene Daten für den Nutzer aufbereitet. Für den Fahrer bedeutet Stufe 3, das Einleiten des sofortigen Stopps des Fahrzeuges und die Beseitigung der

¹¹Der Einsatz von High-/Low-speed CAN hängt von der anfallenden Datenrate und den Forderungen an das Zeitverhalten ab. Natürlich spielen die Anschaffungskosten auch eine Rolle bei der Auswahl der embedded CAN Controllern für die jeweiligen Steuerungsnetze.

¹²Auch als CEMS Caterpillar Electronic Monitoring System bezeichnet

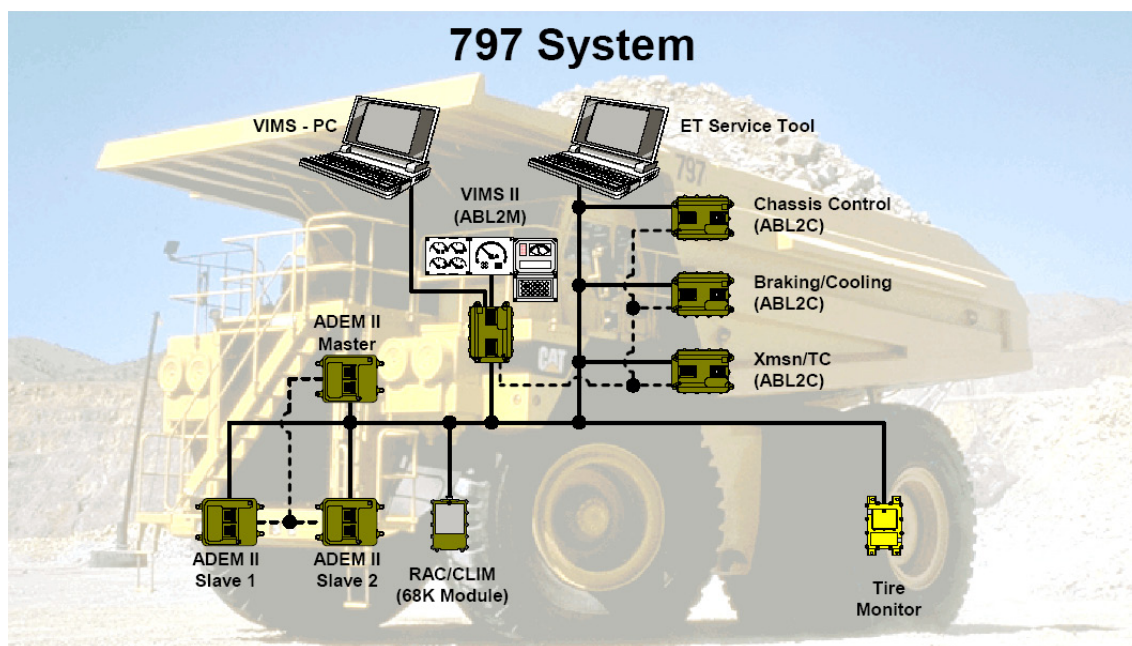


Abbildung 2.2: VIMS [2]

Fehlerursache. Auf den Bergbaumaschinen und großen Radladern sind zusätzliche Komponenten¹³ im VIMS integriert, die zur Bestimmung der Leistung und Produktivität der Maschine genutzt werden. Damit werden u.a. Belade-, Fahr- und Stillstandszeiten archiviert. Mit den Daten zu Lademengen und Leerfahrten kombiniert, werden diese Informationen in Form von Berichten und Diagrammen ausgegeben. Nach Vorstellung von Caterpillar soll mit Hilfe der Berichte eine intelligente Analyse der Abläufe möglich werden. Das wiederum führt zu besseren Entscheidungen, zu effektiverem Betrieb und damit letztendlich zu geringen Kosten pro geförderter Tonne Material. Neben dem Auslesen der Daten per Laptop bietet Caterpillar mit VIMSwireless ein System an, mit dem die Daten direkt per Funkübertragung versendet werden können. Dadurch lassen sich die Daten der Trucks die mit einem VIMSwireless ausgestattet sind, direkt für das Flottenmanagement nutzen. Außerdem entfallen die zeitaufwändigen Auslesevorgänge der VIMS-Daten per Laptop. Zur Speicherung der per Funk übertragenen Daten verwendet Caterpillar eine Datenbank der Firma Microsoft. Auch Caterpillar hat erkannt, dass die Aufzeichnung und Anzeige des Maschinenzustandes nur der Anfang einer Entwicklung sind. Der Fokus weiterer Forschungen und Produkte liegt auf der Umwandlung der Maschinenzustandsdaten in praktische anwendbare Wartungsinformationen.

2.1.3.3 Cummins CENSE (Engine Module) Real-Time Diagnostics

Die Firma Cummins bietet mit CENSE ein System an, das detaillierte Informationen zum Zustand und der Leistung des Antriebsmotors liefert. Damit kann auf Echtzeitbasis für jeden Zylinder der Bergbaumaschine eine Analyse und Prognose des aktuellen und weiteren Verhaltens gewonnen werden. Es besteht weiterhin die Möglichkeit diese Daten per Internet über die Seite www.MiningGateway.com berechtigten Personen zur Verfügung zu stellen.

2.1.3.4 Euclid-Hitachi's Contronics & Haultronics II

Das System CONTRONIC II von Euclid-Hitachi überwacht und diagnostiziert alle Onboard Systeme der Bergbaumaschinen dieser Firma. Dabei werden auch Untersysteme anderer Anbieter mit

¹³Truck Payload Monitoring System (TPMS)

eingebunden (z.B. Antriebssysteme der Firma Siemens). Per DataLink kann das System in vorhandene Minenmanagementsysteme integriert werden. Einfache Maschinenfunktionen und -zustände werden per LCD dem Fahrzeugführer angezeigt. In das Fahrzeugsüberwachungssystem ist das Nutzlastsystem HAULTRONIC II eingebunden. Mit diesem System werden Nutzlastdaten, Zykluszeiten, Distanzen und andere für Aussagen zur Leistungsfähigkeit der Trucks wichtigen Daten erfasst. Die Auswertung der gewonnenen Daten erfolgt auch bei diesem System zentral über Zusatzprogramme zum Minenmanagementsystem.

2.1.3.5 Komatsu's Vehicle Health Monitoring System

Bei Komatsu dient das Vehicle Health Monitoring System als zentrale Informationssammelstelle für alle Systemkomponenten. Über das VHMS werden alle Wartungsintervalle und Zustandsparameter (Temperatur, Druck, Geschwindigkeit von Einzelkomponenten) verarbeitet und angezeigt. Das System erstellt eigenständig Diagnosen und hilft mit seinem vorbeugenden Wartungsplaner, schwere Fehler zu verhindern. Wie bei allen vorgestellten Systemen kann auch beim Komatsu System ein Maschinenleistungsverlauf heruntergeladen werden. Eine Besonderheit ist die Track Shoe Slip Kontrolle. Dieses System ist eine Art Antischlupfregelung für Muldenkipper, damit wird eine längere Reifen- und Fahrweglebensdauer erreicht.

2.1.3.6 LeTourneau Integrated Network Control System

Der französische Hersteller von Minenfahrzeugen LeTourneau bietet ein Maschinenüberwachungssystem mit dem Namen LINC'S an. Das System überwacht und reguliert alle Subsysteme von der Hydraulik über die Elektrik bis zur Traktionskontrolle und Antriebsmaschine. Darüber hinaus bietet LINC'S Echtzeitzustandsmeldungen für den Maschinenoperator, Diagnosedaten für das Wartungspersonal und Produktionsdaten für den Minenmanager. Mit einem optional erhältlichen Funksystem können bestimmte Daten auch per Fernzugriff ausgelesen werden. Für Wartungsarbeiten können bis zu 64 Parameter simultan ausgelesen werden. Ähnlich dem System von Caterpillar kommt auch bei LeTourneaus LINC'S ein dreistufiges Warn- und Alarmkonzept zum Einsatz, das per Leuchten den Fahrer informiert¹⁴. Das System besteht aus 15 verteilten Modulen, jedes Modul in der Nähe des Einsatzortes, gesteuert durch das Master Manager System im Fahrerhaus und verbunden per CAN-BUS. Die Masterhardware besteht aus einem Pentiumprozessor mit bis zu 350 I/O Ports, sowie der nötigen Speicherkapazität für mehr als einen Monat Datenaufzeichnung. Die verteilten Module basieren auf 32-bit Prozessoren in druckwassergeschützten Gehäusen. Sie sind direkt mit den Sensoren und den Ausgängen der Antriebe verbunden.

2.1.3.7 Michelin's Earthmover Management System

Die harten Einsatzbedingungen von mobiler Technik beeinflussen auch einen sehr empfindlichen Teil der Großgeräte, die Reifen. Die Reifen verursachen beim Einsatz von mobiler Technik in Minen und Tagebauen einen erheblichen Teil der laufenden Kosten¹⁵. Die Betreiber streben für ihre Reifen Langlebigkeit und die optimale Ausnutzung der Lebensdauer, bei gleichzeitiger Betriebsgarantie der Reifen, an. Daher bieten alle Reifenhersteller für Großgeräte Überwachungssysteme für ihre Reifen an oder forschen in diese Richtung. Mit diesen Systemen kann während des Betriebes die Einhaltung wichtiger Parameter überwacht und aufgezeichnet werden. Einer der ersten Anbieter solcher Systeme war die Firma Michelin, die im Jahr 1999 ihr Michelin's Earthmover Management System (MEMS) erstmals auslieferte [29]. Das System besteht aus drei wesentlichen Bestandteilen.

¹⁴Blau für geplante Wartungsalarme oder einfache Erinnerungen, Gelb für Warnungen die Überprüfung bedürfen, sowie Rot für Bedingungen die einen sofortigen Stopp erfordern

¹⁵Reifenstückpreise von bis zu 50.000\$ und Anteil an den Truckgesamtkosten von bis zu 15% [28]

Den Reifensensoren (Tire Tags), der OnBoard Einheit und den mobilen und stationären Anzeigeräten. Die Tire Tags werden von Michelin direkt in die Luftkammern der Reifen eingebettet. Die Sensoren messen den im Reifen herrschenden Luftdruck und die jeweilige Betriebstemperatur. Die gewonnenen Daten werden an die OnBoard-Einheit gesendet. Dadurch sind die Sensoren sehr effizient in Bezug auf Energie- und Platzbedarf. Die Sensoreinheiten sind die gesamte Lebensdauer der Reifen einsatzbereit. Die Onboard-Einheit empfängt die per Funk¹⁶ übertragenen Signale der Reifensensoren und wertet sie entsprechend aus. Die Onboard-Einheit wird an der Unterseite des Fahrzeuges angebracht, um möglichst geringe Funkübertragungswege für die Reifensensoren zu ermöglichen (geringere Reichweite bedingt geringeren Sendeenergiebedarf und damit eine längere Lebensdauer der Sensorenergieversorgung). Die Sensordaten werden dann, mit dem jeweils in der Mine vorhandenem Funksystem an das übergeordnete Minenmanagementsystem verschickt. Der Operator kann aus den übermittelten Daten erforderliche Maßnahmen ableiten, die von der Änderung der Route des Fahrzeuges bis zur Stilllegung und Reparatur der Reifen reichen können. Zur Analyse der Daten dient u.a. das Managementwerkzeug Total Tire Control der Firma Michelin. Das Programm wertet die Reifendaten aus und erstellt daraus Berichte zur Kostenanalyse und zur Leistungsfähigkeit der Reifen. Neben der Einbindung in ein vorhandenes Minenmanagementsystem besteht die Möglichkeit der Nutzung einer Handheld Einheit zur Datenaufzeichnung und -auswertung. Der Einsatz des Systems ermöglicht laut Herstellerangaben eine Kostenreduzierung um bis zu 8% durch längere Wartungsintervalle, weniger Vorortmessungen und geringere Ausfallzeiten. Vor der Freigabe durch Michelin wurde das System in neun Minen in Nord- und Südamerika mit 22 Geräten über einen Zeitraum von drei Jahren entwickelt und getestet. Dabei wurde das System insgesamt 65,000 Stunden betrieben. Die Sensorenbetriebszeiten betragen insgesamt über 240,000 Stunden¹⁷.

2.1.3.8 Goodyears Intelligent Tire System

Goodyear bietet ebenfalls ein Reifenüberwachungssystem für große Reifengrößen an. Die Datenerfassung und -übertragung wird dabei von einem 7cm durchmessenden und 3,3cm dicken Sensor durchgeführt. Dieser, einem Hockeypuck ähnelnde, Sensor wird an der Innenseite beliebiger Reifen befestigt und misst die Temperatur und den Druck. Alle drei Minuten erfolgt eine Datenübertragung an den im Führerhaus montierten Empfänger. Um Energie zu sparen, aktiviert sich der Sensor nur bei Bewegung des Reifens. Durch einen Fliehkraftsensor wird der Schlafmodus verlassen und die Messung gestartet. Der Empfänger im Führerhaus speichert die Messdaten und sendet sie an das übergeordnete Minenmanagementsystem weiter¹⁸. Somit kann sowohl der Fahrer als auch der Operator im Leitstand sehen, wenn Reifen zu überhitzen drohen. Von Goodyear's Reifenüberwachungssystem befinden sich 200 Sensoren im Einsatz¹⁹. Mit EMTrackII bietet Goodyear ebenfalls ein Reifenmanagementsystem an, das die gesammelten Messdaten aufbereitet und nach den Erkenntnissen des Reifenherstellers bewertet bzw. gruppiert.

2.2 Minenmanagementsysteme

2.2.1 Allgemeine Abgrenzung

Moderne Minen sind komplexe Gebilde mit vielfältigen technischen Abläufen. Im Zusammenspiel der technischen Prozesse werden große Mengen verschiedenster Informationen einerseits generiert

¹⁶Die Übertragung erfolgt nach dem IEEE 802.11 Spreiz Spektrum Protokoll (spread spectrum protocol) [30]

¹⁷Nach einem Bericht des Worldmining Equipment Magazins [31] wurde das System bisher nur an das Minenmanagementsystem der Firma Modular Mining angeschlossen.

¹⁸Dazu wird ein Datenstrom an das mobile Erfassungsgerät des Minenmanagementsystems, das sich auch im Führerstand befindet, gesendet.

¹⁹Stand 01/2002

und andererseits benötigt. Nicht allein die Menge der Informationen sondern vielmehr die Güte und Aktualität der Daten beeinflusst die Effizienz der Managemententscheidungen. Die Effizienz und damit die Kosten des Minenbetriebs wiederum, bestimmen die Entwicklungsrichtung der gesamten Minengesellschaft. Die Förderkosten pro Tonne verkaufsfähigen Materials sind daher der Gradmesser für die Güte und technische Brillanz der Minenbetreiber und auch der Qualität des eingesetzten Minenmanagementsystems (MMS). Effizienzsteigerungen beim Management von Minen sind, ab einem bestimmten Automatisierungsgrad, nur durch den Einsatz weiterer oder durch Optimierung der vorhandenen technischen Mittel zu erreichen. Der Anteil von Beschäftigten ist bereits durch den Einsatz von Großgeräten auf ein Minimum reduziert. Die Steigerungsmöglichkeiten der Bedienerleistung bei der Arbeit mit Großgeräten, werden durch technische Hilfsmittel (z.B. CAES) für einzelne Maschinen ebenfalls ausgeschöpft. Steigerungspotential liegt hingegen in der minenweiten Optimierung von Prozessen und Abläufen. Als Konsequenz dessen, haben sich verschiedene Hersteller mit dem technischen Management von Tagebauen und Minen intensiv beschäftigt²⁰. Im Laufe der Jahre entwickelten eine Vielzahl von Unternehmen Managementsysteme, die auch in Minen eingesetzt werden können oder die speziell für den Mineinsatz entwickelt wurden. Minenmanagementsysteme gliedern sich in Teilsysteme, die hauptsächlich die folgenden Aufgabengebiete abdecken:

- Minen Layout- und Designplanung²¹
- Flottenmanagement
 - Dispatcherfunktionalität
 - Wartungsmanagement
- Environmental Management System²²
- Produktionsplanung (Langzeit- und Kurzzeitplanung)
 - Leistungsberichte und -überwachung
 - Qualitätsmanagement
- Maschinensteuerungssysteme (Bohrüberwachung²³/Planierersteuerung/-überwachung²⁴)

Alle Funktionen basieren auf der automatischen Erfassung und Verteilung von Informationen. Die Algorithmen zur effektiven Minenplanung und -steuerung haben sich die Herstellerfirmen über Jahre erarbeitet. In welcher Ausprägung ein MMS in einer Mine zum Einsatz kommt, hängt stark von den Zielen der jeweiligen Betreiber ab. Die bisherigen Anwender bescheinigen MMS so hervorragende Leistungen, dass zukünftig keine Mine mehr ohne entsprechendes System betrieben werden wird. Die rasante Entwicklung wird in den nächsten Jahren eine Fülle neuer Funktionalität in die MMS einbringen und damit einhergehend auch für die schnelle Verbreitung und eine steil ansteigende Zahl von Anwendungsfällen sorgen. Neben den etablierten Lösungen gelangen Produkte von Herstellern auf den Markt, die aus anderen Bereichen in dieses Segment drängen. Als Beispiel dafür sei das Mining Operation System (MOS) von INCO Limited erwähnt, das auch in diesem Kapitel kurz beschrieben wird. Für die Zukunft ist zu erwarten, dass verschiedene erfolgreiche Systemanbieter anderer Branchen ihre Lösungen für den Einsatz in Tagebauen und Minen anpassen. Dazu werden Partnerschaften mit kleineren Minenausrüstern geschlossen, um das nötige bergbauliche Wissen nutzen zu können.

²⁰Exemplarisch soll Modular Mining genannt werden. Dieses Unternehmen beschäftigt sich seit den späten 70iger Jahren mit der Entwicklung von Minenmanagementsystemen.

²¹Planung aus der technischen Sicht, das Grunddesign der Mine bestimmen Geologen anhand der erkundeten Lage Rohstoffvorkommens.

²²nach ISO 14000/14001 siehe dazu [32]

²³Einige Systeme bieten eine Bohrlochüberwachung und -vermessung per High-Precision GPS an.

²⁴Der Operator kann damit die Arbeitsfortschritte der Planiererraupen überwachen und steuernd eingreifen.

2.2.2 Modular Mining - IntelliMine

Für weltweit mehr als 100 Tagebaue hat Modular Mining Systeme zur Produktionssteigerung, mit Hilfe von Informationsmanagement, geliefert. Aufbauend auf das Produkt DISPATCH hat sich die Firma über viele Jahre kontinuierlicher Entwicklung einen weltweiten, hervorragenden Ruf erarbeitet. Alle Aspekte der Tagebauautomatisierung und -steuerung werden durch Systeme von Modular Mining abgedeckt. Entwicklungssysteme, Hard- und Softwarelösungen gehören ebenso zum Repertoire, wie Systeme zur Optimierung von allgemeinen Vorgängen des Tagebaualltagsgeschäfts. Der erste Prototyp eines MMS wurde in den 70iger Jahren in einer der Hauptminen der Southwestern Minengesellschaft installiert. Ausgehend von diesem Prototyp wurden die Systeme weltweit in Minen eingesetzt. Seit den 90iger Jahren werden die langjährige Erfahrung auch für den Einsatz in Untertageminen adaptiert. Zusammen mit Komatsu werden von Modular Mining seit Ende der 90iger Jahre kommerzielle Systeme zum fahrerlosen Truckbetrieb entwickelt. In wenigen Jahren werden solche Systeme einen weiteren Sprung in der Produktivität der Minen bedingen. Ähnliche Steigerungen brachte in den vergangenen Jahren nur der flächendeckende Einsatz von automatisierten Minenmanagementsystemen. Die Grundpfeiler des IntelliMine Minenmanagementsystem bilden High-Precision-GPS Anwendungen, moderne Funkkommunikationssysteme, webbasierte Berichte und Analysen. Folgende modulare Bestandteile können im Rahmen eines Modular Mining Minenmanagementsystems eingesetzt werden:

PowerView - Berichtssystem Berichtssystem das aus gesammelten Echtzeitdaten anpassbare Berichte für verschiedenste Bereiche der Betriebsführung generiert. Die Datenhaltung erfolgt in einer Datenbank auf Basis von Microsoft Produkten. Damit wird der Zugriff auf Daten für Drittanwender per ODBC ermöglicht. Die Daten werden nach minenspezifischen Bereichen gruppiert. Für den Fernzugriff auf Berichte durch autorisierte Nutzer kommen Internettechnologien zum Einsatz.

MasterLink - 2,4 GHz Spread Spectrum Funknetzwerk Ein Funksystem basierend auf einem 2,4 GHz DSSS Protokoll. Durch dieses Protokoll kann einerseits die realisierbare Reichweite heraufgesetzt und andererseits der mögliche Datendurchsatz erhöht werden. Bei kurzen Reichweiten sind damit bis zu $2^{Mbit/s}$ Datenrate möglich. Durch den höheren Datendurchsatz kann eine größere Anzahl mobiler Geräte in Echtzeit überwacht werden.

DISPATCH - Produktionsplanungssystem Teilsysteme für dieses Planungssystem sind²⁵:

- Hilfsgeräteplanung
- Mitarbeiterereinsatzplanung
- Betankungsplanung
- Bestandsreport
- Nutzlastanalyse
- Trainingsmodul

MineCare - Wartungsmanagementsystem Wartungssoftwaresystem zur Reduzierung von Kosten durch Wartung im Lebenszyklus der mobilen Technik. Per Fernzustandsüberwachung, Wartungsverlaufsdaten und Betriebsdaten werden dem Nutzer genügend Informationen bereitgestellt um ihm optimale Wartungsentscheidungen zu ermöglichen. Die Bereitstellung von Daten erfolgt auch bei MineCare über Webbrowser. Abnormale Betriebszustände werden vom System erkannt und dem Nutzer mitgeteilt. Weiterhin umfasst das Wartungsmanagement ein Expertensystem mit Fehlerursachen, -zuständen und Anleitungen zur Beseitigung.

²⁵Beschreibung der einzelnen Module unter [33]

ProVision - High Precision-GPS Systeme Eine ganze Anzahl von Subsystemen, die auf High-Precision-GPS Systemen basieren. Zusammen mit den Informationen aus den verschiedenen Minenplanungssystemen und den entsprechenden On-Board-Sensoren werden für den Bediener Informationen generiert, die über ein Display dargestellt werden. Über das jeweilige mineneigene Funksystem werden die Daten der Planer und Operatoren mit den Bedienern in Echtzeit abgeglichen. ProVision Systeme sind verfügbar für folgende Geräteklassen:

- Bohrergeräte (Bohrlochüberwachung)
- Planiergeräte (Überwachung von Arbeitsflächen)
- Bagger & Brecher (Abbaufeldüberwachung)
- Radlader
- Hilfsgeräte (Bewässerungssysteme)

2.2.3 Maptek's - MineSuite

Die australische Firma Maptek bietet mit MineSuite ein integriertes Produktions- und Leistungsanalyse Werkzeug an. MineSuite ist eine Zusammenstellung von Software- und Hardwaremodulen für die Bergbauindustrie. Alle wichtigen Produktionsschritte eines Minenbetriebs können durch den Einsatz von MineSuite unterstützt werden. Die durchgängige Sichtweise des Systems wird deshalb in der Produktrepräsentation als erstes Standard-„Mine-to-Market“-Informationssystem bezeichnet. Durch die Übernahme von ASI (Advanced Systems Integration) wurde das seit 1992 erforschte System 2001 von Wenco eingeführt²⁶ und weiterentwickelt. Als ASI Automation wird die übernommene Firma seitdem, als eigenständiger Zweig mit Telemetrie, Steuerungs- und Programmierungsprojekten und SCADA System Design- und Entwicklungsaufgaben weitergeführt. MineSuite erlaubt das Verfolgen, Überwachen, Steuern und die Berichterstattung von Geräten, Prozessen und Personal in Tagebauen und Minen. Auf die verfügbare Datengrundlage lässt sich auch ein Flottenmanagement aufsetzen. Mit der Anpassung an die jeweiligen Verhältnisse der Tagebaubetriebe können die Bediener mit dem Minesuite System effektivere Entscheidungen treffen und damit die Produktivität und Profitabilität steigern. Die Besonderheit des MineSuite Systems ist die Echtzeitdatenverarbeitung²⁷ zur Steigerung der Aktualität und damit der Nutzbarkeit der Daten²⁸. Über die Integration von MineSuite in das VULCAN System²⁹ können geplante Produktionsdaten mit den tatsächlich erreichten Werten verglichen werden. Für die Datenerfassung und Steuerung des Onboard-Displays setzt Maptek ein mikroprozessorbasiertes³⁰ Gerät, die Remote Processor Unit (RPU), ein. Neben den Standardschnittstellen für RS232 und RS485 bietet das Gerät Protokollunterstützung für Lade- und Maschinenmanagementsysteme und digitale I/O Ports. Spannungsüberwachung und Watchdogfunktionalität sind, ebenso wie die obligatorische EMV, bereits seit der Entwicklungsphase in der RPU integriert. Für die Datenübertragung zur Zentrale können Datenfunkgeräte³¹ oder auch die vorhandenen Sprechfunkgeräte verwendet werden. Das MineSuite Produktportfolio umfasst folgende Teilprodukte:

Materialverfolgung und -verteilung (product tracking and distribution)

Hardware (field electronics)

Anlagenüberwachung und -produktivität (plant production and monitoring)

²⁶Systeme sind in weltweit mehr als 500 Flotteneinheiten im Einsatz [34]

²⁷Real-Time Activity Based Mine Management (RTABMM) [35]

²⁸Besonders für den Einsatz eines übergeordneten Flottenmanagementsystems ist die schnelle Datenverfügbarkeit eine wichtige Voraussetzung.

²⁹3D Modellierung- und Minenplanungssoftware von Maptek

³⁰16bit CISC + 12bit RISC [36]

³¹Mit 4800 bis 115200 baud

Tagebaubetrieb (open cut operation)

Untertagebetrieb (underground operation)

Lagerverwaltung (Stockpile Management)

Fahrzeugkollisionswarnung (vehicle collision alert) Als eigenständiges System bietet Maptek ein Kollisionswarnungssystem auf Basis von Markierungssendern an. Mittels optischen und akustischen Alarmen werden die Fahrer der Großgeräte über kleinere Fahrzeuge in ihrer Umgebung informiert. Dieses System wird für Tagebau und auch für den Untertageeinsatz angeboten.

2.2.4 Wenco Mine Management System

Die Firma Wenco International Mining Systems bietet ihr Minenmanagementsystem Minesuite auf Basis von PCs und dem Windows Betriebssystem an. In diesem Segment ist die kanadische Firma weltweiter Marktführer. In Wenco Mine Management Paket werden GPS Anwendungen, Funkdatenübertragung, Computertechnologie und Softwareanwendungen kombiniert, um die Leistung und Verfügbarkeit der Technik in Tagebauen und Minen zu steigern. Die Systeme werden weltweit beim Abbau verschiedenster Rohstoffe eingesetzt. Die Angebotspalette reicht von einfacher Datenerfassung bis zu komplexen Algorithmen zur Steuerung und Optimierung der Flotten in den Minen. Die Wenco Mine Management Produktreihe besteht aus folgenden Komponenten, die alle Einsatzfälle im Tagebau abdecken³²:

Flottenmanagement & Dispatching Das System speichert automatisch Daten zu jedem Teil des Materialtransportzyklus. Für jede Ladung stehen damit eine Reihe von Informationen bereit³³. Bei Parametern die außerhalb der Spezifikation liegen, wird der Operator automatisch benachrichtigt. Alle Daten die die Aktivitäten der mobilen Geräte betreffen, werden an die Minenzentrale übermittelt und können dort direkt von Dispatchern überwacht werden. Für Leerlauf- bzw. Stillstandszeiten sind eine Reihe von Codes definiert, die diese Zeiten bestimmten Vorgängen zuordnen (z.B. Stillstand wegen Betankung, Schichtwechsel oder Pausenzeiten). Bei der Verteilung von Trucks unterstützt das System den Dispatcher. Es überwacht die benötigte Truckanzahl und meldet dem Bediener Situationen in denen mehr Trucks benötigt werden. Die Einsatzplanung der einzelnen Trucks wird ständig aktualisiert und an die Gegebenheiten angepasst. Dadurch werden Laderwartezeit und Truckleerfahrten minimiert.

Erzqualitätsüberwachung Im Rahmen der Qualitätsüberwachung des Wenco Systems können bis zu 20 Qualitätsparameter gespeichert und verwaltet werden. Diese Parameter werden für jede einzelne Fahrt vorgehalten. Anhand der, an der Beladungsstelle bestimmten (oder bekannten), Erzqualität werden die Parameter dem jeweiligen Truck und der jeweiligen Fahrt zugeordnet. Durch Überwachung aller Fahrten kennt das System die Materialqualität auch an den Brechern und den Lagerplätzen. Für bestimmte Qualitäten am Lagerplatz kann das System die Trucks so steuern, dass die benötigte Qualität geladen wird. Das Wenco System kann die Truckflotte nicht nur nach Produktivitätsgesichtspunkten optimieren, sondern auch nach der gewünschten Materialqualität. Bei zu guter Qualität des Fördergutes werden Truckladungen minderer Qualität zugemischt, um die in den Lieferverträgen festgesetzten Grenzen optimal auszuschöpfen und damit den größtmöglichen Ertrag aus den geförderten Massen zu erzielen.

Wartungsmanagement Wenco verbindet für das Wartungsmanagement die Bordsysteme mit dem Minenmanagementsystem. Die Maschinedaten, Reifendaten und Angaben der Wägesysteme

³²Angebotene Leistungen nach Angaben auf der Firmenwebseite. Siehe dazu [37]

³³Beispielsweise der Ursprung der Ladung, die Menge, beteiligte Lader, Bediener etc.

werden vom OnBoard-System gesammelt und in die WencoDB geladen. Für die Übertragung der Daten vom mobilen Gerät in die Zentrale werden Systeme auf Basis von UHF, Spreizspektrum und Wireless Lan angeboten. Sobald Maschinenparameter Alarmbereiche erreichen, werden automatische Meldungen generiert, die dem Bediener und/oder dem Dispatcher angezeigt werden. Die gesammelten Daten werden dann mittels eigener Applikationen ausgewertet und zur Steigerung der Produktion eingesetzt. Für das Reifenmanagement verwendet Wenco TireMax³⁴. Für die Bestimmung und Überwachung der Wartungszeitintervalle setzt Wenco den selbst entwickelten „Maintenance Time Manager“ ein. Er speichert auch alle anstehenden und durchgeführten Wartungsmaßnahmen und verschafft somit einen Überblick über den Wartungszustand und die Wartungsgeschichte jedes Trucks.

Raupenführsystem Dieses System unterstützt den Raupenbediener bei der Durchführung von anspruchsvollen Erdarbeiten. Zur Steigerung der erzielten Genauigkeit bei der Planung von geneigten Ebenen und planen Flächen wird das Raupenführungssystem angewendet. Durch den Einsatz von hochpräzisem GPS kann der Bediener in Echtzeit die Auswirkung seiner Arbeiten erkennen und entsprechend reagieren³⁵. Die Darstellung der Ergebnisse ist den kognitiven Bedürfnissen der Bediener angepasst und wird ständig nach neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen verbessert.

Bohrnavigation und Sensorüberwachung Die Bohrüberwachung stellt ebenfalls ein GPS basiertes Unterstützungssystem dar. Der gesamte Vorgang einer Bohrung wird, von der präzisen Bohrposition, über das korrekte Ausrichten des Bohrturmes, hin zur Darstellung der Abweichung vom geforderten Bohrloch unterstützt. Durch die konsequente Anwendung dieser Technologie kann die Zahl der notwendigen Nachbohrungen verringert werden. Die wichtigsten Parameter³⁶ der Bohrung werden aufgezeichnet und für spätere Auswertungen in der Datenbank abgelegt. Für den Bediener in der Zentrale besteht die Möglichkeit einer Onlineverbindung zum Bohrgerät, um die jeweiligen Informationen ebenfalls zu erhalten.

Berichtssystem Durch den Einsatz von Standardsoftwareprodukten³⁷ kann die vorhandene Funktionalität der Datenbank und der Auswertungen leicht erweitert und angepasst werden. Die zugrunde liegende Datenstruktur wird den Kunden offen gelegt, damit können Drittanbieter spezialisierte Lösungen für die jeweiligen Nutzer anbieten. Für den täglichen Einsatz bietet die WencoDB eine grafische Nutzerschnittstelle. Damit können auch komplexe Echtzeitdatenabfragen ohne Programmierkenntnisse vorgenommen werden. Daraus abgeleitete Berichte können gedruckt, gespeichert und in die Microsoft Office Produktfamilie importiert werden. Für den weltweiten Zugriff ist auch ein HTML-Berichtsgenerator integriert.

Support Neben den rein technischen Lösungen bietet Wenco im Rahmen des Minenmanagementsystems ein umfassendes Service-, Support- und Trainingsprogramm an. Kurze Reaktionszeiten und 24-stündige Verfügbarkeit kennzeichnen das Wenco Service Team. Während der Inbetriebnahme neuer Systeme werden die Bediener in alle Teile des Systems eingewiesen und in speziellen Kursen trainiert. Auf Wencos internationalen Kundenkonferenzen können Kunden aus aller Welt ihre Erfahrungen und Probleme austauschen und diskutieren. Wünsche und Anforderungen können so direkt an Wenco weitergegeben werden und in die Entwicklung neuer Produkte einfließen.

³⁴TireMax verwendet die selben Prinzipien, wie die in Kapitel 2.1.3 beschriebenen Systeme

³⁵Dem Bediener wird per Display angezeigt, ob er aktuell alle Parameter (Neigung, Richtung etc.) einhält.

³⁶z.B. Anzahl der Bohrungen, Umdrehungen, Drehmoment, Werkzeugdruck, Haltedruck, Vibrationen

³⁷Die WencoDB basiert wahlweise auf einer Oracle und/oder MS SQL Datenbank.

2.2.5 Micromine - PITRAM

Die australische Firma Micromine ist spezialisiert auf Softwareprodukte für die geologische Erkundung. Im Produktportfolio befindet sich aber auch ein Minenmanagementsystem - PITRAM. Im Gegensatz zu vielen anderen Anbietern liefert Micromine allerdings nur ein Softwaresystem, das Informationen aus anderen Quellen verwendet. Diese Konstellation hat den Vorteil, dass mit PITRAM auch Untertageminen überwacht und gesteuert werden können. Selbst eine Kombination aus Tagebau und Untertageabbau ist mit PITRAM vorstellbar. Die Datenerfassungshardware wird, wie bereits erwähnt, nicht angeboten, allerdings kann eine Vielzahl von Datenerfassungssystemen direkt angeschlossen werden, da die entsprechenden Schnittstellen in PITRAM integriert sind. Folgende Datenquellen können an PITRAM angebunden werden:

- Fahrzeug Lokalisierungssysteme auf Basis von GPS
- Maschinenüberwachungssysteme
- Wartungssysteme
- Zentrale Steuerungssysteme

Jedes ins System eingelesene Ereignis wird automatisch mit einem Zeitstempel versehen und kann sofort im Netzwerk weiterverwendet werden. Damit bildet PITRAM den jeweils aktuellen Minenzustand ab. Berechtigte Nutzer können anhand des Zustandes Entscheidungen treffen und auf gefährliche Situationen reagieren. Die gewonnenen Daten werden bei Micromine ebenfalls in eine Standard-Industrie-Datenbank abgelegt und verwaltet. Längerfristige Auswertungen sind, getrennt vom aktuellen Betrieb, jederzeit möglich. Ein Berichtssystem erlaubt die Erstellung angepasster Berichte aus den aufgezeichneten Datenbeständen. Damit lassen sich die Betriebsprozesse definiert belegen und Alarmsituationen nachweisen. Kostenanalysen der Minenfahrzeuge und -maschinen, Wochen- und Monatsstatistiken und Maschinenausfallzeiten und viele andere Berichte³⁸ lassen sich vom Berichtssystem automatisch erstellen. Die wichtigsten Informationen die das PITRAM System für die Dispatcher liefert, sind in der folgenden Auflistung zusammengefasst:

- Ereignisaufzeichnung mit
 - Schicht Start/Stop Zeitpunkte
 - Position aller Geräte
 - Transportierte Materialmenge
 - Fehlerursachen
 - Bohrmessdaten
 - Position von Materiallagern
 - Treibstofffüllstandinformationen
 - Aktueller Status der Maschinen
- Online Zustandsüberwachung für
 - Brecher
 - Kipper und Lader
 - Bohrgeräte
 - Servicefahrzeuge

³⁸Der Umfang des Berichtssystems wird in Zusammenarbeit mit dem Kunden individuell angepasst.

2.2.6 MineStar - (Caterpillar, Aquila Mining Systems, Mincom, Trimble Navigation Ltd.)

Das integrierte Mineninformationssystem MineStar ist aus der Zusammenarbeit der bedeutenden Minenausrüster Caterpillar und Aquila Mining Systems³⁹ mit dem Kommunikations- und GPS-Spezialisten Trimble⁴⁰ und dem Softwareexperten Mincom⁴¹ entstanden. Unter Führung von Caterpillar wurde 1998 eine enge Kooperation zur Weiterentwicklung der einzelnen Systeme unter dem Dach von MineStar gestartet. 2002 fand mit dem Joint Venture zwischen Caterpillar und Trimble dieser Konzentrations- und Kooperationsprozesse seine logische Fortsetzung [40]. Das System wurde offiziell zur MINExpo2000 vorgestellt. 2001 wurde MineStar bereits in 5 Minen weltweit eingesetzt⁴² und dabei eine Kosteneinsparung von bis zu 15 % erzielt. Das System bietet Maschinenzustand-, Produktivität und Bohrüberwachung ebenso wie Maschinen- und Materialverfolgung, CAES⁴³ und Truckauftragsplanung. Die Komponenten im Einzelnen sind:

MineStar - FleetCommander (Flottenmanagementsystem) Dient zur Optimierung des Fahrzeugbestandes einer Mine zur Steigerung der Produktivität und zur Minimierung von Leerfahrten und Wartezeiten. Für verschiedene Flottengrößen kann das System individuell angepasst werden.

MineStar - Production (Produktivitätsmonitoring) Liefert in Echtzeit Daten zur Produktivität einzelner Transportfahrzeuge oder Lademaschinen. Auf diesen Daten basierend können Optimierungsstrategien angewandt werden und die Verbesserungen können anhand von Datenmaterial belegt werden.

MineStar - Health (Maschinenzustandsüberwachung) Diese Komponente sammelt Daten über den Maschinen-/Flottenzustand. Die Daten werden direkt aus dem VIMS übernommen und in Echtzeit per Mobilfunk an die Zentrale verschickt. Aus den Daten werden automatisch Berichte erstellt, die dem Serviceteam übermittelt werden oder in der Produktionsdatenbank abgespeichert werden, um die Wartungsoperationen zu optimieren.

MineStar - Material Tracking (Materialverfolgung) Dieses System überwacht und verfolgt das bewegte Material. Dabei werden Art und Transportweg des Materials gespeichert und mit den Planungsvorgaben verglichen. Bei Abweichungen werden die entsprechenden Alarme generiert um Qualitätsverluste durch Fehler zu vermeiden.

MineStar - Machine Tracking (Maschinenverfolgung) Die Komponente Machine-Tracking erlaubt die Überwachung des Maschinenparkes. Für spätere Analysen werden alle Bewegungen der Maschinen gespeichert und ermöglichen damit die Auswertung und Optimierung von Fahrwegen in den Minen.

MineStar - Business Enterprise (Minenplanungssystem und ERP-Schnittstelle) Die Einbindung von Minenplanungs-, Echtzeitproduktions- und Maschinenzustandsdaten in ein übergeordnetes ERP-System erfolgt über das von Mincom entwickelte Teilsystem.

CAES/CAESultra (Erdarbeitenüberwachungssystem) Das von Caterpillar entwickelte System unterstützt den Maschinenbediener bei der Umsetzung seiner Aufgaben. Durch GPS und Computereinsatz wird der jeweils aktuelle Arbeitsstand erfasst und mit dem Optimum verglichen. Dem Bediener wird in Echtzeit ein 3D Modell angezeigt, anhand dessen er Bereiche

³⁹Weltmarktführer bei Bohrüberwachung, Steuer- und Leitsysteme für Tagebaue. [38]

⁴⁰Weltmarktführer für Navigationslösungen in Tagebauen und Minen [39]

⁴¹Spezialist für ERP und Minenplanungssoftware. Beteiligt mit dem Anschluss und der Integration von MineStar an das ERP System Mincom Ellipse.

⁴²in West-Australien, Nord-Amerika, Kanada, Kolumbien und Schweden. [41]

⁴³Computer Aided Earthmoving System siehe dazu Kapitel 2.4.5.1 zum CAES von Caterpillar

seines Arbeitsraumes erkennt, die noch der Bearbeitung bedürfen. Spätere Nachbearbeitung aufgrund von fehlerhaften Planier- und Ladearbeiten entfallen deshalb mit diesem Zusatzsystem. Trotz der Kosten von bis zu 100.000 Dollar pro CAES rentiert sich der Einsatz bereits nach 3 bis 6 Monaten [42].

Aquila Drill Management (Bohrüberwachung und -steuerungssystem) Wie die vergleichbaren Systeme anderer Hersteller überwacht und speichert das System die wichtigsten Parameter einer Bohrung und generiert im Bedarfsfall Alarmmeldungen.

Die ständige Weiterentwicklung der MineStar Produktpalette sichert, dass immer die modernste Technologie in das System einfließt. Für die OnBoard Einheiten verwendet Caterpillar zurzeit eine Embedded-Variante von Microsoft-NT. Für die Kommunikation wird seit kurzem wahlweise auch eine IP-basierte Lösung angeboten. Diese Beispiele zeigen, dass die MineStar Allianz auf allen Gebieten der Entwicklung aber auch beim Einsatz neuer Technologien im Bergbau führend ist.

2.2.7 International Mining Technologies (IMT)

Die australische Firma hat den Anspruch, innovative Produkte und Sicherheitslösungen für die Bergbauindustrie zu entwickeln und zu vertreiben. Die Produktpalette umfasst:

Voice Commander System (OnBoard Datenerfassungs- und -ausgabesystem) Die Innovationsfähigkeit der Firma zeigt sich beispielsweise im Voice Commander System. Dieses System verbindet Spracherkennung und -generierung mit einer OnBoardeinheit, wie sie auch andere Hersteller für die Datenerfassung verwenden. Technische Daten [43]:

Digital Ausgänge: 6	Digital Eingänge: 8
Analog Eingänge: 2	Frequenz Eingänge: 4 (max 20kHz)
Sprachausgang: 1	RS232-Schnittstellen: 3
Leistungsaufnahme: 850mW	Einsatzbereich: - 10°C bis +60°C

TracMate Equipment Manager (Flottenmanagementsystem) Der TracMate Equipment Manager (EM) ist ein Maschinenpositions- und -zustandsüberwachungssystem. Die bidirektionale Kommunikation mit der Zentrale wird über eine Satellitenfunkverbindung ermöglicht. Der Vorteil dieser Lösung ist die weltweite Erreichbarkeit der Maschinenüberwachung. Diese Art von Kommunikationsverbindung erzeugt aber mehr Verbindungskosten, als die üblicherweise verwendeten lizenzfreien Funksysteme. Deshalb ist im Standardausbau nur eine Funkverbindung zum mobilen Gerät pro Tag vorgesehen. Selbstverständlich können zu jeder Zeit Verbindungen aufgebaut werden (um etwa in Not- oder Störungsfällen wichtige Daten vom Gerät zu erhalten), die dann aber Extrakosten verursachen. Das System kann so konfiguriert werden, dass es selbstständig im Alarmfall oder wenn es ein bestimmtes Gebiet verlässt⁴⁴ eine Verbindung in die Zentrale aufbaut. Neben der notwendigen OnBoardUnit (Voice Commander) wird in das mobile Fahrzeug ein Satellitenmodem eingebaut.

Vital Data Link System (Kommunikationssystem) Mit VDL bietet IMT ein Komplettpaket zur Funkverbindung von mobilen Geräten [44]. Dabei verwendet das System einen lizenzfreien Funkbereich⁴⁵. Die maximal erreichbare Datenrate liegt in diesem Frequenzband bei 115Kbit/s . Mit speziellen Antennen sind Punkt-zu-Punkt Verbindungen mit Reichweiten von bis zu 30km möglich.

⁴⁴Funktion wird als TracMate-Geo-Fencing angeboten.

⁴⁵Frequenzbereich: 915-928 MHz (Australien), 902-928 MHz (Nord-Amerika), 921-929 MHz (Neuseeland)

MineMate Collision Avoidance System (Kollisionswarnsystem) Der Kollisionswarner ist ein vollautomatisches System für den Einsatz in Tagebauen oder Untertage. Mit dieser Anlage können sowohl mobile als auch stationäre Maschinen und Personen geschützt werden.

MineMate Remote Pack (Sicherheitssystem für ferngesteuerte Maschinen) Dieses System schützt die Bediener und Maschinen bei ferngesteuerten Vorgängen. Das System bestimmt die Position der gesteuerten Maschinen und die Position des Bedieners. Unterschreitet der Abstand zwischen den beiden eine Warngrenze, wird ein akustischer Alarm ausgelöst. Bei Eindringen von Personen in die Gefahrenzone⁴⁶ wird die Maschine automatisch angehalten. Nicht nur der Bediener, auch andere Personen können von diesem System geschützt werden. Dazu müssen sie eine Weste tragen, die mit einem Positionssender versehen ist. Damit sinkt das Risiko von Zusammenstößen mit ferngelenkten Maschinen auf ein absolutes Minimum.

Automatic VIMS Reporting System (AVRS) (Maschinenüberwachungssystem) Maschinen- und Zustandsüberwachung für Caterpillar Fahrzeuge wird durch das AVR System auch in der Zentrale verfügbar. Dazu wird das bordeigene VIMS⁴⁷ mit dem VDL von IMT verbunden. Dadurch kann der Operator in der Zentrale die gesammelten Daten per Funk abfragen. Er muß die Daten nicht mehr an der Maschine herunterladen. Anstehende Alarme werden direkt an den Bediener weitergeleitet.

2.2.8 IMS - Integrated Mining Systems - (Gemini Positioning Systems, Thunderbird Mining Systems, Tritronics)

Der Konkurrenzdruck führt auch auf dem Gebiet der Minenmanagementsysteme zu Firmenkonzentrationen. Die 3 Firmen (Gemini Positioning Systems, Thunderbird Mining Systems, Tritronics) bieten unter dem Namen IMS - Integrated Mining Systems Lösungen für die Tagebauindustrie an. Durch die Erfahrungen der einzelnen Firmen kann ein großes Leistungsspektrum im Bereich Überwachung und Navigation für mobile Industriegeräte abgedeckt werden. Die Lösungen basieren auf Standard Kommunikationssystemen, GPS Komponenten, Industriedatenbanken und entsprechenden Hardwaregeräten.

Flottenmanagementsystem Die Firma Tritronics liefert ein Echtzeitflotteninformationssystem im Rahmen des IMS Verbundes an die Kunden. Das System sammelt per Mobilfunk Daten von Kippern und Ladern sowie von einer Vielzahl von Hilfs- und Unterstützungsfahrzeugen. Die Position der Geräte wird durch den Einsatz von GPS bestimmt und ebenfalls an die Zentrale übermittelt. Der Anschluss an andere OnBoardgeräte ist vorgesehen und so gewonnene Daten können vom FMS übernommen werden. Über einen separaten Touch Screen können dem Fahrer zusätzliche Informationen (z.B.: Materialtyp, Arbeitsgang, Verzögerungs- und Fehlercodes) angezeigt oder von ihm in das System eingegeben werden. Aufbauend auf die Fahreingaben wird die Materialverfolgung automatisch aktualisiert und alle relevanten Ereignisse werden aufgezeichnet. Die Wartung und das Update der mobilen Geräte kann per Funkmodem von der Zentrale aus gestartet bzw. durchgeführt werden.

Bohrinformationssystem / -navigation Die Firma Thunderbird ist spezialisiert auf den Bereich der Bohrüberwachung und -steuerung. Seit den frühen 80iger Jahren werden modular erweiterbare Systeme vertrieben. Die Basis jedes Systems ist der DEI (Drilling Efficiency Indicator). Diese Komponente liefert dem Bediener eine Reihe wichtiger Bohr- und Überwachungsparameter. Durch Datenlogger, zusätzliche Sensoreinheiten⁴⁸, Anzeigen und die Datenübertragungseinheit kann das Grundsystem ergänzt und erweitert werden.

⁴⁶Die Radien der Gefahren- und Warnzone können angepasst werden.

⁴⁷Siehe dazu Kapitel 2.1.3.2

⁴⁸u.a. mit hochpräzisiertem GPS

Bagger- und Laderüberwachung Seit 2003 können neben Baggern auch Lader von einem Tritronicsystem überwacht werden. Das System kann als Standaloneanwendung betrieben oder mit dem FMS oder Dispatch System gekoppelt werden. Die Bestimmung der Materialmenge und des Volumens wird automatisch vorgenommen und zusammen mit Daten über Lade-, Ausfall- und Reparaturzeiten gespeichert. Durch den Einsatz von RTK-GPS kann die Genauigkeit der Entladevorgänge gesteigert werden, da der Bediener jederzeit seine exakte Position in der Mine kennt. Die Kommunikationsverbindungen der mobilen Einheiten zum Server werden über Standardfunkkomponenten aufgebaut. Wahlweise kann auf ein UHF- (450-475MHz) oder ein Spreizspektrumverfahren⁴⁹ zurückgegriffen werden. Der zentrale Funkserver wird mit Microsoft Windows 2000 betrieben. In bestimmten Systemkonfigurationen ist, neben der schnurlosen bidirektionalen Informationsübertragung als höherwertiger Dienst, der Versand von Emails innerhalb des Netzwerkes integriert. Alle Datenbanken für die verschiedenen Teilprodukte sind auf Microsofts SQL 2000 Server aufgesetzt. Eine Vielzahl von Standardberichten wird mit dem jeweiligen System geliefert. Für weitere Berichte kann Thunderbird oder Tritronics Anpassungen vornehmen. Durch den Einsatz von Microsoftprodukten soll die Einarbeitungszeit neuer Nutzer minimiert und den Bedienern ein einfacher Zugang zu den Wartungs-, Personal- und Managementinformationen gewährt werden.

2.2.9 INCO - Mining Operation System (MOS)

Im Jahre 1996 startete INCO Limited⁵⁰ ein Entwicklungsprogramm zum Thema Minenautomatisierung, das „Mining Automation Program“ (MAP). Das Hauptaugenmerk der Entwicklung lag auf der Erstellung eines Systems zur Fernsteuerung von Untertagegeminprozessen.

Die wichtigsten Aufgabenbereiche zur Untertageautomatisierung sind:

- Untertagetelekommunikationssysteme
- Positions- und Navigationssysteme
- Prozesstechnik
- Überwachungs- und Steuerungssysteme
- Verbesserte Minenmaschinen

MAP - Technische Bestandteile

Breitbandkommunikationssystem Für die Datenübertragung wird auf jeder Sohle einer Mine eine 2,4GHz Funkzelle eingerichtet. Dazu wird ein „Distributed Antenna Translators“ (DAT) - Empfänger mit vier 600m langen Koaxkabeln an das Computersystem angeschlossen. Damit entsteht ein 1,2km durchmessendes Gebiet, in dem Daten-, Sprach- und Videodienste per Funk übertragen werden können.

Position und Navigation Da Funkwellen sehr stark vom Erdboden gedämpft werden und ihn praktisch überhaupt nicht durchdringen, konnten System wie das GPS nicht für die Positionsbestimmung genutzt werden. Daher entwickelte Inco ein Untertagenavigationssystem auf Basis eines Inertialsystems. Die HORTA (Honeywell Ore Retrieval and Tunneling Aid) Einheit kombiniert Gyroskope und Beschleunigungssensoren zur Bestimmung der genauen Position. Zusätzlich ist ein Laserscanner integriert.

⁴⁹Für den Betrieb im Zulassungsgebiet der Federal Communications Commission (FCC) ist dafür das 900MHz Band vorgesehen.

⁵⁰Zusammen mit Tamrock OY, Dyno Nobel and CANMET

Im Jahr 2000 wurde der Öffentlichkeit das erste Prototypsystem vorgestellt [45]. Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene ferngesteuerte Bohr- und Ladefahrzeuge entwickelt, die unter der Produktbezeichnung Telemineing vertrieben werden. Die Bedeutung der teilweise verwirklichten Vorstellung eines automatisierten Minenbetriebes durch Bediener, die Übertragung die Geräte fernsteuern, wird von einigen Ingenieuren bereits mit Meilensteinen der Industriegeschichte, wie der Fließbandarbeit oder dem Computer, verglichen [37]. Aus dem erfolgreichen Untertage Telemineing Projekt entwickelte INCO auch eine Systemvariante für den Übertragungseinsatz. Das Mining Operation System (MOS) ist ein umfangreiches Prozessüberwachungssystem, das Informationen über fernbediente Minenprozesse sammelt und entsprechend verteilt. Die Operatoren können diese Informationen mit dem Minenlayout und anderen Echtzeitprozessdaten kombinieren. Neben der Echtzeitdatenverarbeitung besteht die Möglichkeit, die Effizienz bestimmter Prozesse nachträglich zu bestimmen. Mit diesen Daten können Systemingenieure Prozessschritte optimieren und die Prozessvariationen durch bessere Steuerung verringern. Bestimmte Prozesse und Abläufe können von Bedienern mit Notizen versehen werden, um für spätere Auswertungen durch Bergbauingenieure wichtige Zusatzinformationen zu liefern. Über die Notizfunktion können auch Anweisungen an das Servicepersonal weitergegeben werden.

2.3 Logistik

Für die Einordnung des gesamten Themenkomplexes ist die Beschreibung der Begriffe Logistik und der darin eingebetteten Flottenmanagementsysteme von Bedeutung. Die European Logistics Association (ELA) definiert Logistik wie folgt [46]:

„Logistik ist die Organisation, Planung, Kontrolle und Durchführung eines Güterflusses von der Entwicklung und vom Kauf durch die Produktion und die Distribution bis zum endgültigen Kunden mit dem Ziel der Befriedigung der Anforderungen des Marktes bei minimalen Kosten und minimalem Kapitalaufwand.“

In ähnlicher Weise führt das Deutsche Institut für Normung in [47] aus:

„Gesamtheit der Aktivitäten zum Herstellen, Sichern und Verbessern der Verfügbarkeit aller Personen und Mittel, die Voraussetzung, begleitende Unterstützung oder Sicherung für Abläufe innerhalb eines Systems sind.“

Anhand der Art des Güterflusses kann der Begriff Logistik weiter verfeinert werden, man unterscheidet:

F&E Logistik Engineering, Konstruktion & Entwicklung, Werkzeuge

Produktionslogistik Lager- und Transportsysteme, Fabrikplanung und -layout

Distributionslogistik Verteilungssysteme, Wartungs- und Servicesysteme

Entsorgungslogistik Lager- und Transportsysteme

2.3.1 Verkehrslogistik

Der Bereich der Verkehrslogistik beschäftigt sich mit der Beförderung von Objekten⁵¹ (Personen oder Gütern). Dabei sind die zu optimierenden Parameter die Geschwindigkeit der Beförderung und die Qualität. Da Verkehr grundsätzlich mit Kosten verbunden ist, besteht weiterhin die Forderung nach Vermeidung von Verkehr. Im Umfang immer kleiner gestückelte, zu transportierende Einheiten

⁵¹Definition in Anlehnung an [48, 49]

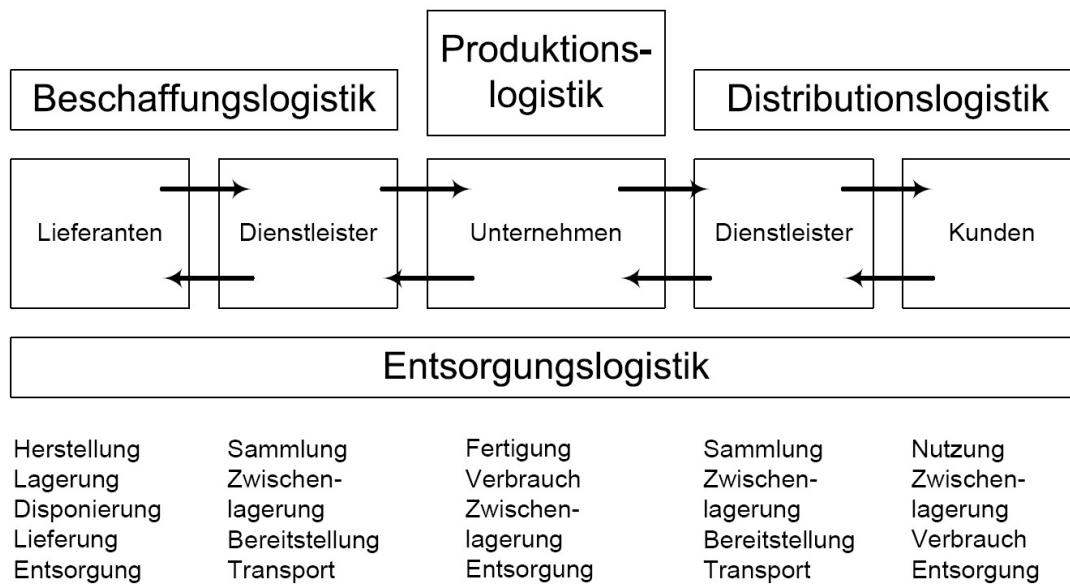


Abbildung 2.3: Gliederung der Logistikbereiche eines Unternehmens [3]

bis hin zu Einzelstücken, die Anforderungen an die Bereitstellung von Material durch Just-in-Time Produktion und immer kürzere Lieferintervalle bestimmen die Forschungs- und Entwicklungsbemühungen des Bereiches der Verkehrslogistik. Neben der innerbetrieblichen Optimierung beschäftigt sich Verkehrslogistik auch mit der Verbesserung des überbetrieblichen Verkehrs. Die Lenkung von Verkehrsströmen im öffentlichen Verkehrsraum und die damit einhergehende notwendigen Anpassungen des Verkehrswegenetzes bilden den zweiten großen Bereich der Verkehrslogistik. Für die Bereitstellung und Durchführung von logistischen Prozessen werden in großem Maße Fahrzeuge benötigt. Das Management der Fahrzeugflotten eines Unternehmens wird mit Hilfe von Flottenmanagementsystemen realisiert bzw. unterstützt.

2.3.2 Flottenmanagementsysteme (FMS)

Die Aufgaben eines FMS umfassen mehr als nur das, oft als einziges betrachtete, Steuern von Fahrzeugflotten. Die vielfältigen Aufgaben eines Flottenmanagements lassen sich in folgende untergeordnete Teilbereiche klassifizieren:

Transportmanagement Management aller Vorgänge zur Erfüllung der grundlegenden Aufgaben von mobiler Technik, dem Transport von Materialien in Abhängigkeit von entsprechenden Aufträgen, in Tagbauen. Diese *materialorientierten Dienste* erlauben Verbesserungen auf der Ertragsseite, alle anderen Teilaspekte des FMS führen zu Kosteneinsparungen und damit Verbesserungen auf der Kostenseite. Einzig beim Transportmanagement können durch rechtzeitige Erfüllung von Aufträgen oder Vergrößerungen der transportierten Materialmenge größere Erträge erzielt werden.

Verkehrsmanagement Die Optimierung von Prozessen, die in direktem Zusammenhang mit der Bewegung der Fahrzeugflotte stehen, wird unter dem Punkt Verkehrsmanagement zusammengefasst. Diese *flottenorientierten Dienste* dienen zur Umsetzung der Aufgaben, die durch die Anforderungen des Transportmanagement generiert werden. Der optimale Einsatz der vorhandenen Fahrzeuge und die Reduzierung der durch den Fahrzeugverkehr auftretenden Kosten ist das Ziel der Aufgaben dieses Teilbereiches.

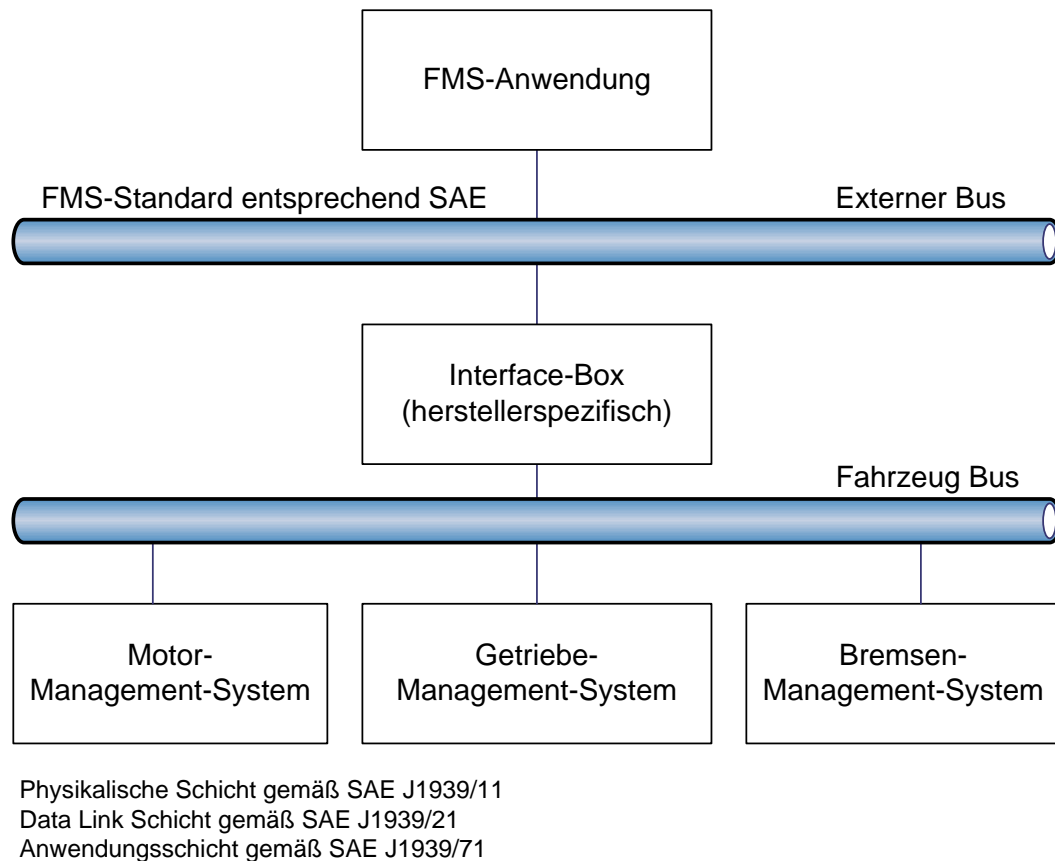


Abbildung 2.4: Schematische Darstellung der Kommunikation über die FMS-Standard-Schnittstelle [4]

Fahrzeugmanagement Der Betrieb und die Unterhaltung von Fahrzeugen bedeuten eine Reihe von Aufgaben die durch den Einsatz von Informationssystemen optimiert werden können. Diese *fahrzeugorientierten Dienste* erlauben in Abhängigkeit der Fahrzeuggröße und damit Kosten, verschiedene Stufen von Optimierungen. Insbesondere im mobilen Tagebaueinsatz mit den hochpreisigen Fahrzeugen rentieren sich Fahrzeugmanagementlösungen schon nach kurzer Zeit, da das erzielbare Einsparungspotential erheblich ist.

Bedienermanagement Auch in der modernsten Mine arbeiten immer noch eine Vielzahl von Bedienern und anderen Personen die in Kontakt zur mobilen Technik stehen. Alle Informationen und Dienste die diese Personen zur Erfüllung ihrer Aufgabe benötigen werden unter dem Bedienermanagement Bereich des FMS zusammengefasst. Diese *personenorientierten Dienste* führen in erste Linie zur Steigerung der Sicherheit der Abläufe mit Personenbeteiligung. Die Übermittlung von Aufgaben und Unterstützung bei der Erfüllung ebendieser, ist ein weiterer zentraler Bestandteil von FMS.

Zur herstellerübergreifenden Lösung der Aufgaben des Flottenmanagement wurde von führenden europäischen LKW Herstellern im Jahr 2000 die Standardisierung von FMS begonnen. Unter Federführung der ACEA wird der FMS-Standard [50] seitdem weiter betreut, außerdem wurde darauf aufbauend ein BUS-FMS-Standard entwickelt, der sich spezifisch an Bushersteller richtet.

2.3.3 Übersicht über kommerzielle Flottenmanagementsysteme

Der Strukturwandel in der Speditions- und Logistikbranche wurde durch verschiedene neue Technologien und Ansätze (Supply Chain Management, UPIK⁵², eLogistics, Digitale Signaturen⁵³, Verteiltes Lernen⁵⁴ und CRM) in den letzten Jahren stark beschleunigt. Zusammen mit der zunehmenden Globalisierung und dem starken Preisdruck steigen die Bereitschaft und zugleich die Notwendigkeit in moderne Informations- und Kommunikationstechniken zu investieren. Der Markt für Flottenmanagement- und -telematiksysteme trägt diesen Forderungen Rechnung und bietet ein breites Produktportfolio von der lückenlosen Datenerfassung, über den Kontakt zum Büro, hin zu weiteren Dienstleistungen für die Systembetreiber. Ziel der Angebote ist die vollständige Integration der Fahrzeuge in die Logistikprozesse eines Unternehmens. Für die Kunden stellt sich vor allem die Frage nach der Investitionssicherheit. In diesem Zuge werden vor allem große oder nach DIN-ISO 9001 zertifizierte Lösungen bevorzugt. Wichtig ist dabei auch die Zulassung der im Fahrzeug eingebauten Geräte durch das Kraftfahrtbundesamt (e1-Kennzeichnung). Der GATS (Global Automotive Telematics Standard [54]), nur von wenigen Anbietern umgesetzt, wird in Zukunft mehr Bedeutung erlangen, wenn die Fahrzeughersteller die Endgeräte serienmäßig in die Fahrzeuge integrieren. Bei den Kommunikationsendgeräten herrscht hingegen Einigkeit. Die überwiegende Mehrzahl der Anbieter setzt auf GSM/GPRS und bietet die Möglichkeit, später auf ein UMTS System umzusteigen. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei den realisierten Schnittstellen. Hier bieten alle Hersteller RS-232 Schnittstellen, digitale Ein- und Ausgänge und CAN-Schnittstellen an. Wesentlich für einen dauerhaften Einsatz ist auch die Möglichkeit eines Fernupdates der Firmware, um Neuerungen und Sicherheitsupdate einspielen zu können, ohne das Fahrzeug in eine Werkstatt zu bestellen.

⁵²UPIK (Unique Partner Identification Key) ist ein Projekt des VDA in Zusammenarbeit mit Dun & Bradstreet zur weltweiten Identifikation aller Unternehmen, Standorte und Werke der Automobilindustrie [51].

⁵³z.B. für die sichere Identifikation von Fahrzeugen. Siehe dazu [52]

⁵⁴Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung [53]

Anbieter-name	AIS	Alcatel	Blaupunkt	Comroad AG	ProTime	ICS	Datensysteme
Rechtsform	GmbH	GmbH	GmbH	AG	GmbH	GmbH	GmbH
Stammkapital (Euro)	82.000	750000	k.a.	20 Mio.	67900	k.a.	k.a.
DIN-ISO 9001	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
KBA zugelassen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	k.a.	k.a.
Referenzen	IDS-Gruppe, Planzer	Willi Betz, Hoyer	k.a.	Unilever, Cola	BTZ, Bin-del&Hofffeld	Iveco	Iveco
GATS	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein
Datenbank	Sybase	Oracle	k.a.	Sybase	Oracle	Interbase	Interbase
CAN-BUS	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Ausfallschutz	Watchdog	Doppelte Komponenten	Watchdog	Zwischenspeicher	Ja (Selbstdiagnose)	Ja (Zwischenspeicher)	Ja (Zwischenspeicher)
(GPRS, UMTS)	Ja	nein	nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Ortungsfunktion	Einzel / Intervall / Ereignis	Intervall / Ereignis	Einzel / Intervall / Ereignis	Einzel / Intervall / Ereignis	Einzel / Intervall / Ereignis	Einzel / Intervall / Ereignis	Einzel / Intervall / Ereignis
On/Off Zündung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Fernupdate	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Anbietername	Datafactory AG	Eurotelematik AG	FUGON	GAP AG	Gedas Telematics GmbH	Vodafone Passo GmbH
Rechtsform	GmbH	AG	GmbH	AG	GmbH	GmbH
Stammkapital (Euro)	82.000	75000	3001500	102258	5400000	k.a.
DIN-ISO 9001	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
KBA zugelassen	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja
Referenzen	DRK, Trans-Euro-Log.	Deutsche Post, Berger	Spedition Iwanter	RDC Concrete	Stratex Logistics	Schenker Deutschland
GATS	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja
Datenbank	Sybase	Oracle	MS Access	Sybase	k.a.	Oracle
CAN-BUS	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja
Ausfallschutz	Ja	Ja (Mailbox)	Ja	Ja	Ja	Ja (eigener Server)
(GPRS, UMTS)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	k.a.
Ortungsfunktion	Einzel / Intervall / Ereignis	Einzel / Intervall / Ereignis	Einzel / Intervall / Ereignis	Einzel / Intervall / Ereignis	Intervall / Ereignis	
On/Off Zündung	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja
Fernupdate	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Tabelle 2.1: Vergleich von Flottenmanagementsystemen

2.4 Telematik

Der Begriff Telematik ist ein Kurzwort aus Telekommunikation und Informatik [55], das bereits Ende der 70iger Jahre entstand. Es wurde durch Simon Nora und Alain Minc eingeführt. 1978 schrieben sie in [56]:

Die wachsende Verflechtung von Rechnern und Telekommunikationsmitteln, die wir Telematik nennen, eröffnet einen völlig neuen Horizont. [...].

Allgemein ist Telematik ein Oberbegriff für alle Anstrengungen zur Integration von meist digitaler Kommunikationstechnik und Aspekten der Informationstechnik. Im täglichen Umgang wird der Begriff für eine Vielzahl höherwertiger Kommunikationsdienste (Mehrwertdienste) verwendet und stellt ein eigenes Forschungsgebiet der Informatik dar, das aber auch von anderen wissenschaftlichen Bereichen adaptiert wird⁵⁵. Die zunehmende Mobilität der modernen Gesellschaft kann und wird durch technische Systeme unterstützt. Im Informationszeitalter wird die Verfügbarkeit von Daten durch verschiedenste mobile Anwendungen sichergestellt. Diese komplexen technischen Systeme gründen ihre Funktionalität auf die Wechselwirkungen von Informationen zwischen mobilen und infrastrukturellen Komponenten. Daher sind verteilte bzw. mobile Anwendungen und Anwendungssysteme auf Methoden der Telematik angewiesen (z.B.: Methoden zur Interprozesskommunikation oder formale Methoden zur Netzanalyse). Die abstrakte Beschreibung der Funktionalität von Telematiksystemen führt zu dem Begriff Telematikdienst. Die Definition von Telematikdiensten erleichtert die Abgrenzung einzelner Telematikteilbereiche (z.B. Verkehrstelematik).

2.4.1 Verkehrstelematiksysteme

Telematikdienste die Informationen, die im Zusammenhang mit Verkehrssystemen generiert werden, verwenden, werden unter dem Begriff Verkehrstelematiksysteme zusammengefasst. International werden diese Systeme als „Intelligent Transport Systems (ITS)“ bezeichnet. Von besonderer Bedeutung für Telematikanwendungen sind die Ortungstechnik, die Identifikationstechnik, geografischer Informationssysteme und leistungsfähige stationäre und mobile Telekommunikationssysteme [57]. Die Verbindung von Telematikelementen, mobilen Fahrzeugen und stationären Verkehrseinrichtungen ist die zentrale zukunftsweisende Aufgabe der Verkehrstelematik [58]. Ziel der Telematikvorhaben ist die Reduzierung der negativen Auswirkungen des Verkehrs, angefangen bei Kostensenkungen bis hin zur Reduzierung des Verkehrsaufkommens selbst [59]. Daher sind die Methoden der Telematik die Grundlagen für alle Transportlogistiksysteme, insbesondere die Positionsbestimmung und die Telekommunikation. Die Vernetzung von Produktionsprozessen und Just-in-Time Produktion könnte ohne Verkehrstelematik nicht funktionieren [60]. Von dem Einsatz der Verkehrstelematik erwartet man im Allgemeinen eine:

- Bessere Ausnutzung der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur
- Verbesserte Verknüpfung der verschiedenen Verkehrsträger
- Verringerung des Verkehrs durch Einsparung von Fahrten (Telearbeit, Streckenoptimierung)
- Geringere Umweltbelastung durch sinkende Schadstoff- und Geräuschemissionen
- Senkung der verkehrsinduzierten Kosten
- Steigerung der Verkehrssicherheit

Angelehnt an [61] können Verkehrstelematiksysteme anhand ihrer Kommunikationsfähigkeiten wie folgt klassifiziert werden:

⁵⁵z.B.: als Verkehrstelematik im Bereich der Verkehrswissenschaften

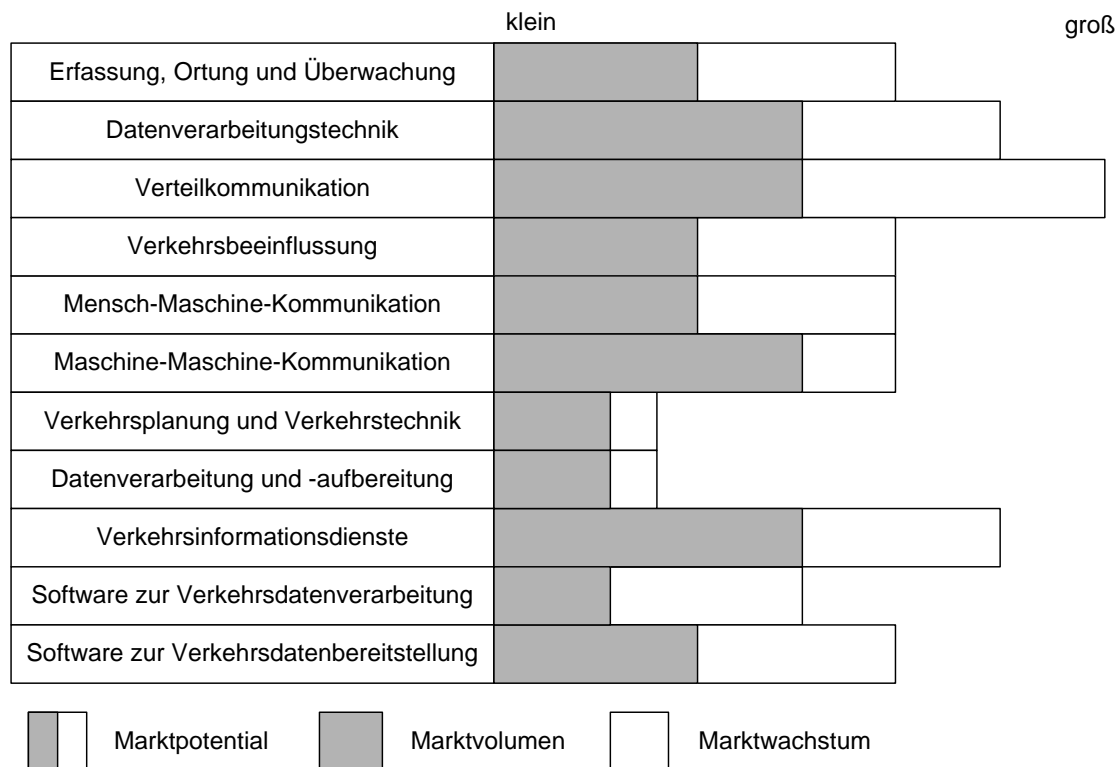


Abbildung 2.5: Verkehrstelematikmarkt und dessen Entwicklungschancen [5]

Kommunikationsklasse 0 - Autonome Systeme Diese Systeme unterstützen den Bediener bei Navigationsaufgaben anhand von im System vorhandenen Daten. Es ist keine Kommunikation mit externen Einheiten vorhanden.

Kommunikationsklasse 1 - Regionale Systeme Diese Systeme stellen Nutzer in einem regionalen Gebiet⁵⁶ Verkehrsinformationen zur Verfügung. Die Kommunikation ist unidirektional. Die mobilen Einheiten sind nur auf Empfang ausgelegt.

Kommunikationsklasse 2 - Lokale Systeme Bei lokalen Systemen werden Sender mit sehr begrenzter Reichweite eingesetzt. Die übermittelten Informationen können zur Positionsbestimmung genutzt werden oder vor örtlichen Gefahrenstellen warnen.

Kommunikationsklasse 3 - Regionale bidirektionale Systeme Durch den Einsatz von Mobilfunksystemen wird eine bidirektionale Kommunikation ermöglicht. Diese Systeme dienen zur Versorgung von Fahrzeugen in großen, überregionalen Gebieten. Der Rückkanal dient zur Übermittlung von erfassten Verkehrsdaten an das System.

Kommunikationsklasse 4 - Lokale bidirektionale Systeme Aufbauend auf Klasse 2 Systeme werden bidirektionale Kommunikationssysteme für den lokalen Einsatz verwendet. Durch den lokalen Bezug ist eine größere Funktionalität im Vergleich zu Klasse 3 Systemen möglich.

Kommunikationsklasse 5 - Interfahrzeugkommunikation Um die Infrastrukturkosten zu senken setzen Klasse 5 Systeme auf einen Informationsfluss zwischen den Fahrzeugen. Die Verkehrsinformationen sind aktueller als bei anderen Systemen, allerdings hängt die Verfügbarkeit auch von der Anzahl und Verteilung der anderen Verkehrsteilnehmer ab.

⁵⁶Üblicherweise mit 10 bis 100km Durchmesser

Für den Einsatz in Tagebauen und Minen sind die Systemklassen 2,4 und 5⁵⁷ von Bedeutung. Die individuelle Ausprägung vorhandener Systeme kann teilweise auch mehreren Klassen zugeordnet werden, da die Kommunikationssysteme kombiniert zum Einsatz kommen. Neben der Kommunikationstechnik ist die Art der Datenerfassung charakteristisch für ein Verkehrstelematiksystem. Die Betrachtungen in dieser Arbeit beschränken sich hierbei auf die konzeptionellen, technischen Aspekte der mobilen Komponenten und lassen die stationären Infrastrukturen eines Telematiksystems und alle Betrachtungen zur organisatorisch-institutionellen Architektur⁵⁸ außen vor. Mobile verkehrstelematische Komponenten können anhand ihrer Datenerfassungsmechanismen wie folgt gruppiert werden.

DE-Klasse 0 - Passive Systeme ohne eigene Erfassung, externe Datenübermittlung Diese Systeme sind die einfachsten verkehrstelematischen Anwendungen. Beginnend von Verkehrsfunk über Warneinrichtungen bis hin zu Verkehrsinformationen anderer Teilnehmer verwerten alle diese Systeme Informationen ohne eine eigene Datenerfassung zu besitzen.

DE-Klasse 1 - Datenerfassung für interne Steuerungsvorgänge Die einfachste Erfassungsform ist die Datenerfassung für eigene Steuerungssysteme, beispielsweise Positionsbestimmung um eine Routenplanung durchzuführen.

DE-Klasse 2 - Zusätzlich Datenerfassung für externe Steuerung Für komplexere Steuerungsaufgaben können Informationen an eine übergeordnete Ebene übertragen werden. Beispielsweise kann ein Fahrzeug den Verkehrszustand ermitteln und von einer Zentrale darauf aufbauende Routenempfehlungen bekommen.

DE-Klasse 3 - Datenerfassung für externe Verwendung ohne eigene Nutzung Die ermittelten Informationen werden anderen Verkehrsteilnehmern weitergegeben ohne, dass das eigene System davon einen Steuerungsvorteil erfährt. Beispielsweise wird von einem System der Fahrbahnzustand ermittelt und an die nachfolgenden Fahrzeuge weitergeleitet.

OnBoard-Systeme für mobile Fahrzeuge benötigen folgende Funktionalitäten, um ein vollständiges telematisches Informationssystem der Datenerfassungsklasse 2 oder 3 bilden zu können:

- Positionsbestimmung
- Sensordatenerfassung (fahrzeugbezogene- und externe Daten)
- Kommunikation mit dem Bediener⁵⁹
- Kommunikation mit dem stationären⁶⁰ technischen System

Der große Aufgabenbereich der Verkehrstelematik soll exemplarisch in folgende Teilbereiche, die sich aus der Funktionalität ergeben, gegliedert werden.

- Verkehrsinformationssysteme
- Verkehrsleitsysteme
- Erfassungssysteme

Darauf aufbauend werden ausgewählte Beispiele in den nächsten Kapiteln beschrieben, um die grundlegenden Mechanismen kennenzulernen.

⁵⁷Der Einsatz von Klasse 5 Systemen hängt von der Gesamtanzahl der eingesetzten Fahrzeuge ab, da eine Mindestanzahl für die ordnungsgemäße Funktion nötig ist.

⁵⁸Welche Art der Datenerfassung vom Gesetzgeber bzw. der Bevölkerung akzeptiert wird, soll hier nicht Gegenstand der Betrachtung sein.

⁵⁹Bei autonomen technischen Systemen entfällt dieser Punkt (z.B.: autonome Fahrzeuge)

⁶⁰Bei Interfahrzeugkommunikation auch die Kommunikation zwischen den mobilen technischen Systemen

2.4.2 Verkehrsinformationssysteme

Das bekannteste Verkehrsinformationssystem ist der analoge Rundfunk. Da im analogen Rundfunk keine Datenpakete übertragen werden können, wird bei ARI (Autofahrer Rundfunk Informationen) ein Senderkennungssignal ausgestrahlt. Über dieses Signal können die Empfangsgeräte die Anzeige von Verkehrsinformationen steuern. Diese insgesamt unflexible und veraltete Form der Verkehrsinformation wurde durch die Einführung des digitalen RDS (Radio Data System) und des darauf aufbauend TMC (Traffic Message Channel) deutlich verbessert. Beim TMC werden unhörbar, nach einheitlichen europaweiten Codes, Verkehrsinformationen ausgestrahlt. Diese TMC-Meldungen können dann von geeigneten Empfangsgeräten in entsprechende Nachrichten übertragen und vorgelesen werden. In Verbindung mit einem Navigationssystem können die TMC-Meldungen für eine automatische, dynamische Routenplanung und -anpassung verwendet werden. Der Nachfolger dieses analog-digitalen Rundfunkmischbetriebes ist in Form von DAB (Digital Audio Broadcast) bereits verfügbar⁶¹ und soll bis 2010 den UKW-Rundfunk ablösen. Neben verbesserten Klangeigenschaften erlaubt die hohe Datenrate Multimediadienste, die, auch in Hinblick auf verkehrstechnische Informationen, viele zusätzliche Applikationen versprechen. Neben der Verbreitung von allgemeinen Verkehrsinformationssystemen entwickelte sich in den letzten Jahren ein Markt für personalisierte Verkehrsinformationen. Abgestimmt auf die persönlichen Ansprüche, erlauben diese Dienste eine individuelle Selektion der vorhandenen Verkehrsdaten. Damit werden Stauwarnungen, dynamische Navigation, Pannenhilfe und zusätzliche streckenbezogene Informationen (zum Beispiel zu nahe gelegenen Tankstellen, Hotels, Sehenswürdigkeiten und Ähnlichem) für den Abruf über mobile Geräte (überwiegend per PDA und Mobiltelefon) bereitgestellt. Die Erfassung von Daten über den Verkehr ist die Grundlage für Applikationen, die den Verkehrsteilnehmern Daten liefern. In Deutschland werden, fast unbemerkt von der Bevölkerung, eine Vielzahl von Systemen betrieben, die diese Daten automatisch erfassen. Das bekannteste Beispiel ist die Mautüberwachung im System Toll Collect. Dabei werden mit etwa 300, auf den deutschen Autobahnen verteilten, Mautbrücken Daten über den passierenden Verkehr gesammelt. Bereits vor Ort werden PKW und LKW mit gültiger Mauteinbuchung herausgefiltert, zu allen anderen Fahrzeugen werden entsprechende Daten (u.a. ein Digitalfoto des Nummernschildes) erfasst, ausgewertet und an die entsprechende Mautstelle übertragen. An rund 4.000 Autobahnbrücken sind flächendeckend Verkehrssensoren angebracht. Diese Sensoren liefern Messwerte zum Verkehrsgeschehen. Sie protokollieren die mittlere Geschwindigkeit und die jeweiligen Fahrzeugklassen. Aus diesen Daten und deren Verlauf werden Rückschlüsse auf den Verkehrsfluss gezogen. Sobald Änderungen auftreten, werden diese Daten per SMS an die Zentrale gesendet. Die ausgewerteten Daten zum Verkehrsverhalten werden verschiedenen Serviceunternehmen zur Verfügung gestellt. Zusammen mit den Verkehrsmeldungen der Polizei und zusätzlichen Fahrzeugen, die nach dem „Floating Car Data“-Verfahren (FCD) Daten liefern, generieren die Unternehmen Verkehrsmeldungen, die an ihre Kunden übertragen werden. Ein Verkehrsinformationssystem bilden auch die stationären und mobilen Geschwindigkeitsüberwachungssysteme der Polizei. Auch damit werden Informationen über den Verkehrsablauf gesammelt und zur Erhöhung der allgemeinen Verkehrssicherheit genutzt. Als moderne Entwicklung im Bereich der Polizei wurde PolVis vorgestellt. Dieses Polizei Verkehrsinformationssystem⁶² wird auf einen Streifenwagen montiert und erlaubt die Darstellung von Verkehrszeichen per LED. Ein weiteres Beispiel für ein neuartiges Verkehrsinformationssystem ist der Traffic Sign Reminder (TSR) der Firma TSR-Verkehrsmanagement-Systeme Holding & Koordinations GmbH & Co.KG. Dieses System überträgt per Funk Verkehrszeichen an vorbeifahrende Fahrzeuge und zeigt das jeweils gültige Verkehrszeichen im Fahrzeug an⁶³. In der aktuellen Version ist das System für den Einsatz auf Bundesautobahnen vorgesehen und erlaubt zusätzlich

⁶¹Seit 1999 in Deutschland im Probetrieb und seit 2003 mit einer Abdeckung von 80% des Bundesgebietes [62]

⁶²Informationsmaterial dazu kann unter [63] bestellt werden.

⁶³Siehe dazu [64]

eine Warnung bei Befahrung der Autobahn in der falschen Richtung (Geisterfahrer).

2.4.3 Verkehrsleit- und assistenzsysteme

Systeme, die über die reine Erfassung von Daten hinausgehen, bilden die Gruppe der Assistenz- und Leitsysteme. Zusätzlich zur nötigen Informationsfunktionalität beeinflussen diese Systeme den Ablauf des Verkehrs direkt oder indirekt. Wichtigstes Unterscheidungsmerkmal ist dabei die Beeinflussungsweite. Einerseits existieren Systeme, die für alle oder ein Gruppe von Verkehrsteilnehmer eine Beeinflussung erzeugen, auf der anderen Seite beeinflussen Systeme nur Individuen. Die individuellen Systeme sind überwiegend mit dem Fahrzeug verbunden und bilden mit ihm eine Einheit. Als Beispiel für solche Systeme sind alle Fahrzeugfahrassistenzsysteme [65] zu nennen. Neben verbreiteten Systemen wie ABS und ESP entwickeln die Fahrzeughersteller eine Reihe von Assistenzsystemen für zukünftige Fahrzeuggenerationen. Angefangen von Spurassistenzsystemen, über Fahrerüberwachungssysteme und der elektronischen Deichsel für die virtuelle Kopplung von Fahrzeugen, hin zu autonom fahrenden Fahrzeugen. Als Gegenpol zu den individuellen Systemen existieren Anlagen, die alle Fahrzeuge gleichermaßen beeinflussen. Als Beispiel hierfür sind Ampelanlagen, Verkehrsleitsysteme und ähnliche Systeme zu nennen. Die automatischen Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen erlauben eine dynamische Anpassung der gültigen Verkehrsbeschränkungen, wie Überholverbot oder Tempolimit, an die jeweilige Situation. Zur Erfassung der Verkehrssituation sind geeignete Sensoren, die neben den Wetterbedingungen⁶⁴ auch das Verkehrsaufkommen und das durchschnittliche Tempo des fließenden Verkehrs messen, notwendig. Durch autorisiertes Personal ist auch ein manueller Eingriff zur Verkehrsbeeinflussung möglich. Dies kann beispielsweise im Falle eines Unfalls oder einer Kontrolle durch die Polizei erfolgen. Ein indirekter und auch nicht immer gewollter Einfluss auf das Verkehrsgeschehen wird durch dynamische „Road Pricing“, in Deutschland besser bekannt unter dem Begriff Maut, erreicht. Durch eine variable Anpassung der Kosten für die Straßenbenutzung können Verkehrsströme gelenkt werden. Nach der erfolgreichen Mauteinführung für LKW wird beispielsweise diskutiert, das Sonntagsfahrverbot für LKW durch eine dynamische Mautanpassung zu ersetzen. Dabei wird für Sonn- und Feiertage ein spezieller deutlich höherer Mautpreis festgelegt. Damit wird das Ziel, weniger LKW-Fahrten, über den höheren Preis erreicht und dringende Fahrten, die im heutigen System, eine Ausnahmegenehmigung bekommen würden, könnten ohne bürokratischen Aufwand fahren, allerdings zu den entsprechend hohen Gebühren. Ein zweites Beispiel für ein Mautsystem ist der Warnow Tunnel in Rostock. Der zu 90% privat finanzierte Tunnel kann nur nach Entrichtung einer Maut befahren werden. Die Maut ist dabei so gewählt⁶⁵, dass sie einerseits die Kosten der privaten Finanziers und Betreiber aufbringt aber andererseits die Innenstadt von Rostock entlastet.

2.4.4 Fernauslese und Überwachungssysteme

Neben dem reinen Verkaufsgeschäft nimmt, bedingt durch die großen Investitionskosten, auch das Vermiet- und Leasinggeschäft von großen Baumaschinen und Minengeräten zu. Vor diesem Hintergrund entwickelten eine Reihe von Truckherstellern Systeme zur Fernüberwachung ihrer Fahrzeuge. Damit kann, üblicherweise per Satellitenkommunikation bei Minenfahrzeugen und per GSM/CDMA bei Straßenfahrzeugen⁶⁶, der aktuelle Standort und Zustand von Fahrzeugen abgefragt werden. Die Kommunikation per Satellit unterliegt gewissen Einschränkungen, die aber durch die weltweite Verfügbarkeit der Systeme mehr als wettgemacht werden. Die Kommunika-

⁶⁴Sichtverhältnisse, Niederschlagsart und -menge etc.

⁶⁵Vom Verkehrsministerium festgelegt.

⁶⁶In bewohnten Gebieten ist die Abdeckung des Funknetzes üblicherweise gegeben, im Gegensatz dazu werden Minenfahrzeuge überwiegend in nicht funkversorgten Gebiet betrieben und benötigen daher Satellitenkommunikation zur Datenübertragung.

tionssatelliten bewegen sich üblicherweise im LEO⁶⁷. Durch diese tiefen Bahnen wird eine große Anzahl von Satelliten benötigt, um ständige Verfügbarkeit zu garantieren. Die Satellitenbetreiber gehen ein Kompromiss zwischen Satellitenanzahl, direkten Kosten, und Verfügbarkeit, Einnahmen durch Übertragungen, ein. Die Kommunikation per GSM/CDMA ist Industriestandard und stellt in versorgten Gebieten keine Probleme dar. Mit der Einführung und weiteren Verbreitung von Technologien wie GPRS, EDGE und UMTS wird, in mit Funkinfrastruktur versorgten Gebieten, die Bedeutung dieser Systeme noch weiter zunehmen. Höherwertige Dienste gehen aber überwiegend mit geringeren Funkreichweiten einher, damit verbunden, steigen die Kosten für die flächendeckende Versorgung. Daher werden die Gebiete mit großer Bevölkerungsdichte zuerst mit neuen Technologien versorgt, üblicherweise sind aber gerade dort die industriellen Anwendungen eher seltener vorhanden. Für die Positionsbestimmung setzen alle Hersteller kostengünstige GPS-Module ein. Die Genauigkeit der Positionsbestimmung beträgt dabei aber nur etwa $\pm 20m$. Für die reine Bestimmung des Standortes des Fahrzeuges reicht den meisten Anwendern diese Genauigkeit aus. Die Positionsbestimmung wird in 2D vorgenommen, d.h. ein Höhenwert wird nicht ermittelt, sondern über Map-Matching Prinzipien aus dem vorhandenen Kartenmaterial abgeleitet. Es wird angenommen, dass die Fahrzeuge auf den vorhandenen Strassen/Gelände fahren und somit können die Höhenwerte an der jeweiligen Position der Karte auch für das Fahrzeug angenommen werden. Neben der Positionsbestimmung können mit diesen Systemen auch automatisch Fehlermeldungen vom Fahrzeug übertragen werden. Dazu werden die fahrzeugeigenen Systeme mit der Kommunikationseinheit verbunden. Da nicht ständig Funkkontakt besteht, zeichnen einige Systeme intern die anfallenden Daten auf und übertragen sie zur geforderten Zeit. Damit können bei täglicher Abfrage die Touren des letzten Tages übertragen und dargestellt werden. Ohne die interne Speicherung kann nur die aktuelle Position⁶⁸ übermittelt werden. Alle übertragenen Daten werden auf einem zentralen Server verwaltet. In den meisten Fällen betreibt der Fahrzeughersteller, oder in seinem Auftrag ein Kommunikationsspezialist, den Server für alle seine Kunden. Über Webinterface kann der Kunde sich bei diesem Serviceanbieter einloggen und seine Fahrzeuge überwachen, deren Positionen abfragen oder Fehlerlisten bearbeiten. Der Zugriff ist auf den eigenen Fahrzeugbestand begrenzt, kann aber, mit eingeschränkten Rechten, für Informationszwecke an die eigenen Kunden weitergegeben werden.

Die folgende Funktionalität bieten alle Systeme der verschiedenen Hersteller:

- Positionsbestimmung und -überwachung
- Fehler- und Alarmzustandsübermittlung
- Kommunikation per Satellit/GSM

Zusätzlich sind in verschiedenen Ausführungen die nachfolgenden Funktionen möglich:

- Zentrale Datenverwaltung mit Internetzugriff
- Übermittlung von Zustandsänderung der digitalen I/O (z.B. Zündung an/aus)
- Befehle an die digitale I/O (z.B. Nothalt)
- Datenaufzeichnung (Betriebsstundenzähler)

Die Vorteile des Einsatzes eines Fernauslese- und Überwachungssystem sind:

- Weltweit mit einer Hardware einsetzbar
- Bekannte Position der eigenen Fahrzeuge

⁶⁷Low Earth Orbit

⁶⁸Die Aktualität der Daten hängt u.a. vom verwendeten Kommunikationssystem ab.

- Bekannte Zustände der Fahrzeuge
- Fehlermeldungen werden schneller verfügbar
- Genauere Abrechnung der Betriebsdaten
- Kein eigenes Serversystem nötig

Die Schwachstellen dieser Systeme sind:

- Kommunikation per Satellit teuer und nicht durchgängig verfügbar
- Positionsbestimmung nur in 2D und in der Genauigkeit begrenzt
- Begrenzte Anzahl von Messdaten
- Zugriff auf die Daten nicht in Echtzeit sondern mit großer Verzögerung
- Zentraler Server für alle Anwender stellt ein Sicherheitsrisiko für eigene Daten dar

Liebherr - LiSat Liebherr bietet unter dem Namen LiSat sein Satellitenkommunikationssystem für Baumaschinen an, für Minenfahrzeuge wird das System noch nicht geliefert [66]. Die LiSat-Übertragungseinheit wird im zu überwachenden Fahrzeug an eine geschützte Position eingebaut. Die Einheit überwacht dann verschiedene Maschinendaten (z.B. Kraftstofffüllstand). Die gesammelten Daten werden 2-mal täglich über eine Satellitenverbindung an die Zentrale gesendet⁶⁹. Außerplanmäßige Übertragungen sind im Einzelfall ebenso möglich. Die gesammelten Daten werden von Liebherr auf eine spezielle Webseite gestellt, auf die nur der Kunde Zugriff hat. Über diese Seite können die verschiedenen Parameter der Überwachung online eingestellt werden. Die Positionsbestimmung des Fahrzeuges wird per GPS vorgenommen, dabei wird eine Genauigkeit von +/- 10m garantiert. Für die Überwachung des Fahrzeuges kann ein Aktionsradius definiert werden⁷⁰. Wenn das Fahrzeug diesen Bereich verlässt, wird automatisch ein Alarm ausgelöst, der an die Zentrale geschickt wird. Der Kunde wird in diesem Fall wahlweise per SMS, Fax oder Email über den Vorfall informiert.

Caterpillar Für den Zugriff auf die VIMS-Alarmdaten über größere Entfernungen bietet Caterpillar ein Überwachungs- und Kommunikationssystem per Satellit an. Dabei werden Positionsdaten und Alarme aus dem VIMS in regelmäßigen Abständen an einen von Caterpillar zentral betriebenen Server übermittelt. Per Webinterface kann der Kunde seine Fahrzeuge beobachten und die Intervalle der Überwachung konfigurieren. Caterpillar gibt eine Verfügbarkeit der Satelliten aller 15min für 5min Dauer an. In diesen 5 Minuten werden alle anstehenden Meldungen und Positionsdaten übertragen. Das bedeutet aber auch, dass Alarme und Positionen schon 15min alt sein können, ehe eine Meldung im System verfügbar ist.

Siemens Die Siemens AG bietet mit dem System RMC (Robuster Mobiler Controller) [67] eine Telematik-Systembasis an. Der Einsatzbereich umfasst:

- Mobile Datenerfassung
- Mobile Maschinenüberwachung
- Datenlogging
- Mobile Positionsüberwachung

⁶⁹Für die Satellitendienste arbeitet Liebherr mit der Firma GLOMOCO zusammen.

⁷⁰Diese Funktion wird als GeoFencing bezeichnet.

Die wichtigsten Bestandteile des Systems sind die mobile Datenerfassungshardware, die GSM-Datenübertragung und die zentrale Datenvisualisierung und -archivierung. Das RMC (Robuster Mobil Controller)-Gerät stellt eine mobile Datenerfassungseinheit dar. Wichtigste Merkmale bezüglich der Robustheit sind:

- Temperaturbereich: -40°C bis $+70^{\circ}\text{C}$ (ohne integriertes M20-Modem)
- IP65, betauend
- Salzsprühnebelbeständig
- Guter Schutz gegen Schock und Vibration

Hauptbestandteil des RMC3000 ist ein SAB-C167 Microcontroller. Die Variante 3000 des RMC ist weiterhin mit einem GPS Empfänger und einem M20-GSM-Modem ausgestattet. Über 8 digitale und 8 analoge Eingänge können Signale aufgezeichnet werden. Zusätzlich ist ein Anschluss für einen CAN-BUS nach Spec.V2 FullCAN vorhanden. Alle Anschlüsse sind über einen 121 poligen Stecker geschützt nach außen geführt. Die Signale können in Intervallen von minimal 100ms in einem Eingangsabbild gespeichert werden. Für die längerfristige Datenspeicherung ist zusätzlich zum 1MB großen RAM noch ein 2,5MB Flash EPROM integriert. Neben der Funktionalität der Eingangsdatenerfassung erfolgt eine parametrierbare Positionsüberwachung mit Hilfe des eingebauten GPS-Empfängers. Das RMC ist für den Betrieb in Nutzfahrzeugen ausgelegt und verlangt nach einer Versorgungsspannung zwischen 9V bis 33V bei einer maximalen Stromaufnahme von 7A. Grundsätzlich sind für den Betrieb des RMC3000 2 Modi vorgesehen (Zündung an, Zündung aus). Für diese Modi lassen sich differenzierte Datenaufzeichnungs- und Alarmregeln festlegen. Die Datenübertragung zwischen dem RMC und dem Leitstand erfolgt über das GSM - Netz. Hinsichtlich der Kommunikation bietet GSM über einen Funkweg Sprach- und Datendienste für mobile Endgeräte. International ist das GSM-System weit verbreitet, allerdings ist der Netzausbau nicht in allen Ländern gleichermaßen umfangreich. Selbst in den USA spielen die GSM-Netze nur eine untergeordnete Rolle. Durch das GSM-System wird eine weltweite Erreichbarkeit unter der gleichen Rufnummer gewährleistet, wobei das Netz die Aufgabe der Teilnehmerlokalisierung übernimmt. Dank, im Vergleich zu analogen Systemen, kleineren Funkzellen und einer besseren Frequenzausnutzung kann das System eine größere Anzahl an Teilnehmern aufnehmen. Durch den Einsatz von Chipkarten und persönlichen Kennungen kann das System eine Zugangskontrolle bieten. Mit Hilfe verschiedener Verschlüsselungsverfahren wird darüber hinaus auch die Datenübertragung auf der Funkstrecke abgesichert. Die Verfügbarkeit der GSM-Netze nimmt mit steigender Besiedlungsdichte zu. Somit ist in entlegenen Gebieten eine Versorgung durch GSM-Netze eher unwahrscheinlich. Der Alarmkanal basiert auf SMS Nachrichten, die von den jeweiligen mobilen Teilnehmern im Alarmfall versendet werden. Da der Alarmkanal eine hohe Verfügbarkeit haben muss und nicht längere Zeit belegt werden darf, wird für die (oft langwierige) Messdatenübertragung eine zweite Verbindung zum Datentransfer verwendet. Auf der Empfängerseite wird das System auf einem Computer in Form des RMC-Basisleitsystem installiert. Das Softwarepaket besteht aus folgenden Teilen:

WinCC-RMC Projekt Hilfsmittel zur Messdatenauswertung und zur RMC3000 Konfiguration. Über das WinCC-Projekt werden alle RMC verwaltet. Dazu existiert ein Telefonbuch in dem dem RMC eine Telefonnummer und verschiedene Kenndaten zugeordnet werden. Neben der Konfiguration des RMC (z.B.: GPS-Überwachungsregeln einstellen etc.) kann auch neue Anwendersoftware per Funk übertragen werden. Besonders für nachträgliche Änderungen ist diese Möglichkeit von Vorteil. Üblicherweise wird die jeweilige Software bei der Inbetriebnahme per lokaler Schnittstelle eingespielt.

FPS (Fleet Protocol Server) Serverprogramm zum Empfang und zur Verarbeitung von Positions- und Alarm-SMS-Meldungen. Dieser Server stellt allen anderen Programmen eine Schnittstelle zur Verfügung, über die spezielle Daten angefordert werden können. Die ankommenden SMS-Nachrichten werden im Server vorgehalten und aus dem Speicher der SIM-Karte des GSM-Modems entfernt (da in der SIM-Karte nur 10 Nachrichten gespeichert werden können, würden andernfalls zusätzliche SMS-Nachrichten verloren gehen).

Map & Guide Softwareinstallation zur Verfolgung und Visualisierung von SMS-Positionsmeldungen. Dieses Programm dient im eigentlichen Sinne der Routenplanung, wurde aber von Siemens um ein Modul erweitert. Damit kann auf den FPS zugegriffen werden. Die gelieferten Positionsdaten kann dieses Programm in sein Kartenmaterial einbinden und darstellen. Die Punkte zwischen 2 Positionsmeldungen werden linear interpoliert. Die gesamte Software ist aber nur für 2D Betrieb ausgelegt. Höheninformationen werden nicht ausgewertet. Es wird angenommen, dass sich das Fahrzeug auf der Höhe des jeweiligen Kartenpunktes befindet.

Das RMC-System bietet Überwachungs- und Alarmfunktionen, Online-Diagnose, Offline-Datenaufzeichnung und optional die Ortungsfunktionalität. Die Peripherie des RMC wird zyklisch überwacht. Anstehende Alarme werden vom RMC an das Basisleitsystem per SMS gesendet. Für die Online-Diagnose wird daraufhin eine Online-Datenverbindung von der Zentrale aus aufgebaut. Die Zentrale erfasst die aufgelaufenen Messdaten und überträgt sie während der Datenverbindung. Anhand der übermittelten Fehlerkennung kann die Ursache der Fehlfunktion ermittelt und entsprechende Gegenmassnahmen ergriffen oder als Anweisung an den Fahrer übermittelt werden⁷¹. Die anschließende Datenauswertung kann auch offline, ohne direkte Verbindung zum Fahrzeug, erfolgen. Während der online Fehlerdiagnose sendet der RMC keine Positionsmeldungen und Alarme. Der Datalogger zeichnet die Signale der analogen und digitalen Ein- und Ausgänge am RMC über einen längeren festgelegten Zeitraum auf. Dabei werden die Daten effektiv verdichtet, um möglichst selten eine kostenpflichtige GSM-Verbindung aufzubauen. Die Auswertung des Dataloggers erfolgt durch manuelles oder zeitgesteuertes Auslesen von der Zentrale aus. Die GPS-Ortung erfolgt unter SIMATIC WinCC, dabei wird die aktuelle Position des Fahrzeuges als Koordinatenwert übermittelt. Weiterhin ist auch mit dem RMC Geofencing möglich. Für die Darstellung der Koordinaten und zur Verfolgung von gefahrenen Routen ist die Nutzung des Programmpaketes Map&Guide möglich. Die Firma Siemens nutzt die vorhandene Schnittstelle, um die gesammelten Routeninformationen in der Kartensoftware darzustellen. Mit der Software können dann weitere Auswertungen im Zusammenhang mit der tatsächlich gefahrene Route durchgeführt werden.

Komtrax Komatsu Für die Überwachung der eigenen Fahrzeuge⁷² bietet Komatsu das System Komtrax an. Diese internetgestützte Lösung basiert, wie alle anderen Systeme, auf einer GPS-Positionsbestimmung. Zusammen mit dem Betriebsstundenzählerstand werden die Positionsdaten per QUALCOMM Satellitenkommunikation an die Zentrale gesendet. Die Kommunikation unterliegt damit den Einschränkungen der Satellitenkommunikation (begrenzte Datenrate, nicht durchgehende Verfügbarkeit etc.). Die Zentrale stellt die übertragenen Daten auf einem Webserver bereit. Über einen stufenweise passwortgeschützten Zugang kann der Komatsu Kunde auf seine Daten zugreifen und Informationen über seine Fahrzeuge abfragen. Im Normalbetrieb wird einmal pro Tag eine Aktualisierung der Positionsdaten vorgenommen, für eine Extragebühr ist es aber auch möglich, jederzeit eine Positionsabfrage auszulösen. Neben der Positionsüberwachung ist auch ein Diebstahlschutz eingebaut. Im Falle eines Diebstahls ist es mit dieser Funktion möglich, den Motor

⁷¹Für die direkte Fahrerkommunikation sind zusätzliche Systemkomponenten nötig, die extra bezogen werden können.

⁷²Für Fahrzeuge von Fremdanbietern können universelle Einbaupakete bezogen werden.

des Fahrzeuges stillzulegen. Die geplante Erweiterung des Systems Komtrax II soll neben der Positionsabfrage zusätzlich eine Überwachung von fahrzeugspezifischen Fehlercodes erlauben. Außerdem ist geplant, den Kraftstoffstand, den Öldruck, die Batteriespannung und weitere Betriebsparameter auszulesen.

2.4.5 Telematiksysteme für den Einsatz in Tagebauen

Die Verknüpfung von Telekommunikations- und informationsverarbeitenden Systemen, die Telematik, beeinflusst auch die Arbeit in modernen Minen und Tagebauen. Strukturell sind Tagebauprozesse der Definition der Telematik verwandt. Die Telematik umfasst die Bereiche Erfassung, Transport und Verwertung von Informationen. Analog dazu wird im Bergbau Material erschlossen, transportiert und gelagert bzw. weiterverarbeitet. Ob Material oder Information als Prozessmittel ist also für die abstrakte Betrachtung irrelevant. Diese innere Verwandtschaft der Konzepte erlaubt eine leichte Integration von telematischen Prinzipien in Tagebauprozesse. Fortschritte hierbei sind in den letzten Jahren besonders bei mobilen Geräten massiv erkennbar. Die Erfassung von Informationen erfährt aus 2 Richtungen entscheidende Impulse. Auf der einen Seite wird die mobile Technik mit zusätzlichen informationserfassenden technischen Geräten ausgestattet⁷³. Andererseits erzeugt die immer komplexer werdende Steuerung der mobilen Technik eine Vielzahl von Informationen, die für verschiedene Systeme von Bedeutung sind⁷⁴. Der größte und offensichtlichste Konzeptwandel findet beim Informationstransport statt. Waren und sind die meisten Informationen heutzutage nur für die mobile Technik verwendbar oder offline verfügbar, wird mit dem verstärkten Einsatz von Telematik die Information von der mobilen Technik losgelöst. Der Online-Echtzeitzugriff auf Informationen wird allgegenwärtige Realität. Die dazu notwendigen technischen Systeme existieren und funktionieren bereits in anderen Industriezweigen und finden in Abhängigkeit der Kostenentwicklung ihren Weg in die Montanindustrie. Die Infrastruktur für den Informationstransport gewinnt immer mehr an Bedeutung und bildet die Grundlage für weitere Entwicklungen telematischer Funktionen. Bestehende Sprechfunksysteme können in aller Regel die Anforderungen nicht erfüllen und werden durch neue Systeme erweitert. Bei der Informationsverarbeitung liegt das Hauptaugenmerk auf der Integration in bestehende Systeme. Die Geologische Erkundung und bergbauliche Planung eines Tagebaues erzeugen eine große Anzahl von Informationen, die von bestehenden Systemen verarbeitet und ausgewertet werden. Durch telematische Anwendungen gewonnene Erkenntnisse können nicht losgelöst von der vorhandenen Informationsbasis verarbeitet werden und müssen daher mit den Beständen abgeglichen und synchronisiert werden. Die Schnittstellenumsetzung zu bestehenden Systemen stellt die größte Herausforderung dar, da die Informationserfassung und -übertragung größtenteils auf erprobte und etablierte Systembausteine zurückgreifen kann. Aus Basis dieser Informationsintegration lassen sich aber Szenarien entwerfen, die einen Zusatznutzen aus der vorhandenen Informationen ermöglichen. Die Schwierigkeit, aber auch das Potential von Telematikanwendungen für Tagebaue und Minen, liegt im Bereich der Informationsverarbeitung und -integration. Als Beispiel für das große Potential von Telematiklösungen in der Montanindustrie sollen in den nächsten beiden Abschnitten Systeme vorgestellt werden, die große Erfolge in den Bereichen Kostenersparnis bzw. Arbeitssicherheit vorweisen können. Das vorzustellende CAES System ermöglicht beispielsweise Produktivitätssteigerungen von bis zu 30% [68] und mit den erwähnten Kollisionswarnsystemen konnte die Anzahl tödlicher Unfälle noch deutlicher verringert werden.

⁷³Besonders die Positionsbestimmung per GPS ist eine weit verbreitete Zusatzfunktionalität, die seit Mitte der 90iger Jahre verstärkt Anwendung bei der mobilen Technik findet.

⁷⁴Beispielsweise erlaubt die Vernetzung der Fahrzeuge mit CAN-BUS die Nutzung von primär für die Fahrzeugsteuerung bestimmter Informationen für das Wartungsmanagement.

2.4.5.1 CAESbasic/CAES/CAESultra - Caterpillar

Das Caterpillar Computer Aided Earthmoving System (CAES) ist ein Unterstützungs- und Leitsystem für die Bediener von Erdbaumaschinen. Das System wird im Straßenbau genauso verwendet wie im schwierigen Tagebau- und Minenumfeld. Die erste Version wurde anlässlich der MINExpo 1996 vorgestellt. Seit der Einführung 1997 haben die über 150 verkauften Systeme mehr als 1 Millionen Arbeitsstunden aufgezeichnet.

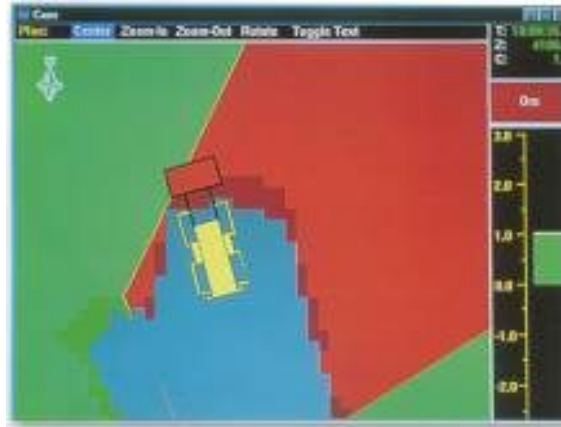


Abbildung 2.6: CAES - Darstellung für den Bediener [6]

CAES besteht aus einer OnBoard-Einheit, der notwendigen drahtlosen Kommunikationsinfrastruktur und aus entsprechender Systemsoftware. Das mit Maschinen bearbeitete Einsatzgebiet ist ständigen Veränderungen unterworfen (überwiegend durch den Einsatz eben dieser Maschinen verursacht). Um die gewünschten Endzustände zu erreichen, muss der aktuelle Ist-Zustand erfasst, erkannt und, darauf aufbauend, eine Arbeitsstrategie entworfen werden. Der aktuelle Zustand wird von CAES in Form eines digitalen 3D-Geländemodells gespeichert. Zur Bestimmung dieses Geländemodells wird ein hochpräzises GPS verwendet. Damit wird die jeweils aktuelle Position des Baufahrzeuges im 3D Modell bestimmt. Das Modell wird an dieser Position angepasst, da durch die Nutzung von 2 GPS-Empfängern nicht nur die Position sondern auch die Neigung des Fahrzeuges in diesem Punkt bekannt ist. So entsteht durch die ständige Aktualisierung ein jeweils genaues Bild der Umgebung, gespeichert im 3D Modell. Diese Daten werden mit dem gespeicherten Modell des Endzustandes verglichen. Abweichungen werden dem Bediener über einen Monitor angezeigt. Dabei wird die Umgebung angezeigt und entsprechend farblich markiert. Gebiete in denen der Endzustand erreicht ist, werden mit grünen Flächen dargestellt, Gebiete in denen Material abgetragen werden muß, sind an der roten Einfärbung zu erkennen und Flächen die aufgefüllt werden müssen sind, mit Blau auf dem Display gezeichnet. Durch den Einsatz von GPS werden keine Markierungen von Vermessern am zu bearbeitenden Gelände mehr benötigt und damit können auch bei schlechten Sicht- und Witterungsverhältnissen optimale Ergebnisse erzielt werden [69]. Damit nicht nur statische Vorgaben erfüllt werden können, besteht eine Funkverbindung in die Zentrale. Das jeweilige Geländemodell wird ständig an die Zentrale übermittelt, damit diese die Daten an andere Fahrzeuge weitergeben oder die Arbeitsabläufe anpassen kann. Die neuen Arbeitsanweisungen werden an das Gerät gesendet und in Echtzeit auf dem Display angezeigt. Neben dem Onlinebetrieb werden die Arbeitsdaten auch abgespeichert, um später die Arbeitsabläufe zu analysieren oder abzurechnen. Die verwendeten GPS Empfänger nutzen beide Empfangsfrequenzen (L1, L2) und differentielle Korrektursignale. Dadurch erreicht das System Genauigkeiten im Zentimeterbereich. Für die Kommunikation wird ein 2-Kanalfunksystem verwendet. Der erste Kanal wird zur Verteilung der Korrektursignale der Referenzstation verwendet. Über den zweiten Ka-

nal werden Planungs- und Produktionsdaten⁷⁵ übertragen. Die Übertragungsfrequenz liegt im 900 MHz Band und wird mit einem Spreizspektrumverfahren verwendet. Unter idealen Bedingungen sind damit bis zu 6 km Reichweite zu erzielen [70]. Die Systemsoftware der Zentrale ist der METSmanager (Mining and Earthmoving Technology System Manager). Sie übernimmt die schnurlose Kommunikation und die Integration der Daten in ein bestehendes Minenplanungssystem. Die Software konvertiert vorliegende Pläne aus dem Standard DXF-Format in das CAES on-board Format (CAT). Die gewandelten Planungsunterlagen können dann an die einzelnen Maschinen versendet werden. Die von den Maschinen empfangenen Daten werden vom METSmanager zu Diagnose und Produktivitätsberichten weiterverarbeitet. Aufsetzend darauf, wird das CAESoffice System verwendet, der Nutzer kann damit vom Büro aus, alle Maschinen beobachten, überwachen und im Bedarfsfall Anweisungen übermitteln. Das Ergebnis der Weiterentwicklung des Systems ist CAESultra [71, 20]. Diese Variante erlaubt die Integration in ein Minenmanagementsystem über die Nutzung des Internet Protokolls und den Export von Produktionsdaten in verschiedenste Datenbanksysteme. Als günstigere Variante wird CAESbasic angeboten, dass auf eine Funkverbindung zur Zentrale verzichtet. Arbeitsvorgaben und Geländemodelle können offline erstellt und mittels einer Flashspeicherkarte [72] in die OnBoardUnit geladen werden. Die Arbeitsabweichungen werden dann anhand dieser Daten verglichen. Diese Variante spart Kosten ist aber auch nicht flexible gegenüber Änderungen in den zu erstellenden Geländeprofilen.

2.4.5.2 Kollisionswarnsysteme in Tagebauen und Minen

In Minen, die überwiegend auf einen Abbau mit mobiler Technik setzen, sind die Verluste durch Kollisionen von Fahrzeugen ein nicht zu vernachlässigender Faktor. Auch Kollisionen, die nicht mit den schlimmsten anzunehmenden Folgen, Verlust von Menschenleben, enden, stellen dennoch eine erhebliche finanzielle Belastung dar.

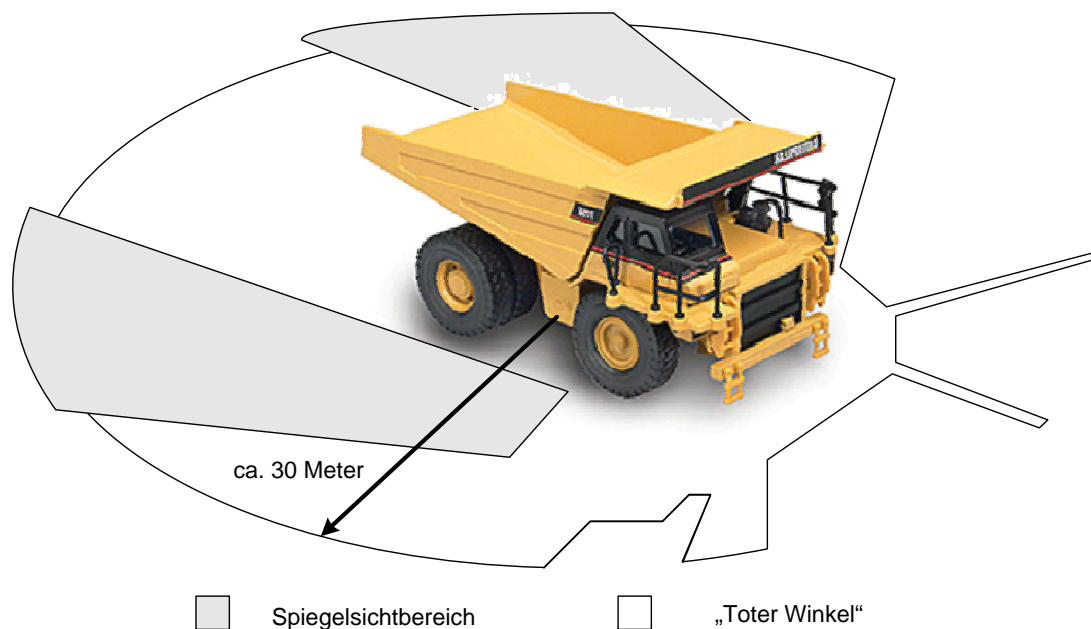


Abbildung 2.7: Typische Sichtbereiche eines Trucks [7]

Im Gegensatz zum öffentlichen Verkehrsraum sind in einem Tagebau alle Fahrzeuge bekannt. Damit und mit dem begrenzten Einsatzgebiet reduziert sich die Komplexität eines Kollisionswarn- und -vermeidungssystems. Aufgrund der günstigen Rahmenbedingungen und der großen erzielba-

⁷⁵z.B. Ausschnitte aus dem Geländemodell

ren Effekte sind Kollisionswarnsysteme für den Tagebaueinsatz, im Gegensatz zu Systemen für den öffentlichen Verkehrsraum, bereits verfügbar. Abbildung 2.7 zeigt die Ursache vieler Kollisionen, den eingeschränkten Sichtbereich der Fahrzeugführer. Die verfügbaren Systeme [73, 74, 75, 76] basieren ähnlich wie die Systeme aus dem Flugverkehr auf aktiver Aussendung von Signalen, um zusätzliche Informationen bereitzustellen. Je nach Komplexität der Lösung können zusätzlich noch passive Komponenten integriert sein. Für ein umfassend funktionierendes Kollisionswarnsystem müssen alle mobilen Einheiten (in diesem Sinne auch Personen) mit entsprechenden Sendeeinrichtungen ausgerüstet sein. Sobald sich zwei mobile Einheiten einander annähern, empfangen sie gegenseitig die ausgesendeten Signale. Anhand dieser Signale kann die Entfernung zwischen den Einheiten bestimmt werden. Je nach Kundenwunsch kann auf eine Verringerung der Entfernung reagiert werden. Optische und akustische Signale sind die dabei am häufigsten verwendeten Verfahren. Es existieren Systeme bei denen, ab einer bestimmten Minimalentfernung innerhalb der „Gefahrzone“, eine entsprechende Videokamera eingeschaltet wird, um dem Fahrer gefahrloses Manövrieren zu ermöglichen. Die Systeme für Personen sind aufgrund der eingeschränkten Transportmöglichkeiten nur auf die Aussendung von Signalen begrenzt, um die Position der Person an die Fahrzeuge zu melden. Den eigenen Schutz muss die Person selbst realisieren. Durch den Einsatz von GPS, modernen Funksystemen und mit vergrößerter Rechenleistung der mobilen Fahrzeugrechner werden zukünftige Kollisionsvermeidungssysteme exaktere Informationen liefern und damit die Arbeitsproduktivität weiter steigern.

2.5 Geographische Informationssysteme (GIS)

Geographische Informationssysteme sind raumbezogene Informationssysteme mit Funktionen zur Erfassung, Aktualisierung und Verwaltung von geographischen Daten. Die kartographische Darstellung von raumbezogenen Informationen ist ebenfalls eine Grundfunktionalität. Eine Definition für den Begriff GIS ist in [77] wie folgt formuliert:

„Ein Geoinformationssystem ist ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software, Daten und Anwendungen besteht. Mit diesem können raumbezogene Daten digital erfasst, gespeichert, verwaltet, aktualisiert, analysiert und modelliert, sowie alphanumerisch und graphisch präsentiert werden.“

In den vergangenen Jahren wurden GIS entwickelt, die sehr effiziente und sichere Konzepte zur Datenspeicherung und -verwaltung, auch auf Basis von Mehrbenutzer- und verteilten Systemen, realisieren. Wesentliche Konzepte der räumlichen Geometrie, der Datenmodellierung und -visualisierung wurden in Zusammenarbeit mit anderen wissenschaftlichen Fachbereichen implementiert. Da sich auch im Bereiche der GIS die Lebenszyklen der Software immer weiter verkürzen, wurde vermehrt dazu übergegangen, die Rohdaten in Geodatenbanken zu speichern, um bei einem Softwarewechsel über Austauschformate (z.B.: DXF und EDBS) die Datenbestände in neue Systeme übernehmen zu können. Die historische Entwicklung von GIS bedingte dabei unterschiedliche Datenstrukturen und Speicherformate.

Um für die Märkte der Zukunft⁷⁶ geeignete Daten anbieten zu können, versuchen aktuell verschiedene Organisationen offene Standards für den Datenaustausch zu definieren. Besonders das Open Geospatial Consortium⁷⁷ (OGC) und das ISO TC 211 Gremium tragen maßgeblich zur Standardisierung bei. Als ein möglicher Standard wurde die Geography Markup Language (GML [78]) definiert und von der OGC der Öffentlichkeit vorgestellt. Neben dem Problem der fehlenden offenen Standards werden mit zunehmender Nutzung weitere kritische Punkte innerhalb der GIS

⁷⁶insbesondere für LBS (Location Based Services)

⁷⁷Am 1. September wurde der alte Name Open GIS Consortium abgelegt, um mit dem neuen Namen das große Aufgabenfeld des Konsortiums besser darzustellen.

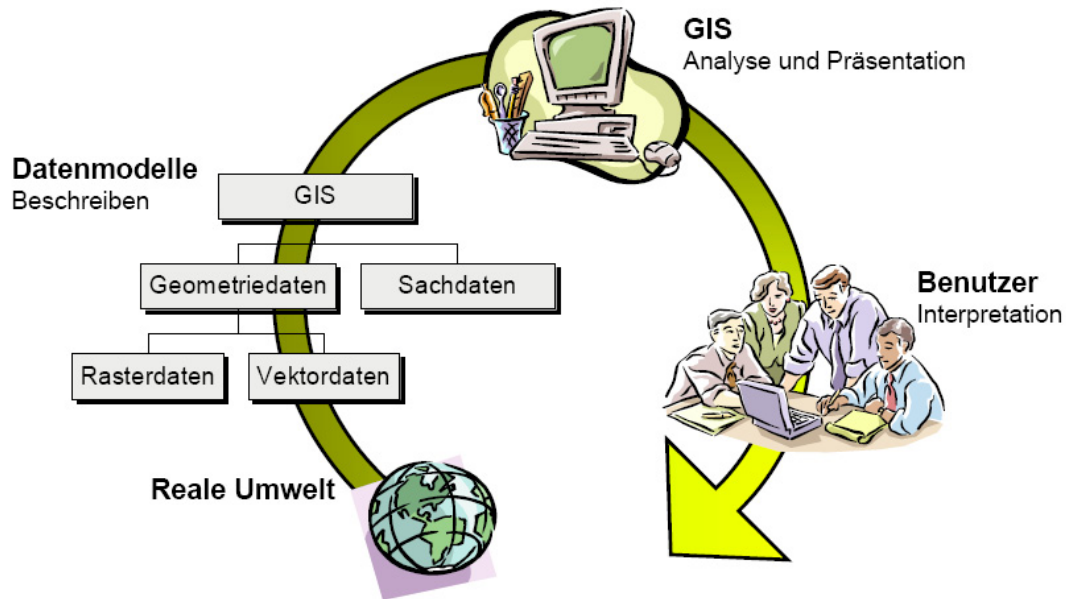


Abbildung 2.8: Einbettung von GIS in den Projektablauf [8]

offensichtlich. Die geforderte Datenqualität und Unschärfe von verfügbaren Informationen stehen sich diametral gegenüber.

Im Bereich der Tagebaue und Minen haben sich Sonderformen von GIS gebildet. Diese Systeme sind speziell an die Erfordernisse eines modernen Minenbetriebes angepasst und speichern u.a. die Erkundungs-, Anbau- und Planungsdaten des Minengeländes [79, 80, 81]. Die Gruppe dieser Anwendungen wird auch als Mineninformationssysteme bezeichnet.

2.6 Mobilfunk- und Satellitenkommunikation

In den letzten beiden Jahrzehnten war der technische Fortschritt durch die Digitalisierung der Funksysteme der Erfolgsgarant der Funkbranche. Einzig der BOS⁷⁸- und der Amateurfunk sind in Deutschland noch nicht digitalisiert, auch wenn hier erste Bemühungen mit den geplanten Systemen Tetra und Tetrapol für BOS sowie VODAX und D-Star für den Amateurfunkbereich unternommen werden. Für alle anderen Funkbereiche bedeutete die Digitalisierung den Einstieg in ein Massengeschäft. Erst die Digitalisierung und dem damit einhergehenden technischen Fortschritt (Miniaturisierung und Leistungsfähigkeit) erlaubten die Vielfalt der Anwendungen, die heute am Markt verfügbar sind. In Abbildung 4.19 im Kapitel 4.6.2 sind die verarbeitetesten Funksysteme in einer umfassenden Übersicht dargestellt. Diese Abbildung zeigt, wie unübersichtlich die Lage bereits ist. Beinahe täglich werden zudem neue Verfahren, Protokolle oder Funksysteme vorgestellt. Die Tabelle 2.2 zeigt einen Überblick über Funksysteme die prinzipiell für eine FMS-Anwendung in Frage kommen könnten. Die dargestellten Systeme sind die bekanntesten bzw. verbreitetsten Systeme für mobile Datenkommunikation.

⁷⁸Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben

Frequenz	IEEE 802.11a - WLAN 5,15-5,35 GHz, 5,470-5,725 GHz (USA: 5,725-5,825 GHz)	IEEE 802.11b - WLAN 2,40-2,4835 GHz	IEEE 802.11g - WLAN 2,40-2,4835 GHz	DECT 1,88-1,90 GHz	IEEE 802.16 - WiMax 10-66 GHz	IEEE 802.16a - WiMax 2-11 GHz	IEEE 802.16e - WiMax 0,7 - 6 GHz
Spitzverfahren	DSSS/FHSS	DSSS	DSSS	Schmalbandig	OFDM	OFDM	OFDM
Sendeleistung	1W (5,47-5,75GHz), 200mW (5,15-5,35GHz)	100mW	100mW	250mW	Richtfunk 3000W EIRP	MT: 100mW - 4W EIRP, BS: 40W EIRP	MT: 100mW - 4W EIRP, BS: 40W EIRP
Multiplex	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA	TDMA/FDMA	TDMA/DAMA-TDMA	TDMA/DAMA-TDMA	TDMA/DAMA-TDMA
Modulation	BPSK, QPSK,64-QAM	BPSK, QPSK,64-QAM	BPSK, QPSK,64-QAM	GFSK (BT=0,5), DQPSK,DBPSK	OFDMA-256, QPSK 16, 16 QAM	OFDMA-256, QPSK 16, 16 QAM	OFDMA-256, QPSK 16, 16 QAM
Datenrate	54Mbit/s	11Mbit/s	bis 108Mbit/s	1, 1,52Mbit/s	mehrere 100Mbit/s	75Mbit/s	15Mbit/s
Reichweite	50m - 300m (Richtantennen >1km)	50m - 300m	50m - 300m	50m - 300m (Richtantennen >1km)	bis 100km	50km	5km
Zulassung	lizenzfrei	lizenzfrei	lizenzfrei	lizenzpflichtig (100 Länder nicht USA, Japan und Kanada)	lizenzpflichtig	lizenzpflichtig	lizenzpflichtig
Lizenzkosten	keine	keine	keine	keine	k.a.	k.a.	k.a.
Mobilität	bis etwa 70km/h	bis etwa 70km/h	bis etwa 70km/h	bis etwa 20km/h	120 - 150km/h	120 - 150km/h	120 - 150km/h
Verfügbarkeit	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	2006 - 2007	2006 - 2007

Tabelle 2.2: Vergleich von Funklösungen

	IEEE 802.20 MWBA	IEEE 802.15.3a - MB UWB- OFDM	IEEE 802.15.3a - DS-UWB	IEEE 802.15.1 - Bluetooth	IEEE 802.15.4 - Zigbee	RFID	NanoNet
Frequenz	<3,5 GHz	3,1 - 10,6 GHz	3,1 - 10,6 GHz	2,4 - 2,483 MHz	2,4 - 2,483 MHz, 868 MHz, 902 - 928 MHz	13,56 MHz, 868 MHz, 902 - 928 MHz	2,4 - 2,483 MHz
Speizverfahren	OFDM	OFDM	k.a.	FHSS	DSSS	k.a.	k.a.
Sendeleistung	k.a.	1mW	1mW	1,2,5,100mW	1mW - 100mW	0,75mW	10mW
Multiplex	FH- OFDMA,MC- SCDMA	CDMA	CDMA	CDMA	CSMA-CA	FDMA	TDMA
Modulation	k.a.	beliebige	beliebige	GFSK	BPSK,O-QPSK	k.a.	MDMA
Datenrate	bis $4^{Mbit/s}$ (bis $250^{km/h}$)	$480^{Mbit/s}$ ($< 10m$)	$1320^{Mbit/s}$ ($< 10m$)	$3^{Mbit/s}$	$250^{Kbit/s}$	bis $848^{Kbit/s}$	$2^{Mbit/s}$
Reichweite	bis 50^{km}	$< 10m$	$< 10m$	10 - 100m	75m - 100m	1cm - 10m	bis 900m
Zulassung	lizenzpflichtige Funkbänder	lizenzfrei	lizenzfrei	lizenzfrei	lizenzfrei	lizenzfrei	lizenzfrei
Lizenzkosten	Kosten unbe- kannt	keine	keine	keine	keine	keine	keine
Mobilität	bis $250^{km/h}$	sehr begrenzt	sehr begrenzt	sehr begrenzt	eher statisch ge- plant	$< 4^{km/h}$	k.a.
Verfügbarkeit	Norm bis Ende 2005	Ab 2005	Ab 2005	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar

	GSM	UMTS	Tetra	Tetrapol	Iridium	Globalstar	Inmarsat
Frequenz	880-915 und 925-960MHz, 1710-1785 und 1805-1880MHz (1900MHz USA)	1710-1755 und 2111-2170MHz, 1900-1980 und 2010-2025MHz	PMR-Bänder (160, 400, 868MHz)	PMR-Bänder (160, 400, 868MHz)	MT: 1,616-1,6265 GHz, Uplink 29,1-29,3 GHz, Downlink 19,4-19,6 GHz	MT: Uplink 1,6 GHz - 2,5GHz Downlink, Uplink 5,1 GHz, Downlink 6,9 GHz	MT: Uplink 1,6 GHz - 2,5GHz Downlink, Uplink 3,6-4,2 GHz, Downlink 5,8-6,2 GHz
Sendeleistung	MT: 2W, BS: 30-120W (10-40W pro Sektor)	MT: 0,125-2W, BS: 20W pro Sektor	MT: 1,3,10W, BS: 25W ERP	MT: 1,2,10W, BS: 25W ERP	30-100W pro Satellit	k.a.	k.a.
Multiplex	TDMA	WCDMA	TDMA (FDMA)	FDMA (FDD)	FDMA/TDMA	CDMA	CDMA
Modulation	GMSK	4PSK	$\frac{\pi}{4}$ -DQPSK	GMSK (BT=0,25)	QPSK	QPSK	k.a.
Datenrate	9,6 - 14,4Kbit/s, GPRS:171, 2Kbit/s,HSCSD: 57,6Kbit/s,EDGE:473, 6Kbit/s	2Mbit/s	28, 8Kbit/s	7, 6Kbit/s	2, 4Kbit/s	9, 6Kbit/s	k.a.
Reichweite	bis 35km	< 2km (< 500m für hohe Datenrate)	14km (Stadtgebiet: 4,5km)	20km (Stadtgebiet: 6km)	Abdeckung 100%	Abdeckung 80%	Abdeckung nahe 100% (außer Pole)
Zulassung	Frequenzvergabe	Frequenzvergabe	Nutzergruppen und BOS	Nutzergruppen und BOS	Intern. Frequenzvergabe	Intern. Frequenzvergabe	Intern. Frequenzvergabe
Lizenzkosten	Grundgebühr + Verbindungskosten	Grundgebühr + Verbindungskosten	Grundgebühr	Grundgebühr	Grundgebühr + Verbindungskosten	Grundgebühr + Verbindungskosten	Grundgebühr + Verbindungskosten
Mobilität	bis 250km/h	bis 500km/h (niedrige Datenrate)	bis 200km/h	bis 200km/h	k.a.	k.a.	k.a.
Verfügbarkeit	Verfügbar	Verfügbar	Teilweise verfügbar	Teilweise verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar

Die Auswahl eines geeigneten Funksystems wird, auch wegen der fehlenden Gesamtübersicht, durch verschieden externe Parameter beeinflusst. Oftmals ist es so, dass ein System gewählt wird und die technische Realisierung dann mit den Parametern des Funksystems arbeiten muß. Für Anwendungen in Flottenmanagementsystemen sind zwei Funksystemtypen, auf Basis von Mobilfunknetzen und Satellitenkommunikation, häufig anzutreffen.

2.6.1 Mobilfunksysteme

Mobilfunk bezeichnet Funksysteme, die mit beweglichen Sendern und/oder Empfängern arbeiten. Des Weiteren kann man zwischen Verteilnetze und Vermittlungsnetzen unterscheiden. Verteilnetze sind Simplexsysteme, die nur in einer Richtung von Sender zu Empfänger Informationen übertragen⁷⁹. Duplexsysteme⁸⁰ ermöglichen für beide Kommunikationspartner sowohl das Senden als auch das Empfangen. Ist gleichzeitiges Senden und Empfangen möglich wird von Vollduplexsystemen gesprochen. Üblicherweise werden Mobilfunksysteme anhand des von ihnen abgedeckten Gebietes klassifiziert. Angefangen von globalen Systemen, wie den Satellitensystemen über kontinentale Systeme⁸¹ hin zu lokalen und persönlichen Systeme (Wlan und Bluetooth). Für Jahrzehnte konnte diese Einteilung anhand der Reichweite vorgenommen werden. Erst mit der Einführung von zellularen Funknetzen konnten beliebig große Flächen auch mit Funksystemen kleiner Reichweite versorgt werden. Ebenso konnten fast beliebige Kapazitätsbedürfnisse erfüllt werden. Zelluläre Netze werden aus einzelnen Zellen gebildet, die jeweils einen Sender beinhalten. Die Größe einer Zelle wird durch die Reichweite bestimmt. Die Ressource Frequenz ist bei allen Funkanwendungen der begrenzende Faktor. In einem zellularen System ist es möglich in verschiedenen Zellen, dieselbe Funkfrequenz zu benutzen, solange die Zellen genügend weit auseinander liegen. Damit ist eine Steigerung der Nutzerzahlen und der Datenübertragungskapazität möglich. Der Nachteil von zellulären Netzen ist die aufwendige Infrastruktur, die notwendig ist, um große Flächen mit Netzzellen abzudecken.

2.6.2 Satellitennetze

Da die weltweite Kommunikation eine Forderung unserer modernen Welt ist, wurden Satellitenkommunikationssysteme entwickelt und gebaut. In diesen globalen Netzen bilden Satelliten die zelluläre Netzinfrastruktur. Satellitennetze besitzen damit sowohl mobile Sender- als auch mobile Empfängerstationen. Um eine sinnvolle Datenrate zu erreichen, betreiben die meisten Satellitenfunksysteme ihr Satelliten auf einem LEO. Sie umkreisen die Erde durch ihre niedrige Umlaufbahn sehr schnell⁸². Daher werden bis zu 75 Satelliten benötigt, um eine globale und dauerhafte Abdeckung der Erde zu garantieren. Aufgrund der Mobilität der aller Komponenten ergeben sich komplexe Abläufe für das Handover zwischen Satelliten (auch bei Stillstand des Empfängers). Aus Kostengründen werden oft weniger Satelliten benutzt, was sich für den Kunden u.a. in Verbindungsausfällen und nicht Verfügbarkeit des Dienstes bemerkbar macht.

2.7 Verteilte Systeme (VS)

2.7.1 Synchrone und asynchrone verteilte Systeme

Verteilte Systeme sind ein Ansatz zur Beschreibung von biologischen oder technischen Systemen. Ein verteiltes System besteht aus Komponenten, die physisch oder auch logisch getrennt sind. Die Beziehung zwischen den Komponenten wird mittels Kommunikation hergestellt. Anhand der

⁷⁹z.B.: Rundfunk oder Funkrufsysteme

⁸⁰Halb- oder Vollduplex

⁸¹GSM in Europa oder CDMA in Amerika

⁸²In etwa 100 Minuten

Kommunikationsbeziehung und der Prozessausführungszeiten lassen sich VS in 2 Gruppen einteilen. Synchron verteilte Systeme basieren auf einer synchronen Datenübertragung. Darüber hinaus sind in solchen Systemen die Komponenten untereinander über eine synchrone Uhr gekoppelt. Die überwiegende Mehrzahl der verteilten Systeme ist asynchron. Bei dieser 2. Variante sind die Komponenten nicht zueinander zeitsynchron und die Kommunikation erfolgt mittels asynchroner Verfahren. Die in der Literatur am häufigsten verwendeten Definitionen von verteilten Systemen stammen von Leslie Lamport:

„A distributed system is one in which the failure of a computer you didn't even know existed can render your own computer unusable.“ [82]

und von Andrew S. Tanenbaum:

„A distributed system is a collection of independent computers that appear to the users of the system as a single computer.“ [83]

Die Betrachtungen in der Literatur beziehen sich überwiegend auf verteilte Rechnersysteme [84]. Eine Definition eines verteilten Systems als Grundlage für allgemeinere Betrachtungen kann folgendermaßen aufgestellt werden:

„Ein verteiltes System besteht aus einer Anzahl räumlich oder logisch getrennter Komponenten, die, mittels Kommunikation gekoppelt, gemeinsame Ziele verfolgen.“

Die Vorteile eines verteilten Systems liegen in der leichten Erweiterbarkeit und besseren Skalierbarkeit gegenüber zentralisierten Systemen. Nachteile ergeben sich aus der steigenden Komplexität und Problemen mit der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit des Gesamtsystems bzw. von Teilkomponenten.

2.7.2 Mobile verteilte Systeme (MVS)

Die gewaltigen Erfolge der mobilfunkbasierten Kommunikation ebneten den Weg für neue Wissenschaftsfelder (Ubiquitous/Nomadic/Distributed Computing). Diese Bereiche beschäftigen sich mit der nahtlosen Integration von Computern und deren Funktionalität in das Umfeld von Menschen. Neben der Verteilung von Rechnersystemen gewinnt in diesem Zusammenhang die Mobilität von Komponenten an Bedeutung. Ein, wie auch immer geartetes, System muss der natürlichen Bewegung der Menschen folgen können. Aus der Bewegung und damit verbunden, der Position von Komponenten zueinander, ergeben sich Eigenschaften, die mit dem Ansatz „Mobile verteilte Systeme“ betrachtet werden.

2.7.3 Verteiltes Steuerungssystem (VSS)

Die Steuerung eines automatisierten Prozesses erfolgt in der Regel über zentrale speicherprogrammierbare Steuerungen mit lokaler oder dezentraler Peripherie. Ein verteiltes Steuerungssystem hingegen besteht aus mehreren, verteilten Steuergeräten auf denen Unter- bzw. Teilsteuern ablaufen. Durch die Kommunikation untereinander bilden die Teilsysteme ein einziges verteiltes Steuerungssystem. Zusammenfassend kann man ein verteiltes Steuerungssystem wie folgt charakterisieren:

„Ein verteiltes Steuerungssystem besteht aus funktionell autarken Untersteuerungssystemen, die aufgrund ihrer internen Kommunikation als ein einziges System aufzufassen sind.“

Im Gegensatz zu zentralen Steuerungssystemen mit dezentraler Peripherie ist nicht mehr nur die Hardware verteilt, sondern auch die Steuerungssoftware. Die prozessnahe Kombination von Mecha-

nik, Elektronik und Steuerungssoftware wird in diesem Zusammenhang auch als technologisches Modul verstanden [85]. Ein verteiltes Steuerungssystem besteht somit aus vernetzten, programmierbaren technologischen Modulen. Dabei müssen nicht alle Systemkomponenten mit dem zu automatisierenden Prozess verbunden sein. Der Wegfall einer zentralen Steuerungskomponente beeinträchtigte die Überwachung und Archivierung von wichtigen Prozesszuständen an zentraler Stelle. Dieser Umstand führte zur schnellen und weitreichenden Einführung von SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) Systemen. Diese Systeme bestehen aus 2 abstrakten Ebenen. Einerseits ist das die Schnittstelle mit dem Bediener, das MMI (Man-Machine-Interface) und auf der anderen Seite die Datenmanagementebene. Für den Entwurf eines verteilten Steuerungssystems eignen sich Methoden nach dem IEC 61499-Standard [86]. Bei dieser Entwurfsphilosophie werden gekapselte Funktionsbausteine individuell für die jeweilige Applikation zusammengeschaltet und können, entsprechend ihrer Funktionalität, später wieder verwendet werden [87, 88, 89]. Die Beschreibung der Systeme mit Hilfe von Petri-Netzen, die konform zum DIN 61499-Standard sind, ist dabei ein Ansatz zur Modellierung von verteilten Steuerungssystem [90, 91]. Neben dem Softwareentwurf spielt die Art der Kommunikation in verteilten und besonders in mobilen verteilten Steuerungssystemen eine entscheidende Rolle. Die für die Vernetzung der Komponenten zur Verfügung stehenden Kommunikationsverbindungen sind Bestandteil intensiver universitärer und industrieller Forschungsbemühungen. Daraus entstanden in den letzten Jahrzehnten verschiedenste Bussysteme, die die herkömmliche serielle Kommunikation verdrängten. Neueste Ansätze beschäftigen sich aktuell mit der Verwendung von Ethernet und davon abgeleiteten, echtzeitfähigen Netzen zur Kommunikation in der Automatisierungstechnik [92].

2.7.4 Mobile verteilte Steuerungssysteme (MVSS)

Abseits dieser mediengebundenen Kommunikationssysteme geht der Trend in der Automatisierungsbranche hin zum Einsatz von drahtlosen Funksystemen für die Übertragung von Steuerungsdaten. Die dabei auftretenden Schwierigkeiten lassen sich durch die Betrachtung der wichtigsten Parameter der Mobilkommunikation leicht erahnen. Diese Systeme sind nur bedingt echtzeitfähig, haben eine geringe Übertragungsbandbreite und eine höhere Bitfehlerrate als kabelgebundene Kommunikationsverfahren. Die möglichen Vorteile und die größere Flexibilität wollen dennoch viele Firmen mit eigenen Produkten nutzen. Die Vielfalt der Lösungen macht daher aktuell die Entscheidung für ein bestimmtes System nicht einfacher, insbesondere wenn auf Investitionssicherheit und Zukunftsfähigkeit Wert gelegt wird. Seitens der Hersteller gibt es daher Bemühungen den Einsatz von Funksystemen zu einem Standard zusammenzufassen⁸³. Die Richtlinie VDI/VDE 2185 [93] beschäftigt sich mit der funkgestützten Kommunikation in der Automatisierungstechnik. Auf Basis dieser Richtlinie ergeben sich Ansätze für die Konzeption von technischen Anlagen, die der Flexibilität der heutigen Fertigung Rechnung tragen. Die Richtlinie VDI/VDE 2185 fungiert dabei als Überblickswerk zu aktuell verfügbaren Funktechnologien. Nur auf Basis von drahtloser Kommunikation lassen sich effektiv mobile verteilte Steuerungssysteme verwirklichen⁸⁴. Dabei kann grundsätzlich zwischen zwei Ansätzen unterschieden werden. Zum einen sind das Systeme mit stationärer Kommunikationsinfrastruktur und zum anderen mobile ad-hoc Netze (MANET oder MeshNet) [94, 95]. Wichtige Bedingung für ein MVSS ist, dass die Mobilität des Steuerungssystems oder von Untersteuerungsebenen von funktionaler Bedeutung ist. Sobald sich die Mobilität komplett verbergen lässt bzw. nicht als Mobilität einzelner Steuerungskomponenten zueinander definiert wird⁸⁵, kann nicht von einem MVSS gesprochen werden. Folgende Definition lässt sich für

⁸³Besonders hervor getan hat sich dabei der VDI/VDE-GMA-Fachausschuss 5.14 (Funkgestützte Kommunikation).

Aus dessen Arbeit entstand der Entwurf für die VDI/VDE Richtlinie 2185 [90]

⁸⁴MVSS auf Basis von kabelgebundener Kommunikation sind vorstellbar, aber stark in ihrer Flexibilität beschränkt.

⁸⁵Ein verteiltes Steuerungssystem eines Schiffes ist beispielsweise nicht als mobiles verteiltes Steuerungssystem anzusehen, da sich zwar das Schiff bewegt, aber die Komponenten untereinander keine Positionsänderung durch-

ein MVSS aufstellen:

Ein mobiles verteiltes Steuerungssystem besteht aus funktionell autarken, beliebig zueinander ortsveränderlichen Untersteuerungssystemen, die aufgrund ihrer internen Kommunikation als ein einziges System aufzufassen sind.

2.8 Positionsbestimmungssysteme

2.8.1 Positionsbestimmungssysteme im Kontext des Steuerungssystems

Die Bestimmung und Verfolgung der Position von mobilen Komponenten ist in vielen Wissenschafts- und Technikbereichen eine zentrale Aufgabenstellung. Die Anforderungen an Genauigkeit, Integrität und Geschwindigkeit der Bestimmung sind dabei so vielfältig, wie die Einsatzgebiete der Systeme. In klassischen Steuerungssystemen ist die Position ein zentraler Parameter, der häufig als zu beeinflussende Größe selbst gesteuert wird. Eine positionsabhängige Steuerung anderer Parameter ist ungleich seltener anzutreffen. Diese Systeme besitzen oftmals einen ausgeprägten hierarchischen Aufbau, bei dem die Positionssteuerung Daten an untergelagerte Steuereinrichtungen weiterleitet, die dann ihrerseits Parameter abhängig von der Position beeinflussen⁸⁶. Die in Kapitel 4.2.4 aufgestellten Forderungen bezüglich der Positionsbestimmung stellen den Rahmen für die Beurteilung der verschiedenen Verfahren dar. Darüber hinaus sind technische Aspekte der Realisierung und Einsatzplanung für eine Bewertung von Interesse. Die Übersichtsbetrachtungen in der Literatur zum Thema Positionsbestimmungssysteme beziehen sich in der Mehrzahl auf eine Unterteilung der Systeme in

- Satellitennavigation
- Innerhalb von Gebäuden
- Netzwerkgestützt

u.a. aus [97]

Diese Einteilung kann nicht zur Bewertung von Positionsbestimmungssystemen für mobile Steuerungsanwendungen in Tagebauen und Minen genutzt werden, da sich die Gruppen nicht gegenseitig ausschließen und Anwendungsfälle⁸⁷ existieren, die in mehrere Gruppen einzuteilen wären. Grundsätzlich lassen sich Lokalisierungssysteme anhand ihrer Wirkungsweise in selbstortende⁸⁸ und fernortende⁸⁹ Systeme gruppieren. Bei direkten Systemen ermitteln die mobilen Komponenten ihre Position selbst. Fernortende Systeme bestimmen die Position durch die stationären Systembestandteile. Es können auch beide Systembestandteile an der Positionsbestimmung beteiligt sein, allerdings ermittelt letztendlich immer nur eine Systemkomponente die endgültige Position. Für beide Varianten besteht damit das grundlegende Problem, dass die bestimmte Position den anderen Systemkomponenten⁹⁰ unbekannt ist. Daher wird in den allermeisten Fällen ein Lokalisierungssystem mit einem Kommunikationssystem gekoppelt. Die Position einer Komponente kann absolute oder relativ bestimmt werden. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass absolute Messsysteme ein gemeinsames Bezugssystem nutzen. Bei relativen Systemen kann jedes Objekt eigene Bezugspunkte referenzieren. Darüber hinaus müssen relative Systeme die vorherige Position des

führen.

⁸⁶Ein Beispiel für positionsabhängige Steuerung ist in [96] realisiert. Dabei wird die Leistung eines Lasers positionsabhängig gesteuert.

⁸⁷z.B.: Indoor-GPS [98]

⁸⁸auch als direkte, self-positioning oder gerätebasierte Positionsbestimmung bezeichnet

⁸⁹auch als remote-positioning oder netzbasierte Positionsbestimmung bezeichnet

⁹⁰Bei selbstortenden Systemen sind das die stationären Systembestandteile und bei fernortenden Systemen die mobilen Komponenten.

Objektes kennen, um eine Positionsbestimmung zu ermöglichen, deswegen ist eine Initialisierung mit einem absoluten Messsystem zu Beginn einer Messung nötig.

Im Kapitel 4.5.1 werden die Systeme zur Positionsbestimmung übersichtsmäßig dargestellt und auf ihre Eignung für den Einsatz im System „Mobile Technik“ hin untersucht.

2.8.2 GPS-Positionsmessung

Für die Positionsbestimmung per Global Positioning System sind mindestens 3 Satelliten nötig. Per Signal-Laufzeitmessung kann zu jedem Satelliten eine Entfernung bestimmt werden. Aus der Entfernung und der bekannten Position kann man mit einem Gleichungssystem die 3 unbekanntene Lage-Koordinaten bestimmen. Da die Ausbreitung der Satellitensignale mit Lichtgeschwindigkeit erfolgt, führt schon eine Uhrenabweichung von $1\mu s$ zu einer Abweichung der Position von etwa 300m. Diese Tatsache verdeutlicht die Notwendigkeit hochgenauer Zeitmessung im System. Die Signale eines 4. Satelliten werden verwendet, um vorhandene Zeitabweichungen zu kompensieren. Damit muss man in den Empfängern keine hochgenauen und sehr teuren Atomuhren verwenden, wie sie in den Satelliten zum Einsatz kommen. Neben der reinen Anzahl der Satelliten spielt auch die geometrische Verteilung der Satelliten am Himmel eine bedeutende Rolle für die Genauigkeit des Positionsergebnisses. Da die Satelliten sich auf ihren Bahnen um die Erde bewegen, ergibt sich für den festen Beobachter auf der Erde eine sich ständig ändernde Satellitenstellungsgeometrie. Das wiederum bedeutet, dass die Güte der Positionsergebnisse selbst bei statischen Beobachtern schwankt. U.a. deswegen werden Genauigkeitsangaben des GPS immer mit Häufigkeitsangaben (in %) versehen. (z.B.: Die Genauigkeit des GPS liegt innerhalb von $\pm 10m$ in 98% der Messungen). Moderne GPS-Empfänger wählen aus allen empfangbaren Satelliten diejenigen aus, die die beste geometrische Verteilung am Himmel aus Sicht des Empfängers haben. Daher ist eine große Anzahl von Satelliten für eine genauere Positionsbestimmung wichtig, auch wenn letztendlich nur 4 Satelliten wirklich zur Positionsbestimmung genutzt werden. Weitere Fehlerquellen bei der GPS Positionsbestimmung sind Störungen durch atmosphärische Einflüsse, Multipathausbreitung des GPS-Signals und Rauschen des Empfängers. Selbst Low-Cost GPS Empfänger sind in der Lage 12 Satelliten gleichzeitig zu beobachten und zu verfolgen. Daher bestimmen nur noch die Empfangsbedingungen (Abschattung etc.) wie viele Satelliten direkt sichtbar sind und für die Positionsbestimmung verwendet werden können.

2.8.3 Verbesserung der Positionsbestimmung

Zur Steigerung der Genauigkeit kommen folgende Varianten auf Basis von GPS in Betracht⁹¹.

2.8.3.1 Differenzielles GPS (DGPS)

Die Fehler die durch bzw. während des Signalweges durch die Atmosphäre auftreten können durch das Differentielle GPS ausgeglichen werden. Dazu wird an einer bekannten Referenzanlage der aktuelle Positionsfehler des GPS bestimmt. Aus diesen und den bekannten Werten des vermessenen Referenzpunktes wird ein Fehlerkorrekturwert für jeden einzelnen Satelliten berechnet. Diese Werte werden in Echtzeit über verschiedenste Kommunikationswege an die Empfänger weitergeleitet. Mit diesen Korrekturwerten sind die Empfänger in der Lage genauere Positionsbestimmungen durchzuführen. Mit diesen Systemen ist es dann möglich Genauigkeiten von 1m (98%) zu erreichen. Die Aussendung der Signale per Funk oder auch Internet ist in der Regel mit Abo-Kosten verbunden. Weiterhin ist zu beachten, dass in verschiedenen Ländern verschiedene Systeme existieren. In Küstenregionen ist z.B. ein System (IALA) verbreitet, dass per Langwelle die Korrektursignale aussenden.

⁹¹Untersuchungen dazu in [99]

2.8.3.2 EGNOS/WAAS/MSAS

Eine Variante um kostenlos DGPS-Korrektursignale zu empfangen sind die Systeme EGNOS/WAAS/MSAS. Die Systeme sind untereinander kompatibel, d.h. die Empfänger können auch mit den jeweils anderen Systemen verwendet werden. Dabei werden die Korrektursignale von einer Bodenstation an einen geostationären Satelliten gesendet. Die von diesem Satellit ausgestrahlten Signale können dann von speziellen Empfängern parallel zu den GPS Signalen empfangen und benutzt werden. Der Einsatzbereich von WAAS ist dabei auf Nordamerika, bei EGNOS auf Europa und bei MSAS auf den Raum Japan/Asien beschränkt. Der Satellit zur Übermittlung der Korrekturdaten hat nur eine geringe Elevation über dem Horizont. Damit kommt es relativ häufig zu Abschattungen durch Gebäude oder Geländeprofile.

2.8.3.3 Sonstige Systeme

Pseudoliten Für besonders wichtige Messungen oder viele Messungen besteht die technische Möglichkeit einen Sender aufzubauen, der die Signale eines Satelliten simuliert. Mit diesem Pseudoliten wird sozusagen ein weiterer Satellit bereitgestellt. Den Empfängern steht damit eine gut zu empfangende Quelle für Positionsrechnung zur Verfügung. Diese Methode ist für tiefe Tagebaue oder andere komplizierte Geländestrukturen geeignet. Die Kosten liegen aber jenseits des Fokuses dieser Arbeit.

Andere GPS-Messverfahren (RTK) Schon seit vielen Jahren stehen Methoden bereit, um die vom Satelliten abgestrahlten Signale anders auszuwerten. Bei der Trägerphasenmessung wird die Entfernungsmessung nicht mit dem aufmodulierten Code durchgeführt, vielmehr wird die eigentliche Trägerphase ausgewertet. Dieses Verfahren ist mathematisch wesentlich aufwendiger, liefert aber auch bessere Ergebnisse. Die für Trägerphasenmessung geeigneten Empfänger sind allerdings auch um Größenordnungen teurer. Weiterhin unterliegen diese Systeme gewissen Einschränkungen bezüglich der Dauer der Messungen und der Dynamik.

Zukünftige GPS-Entwicklungen Seit dem Jahr 2004 werden neue GPS-Satellitentypen (IIR-M Block Satelliten) in den Weltraum befördert. Diese Satelliten stellen eine weitere Frequenz für den zivilen Empfang zur Verfügung. Die zweite Differenz erlaubt die Filterung bestimmter laufzeitbedingter Fehler, insgesamt ist mit einer größeren Leistungsfähigkeit des GPS zu rechnen. Allerdings dauert der Aufbau dieses System noch bis 2007 und die Verwendung der 2. zivilen Frequenz erfordert darüberhinaus den Einsatz neuer GPS-Module.

2.9 Zeit

„Zeit ist, was die Uhr misst!“ Albert Einstein

2.9.1 Definition der Zeit

Zeit ist eine der Basisgrößen des Internationalen Systems der Einheiten (Système International d'Unités (SI)). Die Zeit wird in Sekunden gemessen und ist die Grundlage für die Definition der Längeneinheit Meter und die Definition der Frequenz. Die SI-Sekunde ist definiert als 9.192.631.770 Schwingungen eines Hyperfeinstrukturübergangs im Grundzustand von Cäsium-133. Die Atomzeit wird mit Hilfe von Atomuhren in eine praktisch nutzbare Zeit umgesetzt. Da Atomuhren, wie alle realen physikalischen Systeme, nicht 100% exakt die Zeit liefern können, bildet man den gewichteten Mittelwert vieler Atomuhren und erhält so die TAI (frz. Temps Atomique International). Damit lässt sich die SI-Sekunde mit einer relativen Genauigkeit von $2 * 10^{-14}$ realisieren [100]. Bei dieser

Genauigkeit spielen relativistische Effekte eine Rolle, daher ist die Geschwindigkeit der Atomuhr von Bedeutung. Nach der Definition wird die Zeit für einen Ort auf Meereshöhe, der sich mit der Erde bewegt, bestimmt. Die Weltzeit (Universal Time (UT)) wurde 1926 eingeführt. Sie ersetzte die Greenwich Mean Time (GMT). Dieses Zeitsystem basiert auf Umläufen der Erde, die mit mathematischen Formeln an die wirklichen Gegebenheiten angepasst werden. Die verschiedenen Korrekturstufen sind unter den Bezeichnungen UT0 bis UT2 bekannt. Dabei stellt UT2 die genaueste Zeitskala dar, die sich aus der Erdrotation ableiten lässt. Da aber mit den Atomuhren eine genauere Zeitskala verfügbar war, wurde die „Koordinierte Weltzeit“ (Cordinated Universal Time (UTC)) eingeführt. Sie bildet die internationale Grundlage für Zeitbestimmungen im technischen und wissenschaftlichen Bereich. Unter Federführung des BIPM⁹² wird von weltweit 50 Instituten die UTC bestimmt. Die nationalen Zeitinstitute sorgen für eine möglichst gute Übereinstimmung der jeweiligen lokalen Zeitskala UTC(k) mit der UTC⁹³. Weiterhin wurde festgelegt, dass die Differenz zwischen UTC und UT1 nicht größer als 0,9 Sekunden sein sollte. Da die SI-Sekunde nicht mit der UT1-Sekunde übereinstimmt, müssen bei Bedarf Schaltsekunden in die UTC eingefügt werden, um die Differenz im gültigen Bereich zu halten. Die Ursache für die Schaltsekunden ist u.a. die unregelmäßige Schwankung der Erdrotation. Die Verlangsamung der Erdrotation hingegen spielt keine Rolle, da sie nur etwa 2 Millisekunden pro Jahrhundert beträgt. Ein weiterer Faktor ist die Definition der SI-Sekunde, die auf die Dauer des Jahres 1900 zurückgeht. Da dieses Jahr im Vergleich zum langjährigen Mittel zu kurz war, ist die SI-Sekunde im Vergleich zur UT1 Sekunde ebenfalls zu kurz und erfordert daher die besagten Schaltsekunden. Im Jahr 2004 betrug die Differenz zwischen UTC und TAI 32 Sekunden⁹⁴.

2.9.2 Bedeutung der Zeit aus technischer Sicht

Für komplexe technische Systeme ist eine, durch eine Uhr repräsentierte, Systemzeit eine Notwendigkeit. Ihre Bedeutung erlangt sie für die Koordination von Messungen, als Bezugsgröße zur Darstellung von Reihenfolgen und als Basis für Kommunikationsvorgänge und aller koordinierten Aktionen.

2.9.3 Gesetzliche Zeit

Im Zeitgesetz vom 1978 [102] wurde die PTB mit der Darstellung und Verbreitung der gesetzlichen Zeit beauftragt. Die mitteleuropäische Zeit (MEZ) wurde als die für das ganze Gebiet Deutschlands gültige gesetzliche Zeit festgelegt. Die mitteleuropäische Zeit berechnet sich aus der UTC plus eine Stunde:

$$MEZ = UTC + 1h$$

Die mitteleuropäische Sommerzeit wurde 1980 wieder eingeführt, nachdem sie bereits in den Kriegsjahren genutzt wurde. Die Sommerzeit ergibt sich aus der UTC plus 2 Stunden:

$$MESZ = UTC + 2h$$

2.9.4 GPS-ZEIT

Für den Betrieb des GPS wird eine hochpräzise Zeitbasis benötigt. Der Betreiber des GPS überwacht die Zeitbasis⁹⁵ und sorgt dafür, dass die Abweichung zwischen der GPS Master Uhr und der

⁹²Bureau International des Poids et Mesures

⁹³Für Deutschland betrug die Abweichung zwischen UTC und UTC(PTB) am 1.1.2000 32ns [101].

⁹⁴Die Differenz setzt sich zusammen aus 22 Schaltsekunden und den 10 Sekunden Differenz die bereits bei der Einführung der UTC am 01.01.1972 vorlagen.

⁹⁵Für die Erhaltung der gemeinsamen Zeitbasis zwischen den Stationen wird der Zweiweg-Zeitvergleich genutzt. Siehe dazu [103]

UTC(UNSO)⁹⁶ immer kleiner als 1 Mikrosekunde ist.

Um Systemstörungen zu vermeiden basiert die GPS-Zeit auf der UTC vom 6. Jan. 1980. Alle seit dieser Zeit in die UTC eingefügten Schaltsekunden wurden nicht in die GPS Zeit übernommen, da die Zeitsprünge von 1 Sekunde im Extremfall katastrophale Auswirkung auf die Nutzer haben könnten. Die Differenz zur UTC beträgt daher aktuell 13 Sekunden. Die Abweichung zwischen GPS-Zeit und UTC wird vom GPS mit übermittelt, daher kann sich jeder Nutzer die UTC selbst rekonstruieren [104].

2.9.5 Zeitzeichensender

In vielen, vor allem in den flächenmäßig großen Ländern, werden Funksender betrieben, die aktuelle Zeitzeichen aussenden. Unter dem Namen DCF77⁹⁷ wird von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) [101] ein Zeitsignalservice für den mitteleuropäischen Raum angeboten. Auf der Normalfrequenz 77,5 kHz wird im Dauerbetrieb ein amplitudenmoduliertes Signal ausgestrahlt, das die Zeitinformation in kodierter⁹⁸ Form enthält. Dieses Signal ist in einem Umkreis von ca. 2000km⁹⁹ um den Senderstandort Mainflingen bei Frankfurt/Main zu empfangen. Seit 1983 wird neben dem AM Signal noch ein pseudozufälliges Phasenrauschen aufmoduliert. Dazu wird die Phase um einen Phasenhub von ± 12 Grad umgetastet. Durch diese Technik lässt sich eine genauere Bestimmung der Ankunftszeit des Funksignals auf Empfängerseite durchführen. Für die Generierung der Zeitinformation stehen in Mainflingen drei Atomuhren zur Verfügung, die zur Sicherstellung der korrekten Zeit die 3 Zeitsignale gegeneinander abgleichen und nur nach erfolgreicher Prüfung weitergeben. Durch die Nutzung von Langwellenfunk ist auf der Nutzerseite ein einfacher und kostengünstiger Empfang sichergestellt. Mittels üblicher technischer Systeme kann eine Genauigkeit von ± 5 ms bis ± 25 ms¹⁰⁰ erreicht werden. Neben der Aussendung des DCF77 bietet die PTB seit 1995 einen Telefonzeitdienst¹⁰¹ und zwei Internetzeitserver an. Die Kodierung der Signale folgt bei der Telefonübertragung nach dem „Europäischen Telefonzeitkode“, auf den sich die internationalen Zeitinstitute geeinigt haben. Mit Laufzeitkorrektur sind mit dem Telefonservice Genauigkeiten von wenigen Millisekunden möglich. Über die Internetzeitserver¹⁰² verbreitet die PTB die UTC per „Network Time Protocol (NTP)“. Die Rechner sind per Lichtwellenleiter mit den Atomuhren der PTB synchronisiert, zusätzlich empfängt jeder Server zur Kontrolle die DCF77 Signale. Die erreichbare Genauigkeit liegt bei etwa $\pm 10 - \pm 50$ ms. Im Rahmen der Zusammenarbeit von europäischen und internationalen Einrichtungen wird die UTC auch per Satellit direkt ausgestrahlt. Die erreichbare Genauigkeit wird für GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) mit $\pm 0,1$ ms angegeben [108]. Da aber GPS Empfänger bei gleichen Einsatzparametern¹⁰³ deutlich billiger sind und eine bessere Genauigkeit liefern, sei GOES [109]¹⁰⁴ hier nur der Vollständigkeit halber genannt.

⁹⁶Die USNO (U.S. Naval Observatory) versorgt das US-Verteidigungsministerium und das GPS mit der Standardzeit.

⁹⁷D steht dabei für Deutschland. C wurde als Kennzeichnung für Langwellensender gewählt. Das F beschreibt die räumliche Nähe des Serverstandortes Mainflingens zu Frankfurt. Die beiden Ziffern beschreiben die Trägerfrequenz 77,5 kHz. Als Rufzeichen wird dieser Name dreimal stündlich zusätzlich zum Zeitsignal gesendet.

⁹⁸Für Informationen zur Kodierung eignet sich [105]

⁹⁹Dieser Wert wird von der PTB genannt und gilt für einen zuverlässigen ganztägigen Empfang. Aufgrund von Reflexionen können auch in entfernteren Gebieten die Signale unregelmäßig empfangen werden. Unter [106] wird von unregelmäßig erreichten Reichweiten von bis zu 5000 km berichtet.

¹⁰⁰Mit Auswertung der Pseudozufallsfolge und unter Einbeziehung des Empfängerstandortes können auch Genauigkeiten von 1ms erreicht werden. [107]

¹⁰¹Die Rufnummer für den Telefonzeitdienst lautet: 0531/512038

¹⁰²über ptbtime1.ptb.de bzw. ptbtime2.ptb.de zu erreichen

¹⁰³Es wird jeweils eine Außenantenne benötigt.

¹⁰⁴In der deutschsprachigen Literatur wird der Satellitendienst mit GEOS abgekürzt, in den Originalquellen [109] wird von GOES gesprochen

2.9.6 Logische Zeit

Für viele technische Systeme ist nicht die Zeit sondern die kausale Beziehung zwischen verschiedenen Ereignissen von Interesse. Die Definition von logischen Uhren vergibt für jedes lokale Ereignis einen monoton steigenden Zeitstempel. Für die Realisierung von logischen Uhren existieren 2 Konsistenzkriterien¹⁰⁵:

Schwaches Konsistenzkriterium:

$$e_1 \prec e_2 \Rightarrow C(e_1) < C(e_2) \quad (2.1)$$

Starkes Konsistenzkriterium:

$$C(e_1) < C(e_2) \Rightarrow e_1 \prec e_2 \quad (2.2)$$

Für die praktische Realisierung sind die Lampportzeit und die Vektorzeit von Bedeutung. Dabei realisiert die Lampportzeit nur die schwache Konsistenzbedingung.

Lampportzeit [110] Die Happened-Before Beziehung sagt aus, dass ein Ereignis a das vor einem anderen Ereignis b eingetreten ist (happened before) auch einen kleineren Zeitstempel bekommt. Weiterhin wird festgelegt, dass zueinandergehörige Sendeereignisse immer vor den Empfangsereignissen eintreten¹⁰⁶ und damit ebenfalls einen kleineren Zeitstempel besitzen. Mit Hilfe dieser Festlegungen ist es möglich, die Kausalität in einem lokalen System zu wahren. In verteilten Systemen können miteinander kommunizierende Knoten die Kausalität für Kommunikationsvorgänge beibehalten. Darüber hinaus sind aber keine Kausalitätsaussagen für ein verteiltes System möglich, da Ereignisse eines Knotens mit einem kleineren Zeitstempel durchaus nach einem Ereignis eines anderen Knotens mit einem größeren Zeitstempel eingetreten sein können.

Vektorzeit Zur Erfüllung des starken Konsistenzkriteriums für Uhren¹⁰⁷ wurde die Vektorzeit eingeführt. Die wesentliche Änderung zur Lampportzeit ist, dass statt eines einzelnen Zählers ein Vektor von Zählern verwendet wird. Jeder Knoten speichert die Zählerstände aller anderen Knoten (soweit diese ihm bekannt sind). Der aktuelle Zählerstand wird mit jeder Nachricht übertragen und ergibt dann auf der Empfängerseite zusammen mit dem dort vorhandenen Zähler einen neuen Vektor¹⁰⁸. Durch Vergleich der Vektorelemente kann eine Aussage zur Kausalität von Ereignissen getroffen werden. Im Speziellen gilt:

Ein Ereignis a ist die Ursache von Ereignis b, genau dann, wenn für jedes Element des Zeitvektors C(A) das zugehörige Element aus dem Zeitvektor C(B) größer oder gleich ist.

$$\begin{aligned} C(A) &= (A_1, A_2, A_3 \dots, A_n) \\ C(B) &= (B_1, B_2, B_3 \dots, B_n) \\ A \prec B &\Leftrightarrow \forall 1 \leq i \leq n : A_i \leq B_i \end{aligned} \quad (2.3)$$

Falls für 2 Ereignisse keine kausale Zusammengehörigkeit bestimmbar ist, sind diese beiden Ereignisse zueinander nebenläufig. Die Ereignisse sind kausal unabhängig.

$$\neg(e_1 \prec e_2) \wedge \neg(e_2 \prec e_1) \Leftrightarrow e_2 \parallel e_1 \Leftrightarrow e_1 \parallel e_2 \quad (2.4)$$

¹⁰⁵Auch als schwaches und starkes Konsistenzkriterium für Uhren bekannt.

¹⁰⁶Da jede Kommunikation eine endliche Zeit benötigt, tritt der Empfang immer nach dem Senden ein

¹⁰⁷siehe dazu [111]

¹⁰⁸Dabei wird aus den beiden Vektoren elementweise das Maximum gebildet

2.9.7 Precision Time Protocol (PTP) - IEEE 1588

Das PTP wird durch den IEEE Standard IEEE1588- „Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems“ [112], der im Jahr 2002 veröffentlicht wurde, beschrieben. Mit Hilfe dieses Protokolles kann in multicastfähigen Netzwerken eine präzise Uhrensynchronisation erreicht werden. Der IEEE-Standard ist geeignet für kleine Netze und benötigt nur wenig Verwaltungs- und Rechenaufwand. Die beste¹⁰⁹ Uhr im Netzwerk wird als Referenz (Masterclock) definiert. Dieser Zeitserver sendet per Multicast Synchronisationsinformationen an die anderen Teilnehmer. Der im Telegramm übermittelte Zeitstempel dient als Zeitbasis für die Klienten. Über ein Delay Request bestimmen die Knoten mit Hilfe der Masterclock die Verzögerung durch die Netzwerkübertragung. Symetrische Übertragungsverzögerungen¹¹⁰ lassen sich auf diesem Wege beseitigen. Für die exakte Bestimmung der Sende- und Empfangszeitpunkte muß eine spezielle Hardware eingesetzt werden. Sie filtert alle eingehenden Telegramme und versieht PTP-Telegramme mit einem Zeitstempel, der später vom Protokolltreiber ausgewertet wird. Mit dem PTP ist eine Genauigkeit von $1\mu s$ erreichbar. Voraussetzung ist allerdings, dass die Synchronisation ständig wiederholt wird¹¹¹. Für kaskadierte Netzwerke sind Verfahren mit Boundary- und Grandmasterclocks spezifiziert, die das zeitliche Verhalten von Switches und Hubs beherrschbar machen. Für die Nutzung in Netzwerken von Automatisierungssystemen wird statt der Boundaryclock die Verwendung von PTP-Bridges¹¹² diskutiert, da diese keine zusätzliche Regelung einführen, sondern nur die Durchlaufzeit der Telegramme durch einen Switch messen und das Telegramm entsprechend korrigieren.

2.9.8 Network Time Protocol (NTP)

Das NTP wurde in den 80iger Jahren von David Mills auf Basis des, in der RFC 868 [115] beschriebenen, Zeitprotokolls entwickelt [116, 117, 118, 119, 120, 121]. Aktuell hat sich NTP als Standard zur Synchronisation von Uhren in Netzwerken durchgesetzt. Die Grundlage bildet eine hierarchische Struktur von Zeitservern. Die einzelnen Ebenen werden Stratum genannt. Je kleiner der Stratumwert desto höher liegt die jeweilige Ebene in der Hierarchiestruktur. Die Referenzzeitquelle¹¹³ wird als Stratum 0 gekennzeichnet. Die damit synchronisierende Zeitserverebene wird als Stratum 1 bezeichnet. Üblicherweise werden nur bis zu 4 Ebenen realisiert, da ansonsten die Genauigkeit zu stark abnimmt. Das NTP misst die Umlaufzeitverzögerung¹¹⁴ zwischen Master und Slave. Aus den übertragenen Zeit- und Fehlerintervallwerten wird für die jeweils letzten Messungen eine statistische Auswertung vorgenommen. Diese Statistik wird für verschiedene Referenzzeitserver erstellt. Anhand dieser Werte bestimmt der Klient den Server mit den besten Werten bezüglich Delay, Jitter, Qualität der Übertragung und Stratumwert, um eine Synchronisation mit einer falschen Uhr möglichst auszuschließen. Der Klient synchronisiert sich mit dem gewählten Server und kann daraufhin auch als Server für weitere Klienten dienen¹¹⁵. Die Implementationen des NTP für verschiedene Betriebssysteme erlauben darüberhinaus auch die Anpassung der Systemuhr bezüglich der Frequenz. Es ist möglich die Systemuhr zu regeln, um ihre Zeitdrift zu verringern. Für lokale Netze kann mit dem NTP eine Genauigkeit von $1ms$ erreicht werden. Für Synchronisation über das Internet sind Genauigkeiten von etwa $10ms$ möglich¹¹⁶. Die theoretische Genauigkeit von NTP

¹⁰⁹bezüglich geringster Drift und Gangabweichung

¹¹⁰Hin- und Rücktransport einer Meldung verursacht die selbe zeitliche Verzögerung

¹¹¹mit $1/64$ bis 1 Hz [113]

¹¹²in der Literatur auch als Bypass Clock bezeichnet [114]

¹¹³oft eine Atomuhr, ein GPS- oder DCF77-Empfänger

¹¹⁴Round Trip Delay

¹¹⁵Der Stratumwert steigt entsprechend, da damit eine weitere Hierarchieebene eingeführt wird

¹¹⁶Die von der PTB betriebenen Server `ptbtime1.ptb.de` bzw. `ptbtime2.ptb.de` (Stratum1) erlauben bei geeigneter Netzanbindungen diese Genauigkeit

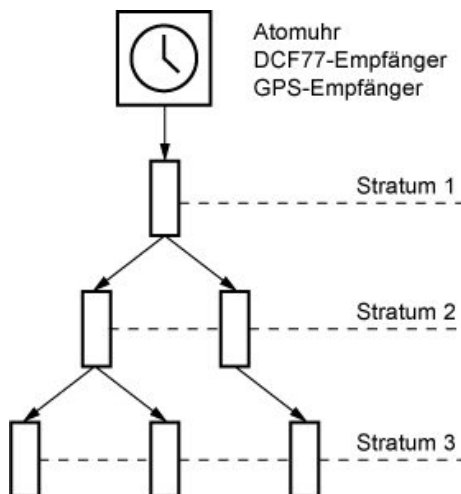


Abbildung 2.9: NTP Struktur der Zeitserver

liegt bei $232ps$ ¹¹⁷ [109]. Sobald diese Genauigkeit von Computeruhren¹¹⁸ erreicht wird, muss das NTP erweitert werden, um Inkonsistenzen zu vermeiden. In der RFC 2030 [121] wird ein Simple Network Time Protocol definiert. Diese vereinfachte Form des NTP ist für Klienten geeignet, die nur Genauigkeiten im 100ms Bereich benötigen. Die Implementierung und Nutzung des SNTP erfordert weniger Ressourcen und ist daher auch im mobilen Bereich verbreitet.

2.9.9 Distributed Time Service (DTS)

Der DTS wurde von der OSF (Open Software Foundation) für die Zeitsynchronisation im DCE (Distributed Computing Environment) vorgesehen. Die Verifikation der erreichten Genauigkeit ist dabei von besonderer Bedeutung. Die Klienten (Time Clerks) fragen, ähnlich dem NTP, verschiedene Server bezüglich der Zeit ab, allerdings werden im Gegensatz zu NTP keine historischen Messdaten berücksichtigt.

¹¹⁷Die Zeitrepräsentation im NTP besteht aus einem 64Bit-Wert. 32 Bit für die Sekundenanzahl und 32Bit für den Sekundenbruchteil. Daraus ergibt sich eine zeitliche Auflösung von $232ps$. Aus der 64Bit-Zeitdarstellung leitet sich auch der Überlauf der NTP-Zeit im Jahre 2036 ab. Da die Zeitrechnung am 01.01.1900 begann und der 32Bit lange Sekundenzähler nach 136 Jahren überläuft.

¹¹⁸d.h. sobald Computeruhren einen Takt von kleiner als $232ps$ besitzen

3 Ableitung der Forschungs- und Entwicklungsaufgabe

In den folgenden Kapiteln soll ein Konzept zur technischen Umsetzung der Aufgaben eines Flottenmanagementsystems im heterogenen Fahrzeug- und Maschinenumfeld eines Tagebaues, unter extremsten klimatischen und technischen Einsatzanforderungen, aufgezeigt werden. Die Integration eines Flottenmanagementsystems in den Produktionsprozess eines Tagebaues erfordert neben der notwendigen technischen Grundlage auch ein angepasstes Steuerungskonzept. Ein Steuerungskonzept ist eine umfassende Sammlung von Ideen, die durch Strategien und Methoden der Fachgebiete Steuerungs- und Regelungstechnik und Automatisierung auf reale Probleme anwendbar sind. Die Anwendung der Ideen muss auf alle beschriebenen Elemente der Klassen, für die das Konzept Gültigkeit besitzt, möglich sein¹. Die Ideen eines Konzeptes müssen dabei für die Anwender anhand von abstrakten Beschreibungen nachvollziehbar sein. Im Sinne eines Steuerungskonzeptes für ein FMS muss die Ideensammlung alle Aspekte des Aufgabenspektrums eines FMS umfassen. Daher ist die Definition der Funktionalität eines FMS von grundlegender Wichtigkeit. Darüber hinaus ist die Klasse der betroffenen Elemente² zu spezifizieren. Ebenso von Bedeutung ist die Eingrenzung des gültigen Einsatzbereiches. Im folgenden Kapitel sollen die Rahmenbedingungen für das Steuerungskonzept abgesteckt und der Gültigkeitsbereich eingegrenzt werden. Basierend auf diesen Aussagen wird im darauf folgenden Kapitel der eigentliche Konzeptentwurf dargestellt.

3.1 Funktionalität eines Flottenmanagementsystems für Tagebaue und Minen

Flottenmanagement umfasst alle Aspekte die durch und rund um den Einsatz von Fahrzeugflotten entstehen. Das Management, also die Planung, Steuerung und Kontrolle, einer Flotte von Fahrzeugen wird klassischer Weise als Logistikanwendung verstanden. Bei modernen Flottenmanagementsystemen steht aber die Nutzung von Informationssystemen im Vordergrund. Daraus und aus der notwendigen technischen Integration der Prozesse und Abläufe in und mit einem Rechnersystem entsteht ein breites Anwendungsfeld für Methoden der Automatisierungstechnik. Insbesondere die standardisierten Abläufe und automatischen Vorgänge der Informationsgewinnung und -übertragung lassen die Betrachtung durch „Automatisierer“ logisch erscheinen. In vielen Industriebereichen wird der Einsatz von FMS überhaupt erst durch moderne Kommunikations- und informationsverarbeitende Systeme ermöglicht. Die Vorteile eines FMS für Tagebaue sind unbestritten, die Herausforderung besteht darin, mit den vorhandenen technischen Möglichkeiten die wichtigsten Funktionalitäten umzusetzen und Einsparungspotential offenzulegen bzw. auszuschöpfen. Die Aufgaben eines Flottenmanagementsystems für Tagebaue und Minen umfassen, gruppiert nach den in Kapitel 2.3.2 beschriebenen Teilbereichen, folgende Punkte:

Transportmanagement

- Auftragsmanagement (Planung, Übermittlung, Verfolgung, Abrechnung)

¹Es sei denn, sie sind explizit vom Konzept als Ausnahmen beschrieben.

²Im speziellen Fall handelt es sich hier um die mobilen Systemkomponenten.

- Flottensteuerung (Materialtransport, Flottenanpassung an Aufträge)
- Status- und Zustandsmeldungen
- Qualitätsdatenerfassung
- Betriebsdatenerfassung

Verkehrsmanagement

- Positionsüberwachung (Diebstahlschutz - Geo-Fencing)
- Navigationslösungen
 - Routenplanung, -überwachung (Wegpunktvorgabe)
 - Routenoptimierung (Wartezeitenminimierung, Anfahr- und Stoppvorgänge)
 - Kollisionsvermeidung

Fahrzeugmanagement

- Maschinendatenerfassung (analoge/digitale Größen)
- Maschinendiagnose (Fehlererkennung, vorbeugende Wartung)
- Datenspeicherung und -langzeitarchivierung
- Kostenanalyse (tatsächliche Betriebsstunden)
 - Fahrzeugfinanzierung (Beschaffung, Leasing, Versicherung)
 - Kraftstoffverbrauchcontrolling und -beschaffung
 - Nebenkostencontrolling (Reinigung, Steuer)
- Wartungsmanagement (Reifen, Reparatur)
- Pannenunterstützung/Schadensmanagement
- Steuerung von Fahrzeugsystemen (Hydraulikdruckanpassung, Anpassung Motorsteuerung etc.)

Bedienermanagement

- Kommunikationsaufgaben (Fahrerkommunikation, Informationssysteme)
- Assistenzaufgaben (Hilfs- und Unterstützungssysteme, Infrarot Nachtsicht, Rückfahrkamera, Bremsassistentz,)
- Sicherheitsmanagement (Kollisionswarnung, Fahrerüberwachung)

3.2 Übersicht über die Aufgaben, Realisierungsansätze und Probleme von FMS in Tagebauen und Minen

Aufgabe	Beispiele für die Ausprägung der Aufgabe	Realisierungsvoraussetzungen und Probleme bei bestehenden Lösungen
Bediener		
Kommunikationssystem	Varianten der Fahrerkommunikation, Automatische Benachrichtigung vom System, Kommunikation zwischen Fahrern über das System ermöglichen	Extra Kommunikationssystem üblich, nicht integriert in bestehende Systeme. Kommunikationskosten und -zeiten werden nicht erfasst, Keine Aufzeichnung und damit keine nachträgliche Analyse bei Unfällen möglich.
Assistenzsystem	Fahrwegvorgabe, Warnungen bei möglichen Schadensfällen etc. Assistenz bei komplexen Arbeitsgängen, Unterstützung durch zusätzliche sensorische Informationen	Oft nur als separates Systeme erhältlich, extra Kosten für Anschaffung und Betrieb, Daten nicht in anderen Systeme übertragbar, meist fahrzeug- und herstellerabhängig
Sicherheitssystem	Abstandsüberwachung, Fahrerüberwachung, Kollisionswarnung	Meist nicht auf allen Fahrzeugen verfügbar, Nicht integriert in das Gesamtsystem, keine Aufzeichnung kritischer Vorgänge
Fahrzeug		
Datenerfassung (MDE)	Mobile Hardware mit intelligenten Steueralgorithmen, Vorverarbeitung der Sensordaten und online Übertragung von Daten	Keine exakte zeitliche Zuordnung der Daten Keine Daten über Verhalten des Kommunikationssystems (keine bekannten Laufzeiten) Hardware auf spezielle Fahrzeuge ausgelegt

Aufgabe	Ausprägung der Aufgabe	Probleme
Datenauswertung (Diagnose)	Auswertung von Maschinendaten, Trenddarstellung Mittelwertbildung und Grenzwertüberwachung	Kausalität nicht immer gewährleistet, Ereignisse nicht auf gleiche Ursache zurückzuführen Keine zeit- und ortsdiskrete Daten vorhanden, Keine Ortszuordnung von gemessenen Werten möglich, damit keine direkte Ursache für veränderte Werte erkennbar.
Wartung/ Pannenhilfe/ Schadensanalyse (Prognose)	Art des Vorfalls und Fahrzeugdaten bekannt, Einleitung weiterer Maßnahmen schneller möglich Vorbeugende Wartung durch Früherkennung von zukünftigen Problemen	Zugriff auf Daten ohne Onlineübertragung schwierig und zeitverzögert Zuordnung und Erkennung von Fehlern schwierig Position der Fahrzeuge für Notfallmaßnahmen wichtig Wissenschaftliche Grundlagen der Fehlerfrüherkennung in Tagebauen und Minen fehlen
Kostenanalyse	Erkennung von Kostenverursachern Ermittlung der Gesamtkostenzusammensetzung	Zuordnung von Kosten zu den verursachenden Aufträgen bisher nicht exakt möglich Keine Optimierung zur Vermeidung von bestimmten Kosten vorgesehen Keine Abschätzung der tatsächlichen Kosten in der Planungsphase möglich
Subsystemsteuerungen	Kurzfristige Anpassung der Motorleistung	Bisher keine genaue Bedarfserkennung möglich Kurzzeitige Steigerung der Motorleistung an Steigungen nur theoretisch angedacht
Verkehr		

Aufgabe	Ausprägung der Aufgabe	Probleme
Navigationen	Echtzeitfähige Routenplanung durch Onlinedaten Anpassung der Routen an Systemzustand, wenn an einem Ort bestimmte Messwerte kritisch werden kann die Route umgeplant werden. Flottenintegrierte Routenplanung -> Minimierung der Wartezeiten einzelner Teilnehmer durch gemeinsame Optimierung von Fahrzeugen	Keine Zeit und Ortsdiskreten Daten in Echtzeit verfügbar Flottenansatz nicht verfolgt nur Einzelfahrzeuge
Positionsbestimmung	Positionsbestimmung der Fahrzeuge mit hoher Genauigkeit Anpassung des Abfragetaktes an die Mobilität Bestimmung der Höhe mittels Barometer	Nur mit teurem GPS hohe Genauigkeit erreichbar Wetterdrift des Barometers Sinnvolle Häufigkeit der Positionsbestimmung
Transport		
Auftragsmanagement	Planung und Überwachung in Echtzeit Schnittstellen zu ERP Systemen	Daten nicht in Echtzeit verfügbar Schnittstellen der in Tagebauen verwendeten Systeme vielfältig
Flottensteuerung	Übersicht über vorhandene Flotten Mehrkriteriale Optimierung der Flottengröße etc.	Ansätze nur mit deutlichem Mehraufwand realisierbar Geeignetes Datenmaterial bereitstellen Nutzen der Optimierung nur schwer quantifizierbar
Qualitätsdatenerfassung	Unterstützung durch das System mittels definiert bestimmter Kenngrößen	Güte der Daten unklar Geeignete Sensoren fehlen oder sehr teuer
Betriebsdatenerfassung	Verwendung der vorhandenen Hardware zur Bestimmung der Auftragsfortschrittes	Ortskomponente fehlt bei der Betrachtung des aktuellen Auftragsstandes Onlinezugriff auf wichtige Daten nicht vorhanden
Archivierung	Archivierung aller Messdaten über längere Zeiträume	Messdaten werden von verschiedenen Systemen erfasst und unterschiedlich gespeichert

Tabelle 3.1: Übersicht über Aufgaben, Lösungsansätze und Probleme von FMS in Tagebauen und Minen

3.3 Flottenbegriff - Klassifizierung der mobilen Technik

Im Rahmen der Definition eines FMS wird der Begriff Flotte verwendet. In diesem Kontext ist eine Flotte die Gesamtheit aller mobilen Technik, die durch die Managementfunktionalität beeinflusst werden kann. Der Begriff mobile Technik umschreibt eine Vielzahl von Fahrzeugen, die direkt oder indirekt zur Materialförderung in Tagebauen und Minen eingesetzt werden³. Die mobile Technik lässt sich sinnvollerweise anhand der Ausprägung der Mobilität gruppieren. Dazu kann das jeweilige Fahrzeug in eine der folgenden Gruppen eingeordnet werden:

Hochmobile Systemkomponenten Diese Fahrzeuge bewegen sich im Rahmen ihrer Funktion sehr schnell. Die Grenze der Eingruppierung als sehr schnelle Bewegung wird dabei vom für die Kommunikation verwendeten Mobilfunksystem vorgegeben. Bewegt sich ein Teilnehmer schneller als für das Mobilfunksystem spezifiziert, kann man von einem hochmobilen Teilnehmer bezüglich dieses Mobilfunksystems sprechen. Diese Fahrzeuge können mit dem gewählten Mobilfunksystem nicht mehr direkt in die Kommunikationsstruktur eingebunden werden und damit auch nicht mehr vom Steuerungssystem online beeinflusst werden. Die Übermittlung von wichtigen Parametern kann nur indirekt in Phase geringerer Bewegungsaktivität vorgenommen werden. Moderne Kommunikationssysteme sind auch für große Teilnehmergegeschwindigkeiten spezifiziert, damit werden nur selten Objekte in diese Gruppe eingeteilt. In dieser Gruppe wäre beispielsweise Erkundungsflugzeuge vorstellbar, die idealerweise ihre Messdaten gleich an das Gesamtsystem senden würden, aber aufgrund ihrer hohen Eigengeschwindigkeit keine Kommunikationsverbindung aufbauen können.

Mobile Systemkomponenten Der überwiegende Teil der mobilen Technik kann in diese Gruppe eingeordnet werden. Diese Fahrzeuge bewegen sich zur Erfüllung ihrer Funktionalität mit kleiner bis mittlerer Geschwindigkeit. Die Übermittlung von Daten über ein Mobilfunksystem ist von technischer Seite her unproblematisch. Es gibt auch wiederkehrende Zeitabschnitte, in denen diese Fahrzeuge keine Bewegung ausführen, sei es aufgrund von Stillstandszeiten oder bedingt durch die Funktionalität (z.B. Beladungsvorgänge). Die Aktualisierung der Positionsinformation muss in zyklischer Abfolge durchgeführt werden, um die Positionsfehler aufgrund der Bewegung zu minimieren. Der typischste Vertreter dieser Fahrzeuggruppe im Tagebau ist der Muldenkipper. Diese Gruppe lässt sich noch anhand des Bewegungsmusters weiter untergliedern.

Feste Bewegung: Zum einen existieren Fahrzeuge die sich nur auf fest definierten Bahnen bewegen können. Die Ursache sind meist die technischen Gegebenheiten die die Mobilität realisieren. So sind beispielsweise Schienenfahrzeuge an ihren Fahrweg gebunden und können nur eine Position innerhalb bzw. auf dem Fahrweg einnehmen. In diesen Fällen kann die Positionsbestimmung des Gerätes über externe Systeme, die in Verbindung mit dem Fahrweg angebracht sind, vorgenommen werden⁴.

Beliebige Bewegung: Die zweite Untergruppe bilden Fahrzeuge die sich beliebig, im Rahmen ihrer technischen Möglichkeiten, auf dem Gelände des Tagebaues bewegen können. Bei diesen Systemen kommen überwiegend Positionsbestimmungssysteme zum Einsatz, die direkt mit dem Fahrzeug bewegt werden.

Quasistationäre Systemkomponenten Neben den mobilen Komponenten gibt es Geräte, die die überwiegende Zeit ihres Betriebes keine Ortsveränderungen vornehmen. Grundsätzlich besitzen sie zwar die Möglichkeit sich selbstständig oder durch Hilfe anderer Geräte fortzubewegen,

³Siehe dazu Kapitel 2.1.1

⁴Beispielsweise durch Wegaufnehmer auf Basis von Induktion

aber aufgrund ihrer Aufgabe ist die Mobilität nur von sekundärer Bedeutung. Die Positionsinformation kann als fest angenommen werden. Positionsänderungen sind immer mit einem Ereignis verknüpft und können anhand dessen aktualisiert werden. Mitglieder dieser Gruppe sind beispielsweise große Bagger.

Stationäre Systemkomponenten Im Rahmen der Automatisierung der mobilen Technik existieren Komponenten die selbst nicht mobil sind. Diese Bestandteile eines Tagebaues können aber mit der mobilen Technik in Interaktion treten. Für das System mobile Technik sind der allgemeine Zustand und die genaue Position dieser Geräte von Bedeutung. Ortsinformationen dieser Komponenten werden einmalig erfasst, meist im Rahmen der Inbetriebnahme, und im System hinterlegt.

Umfang der Bedienerinteraktion Von Bedeutung für die Automatisierung der mobilen Technik ist ein weiteres Unterscheidungsmerkmal, der Funktionsumfang bzw. die Bedeutung der Komponente aus produktionstechnischer Sicht. Damit einhergehend lässt sich erkennen, dass die Bedienung durch Personal ein wichtiges Indiz für die Bedeutung eines Vorganges ist. Zur Unterstützung des Bedieners, und damit für den Umfang und die Ausprägung der Funktionalität eines Hardwareklienten für die mobile Technik, ist es wichtig zu wissen in welchem Umfang das jeweilige Gerät von Bedienern gesteuert wird. Es lassen sich anhand des Bedienumfangs zwei Arten von mobiler Technik einteilen.

- Vollwertige Geräte, die mittels des Systems alle Funktionalitäten zur Verfügung gestellt bekommen müssen.
- Teil- bzw. Hilfssysteme, die nur einen eingeschränkten Funktionsumfang benötigen, da sie nur wenige Bedienungsaktionen benötigen und nicht von grundlegender Bedeutung für die Produktion sind.

3.4 Abgrenzung des Einsatzbereiches

Flottenmanagement, auch in Tagebauen, ist keine Erfindung unserer Tage. Bereits seit Jahrzehnten werden diese Systeme erforscht und verwendet. FMS werden in der Transport- und Logistikbranche durchgehend eingesetzt. Viele Hersteller bieten dafür komplette Systeme an⁵. Die Fortschritte der Telekommunikation und Rechnertechnik ermöglichen heutzutage auch den Einsatz unter den extremen Bedingungen der Bergbautechnik. Besonderheiten beim Einsatz von FMS in Tagebauen und Minen sind:

Geschlossener Nutzerkreis Das Gelände eines Tagebaues wird vom Minenbesitzer kontrolliert und betrieben. Damit ergibt sich für technische Anwendungen auf dem Gelände ein geschlossener Nutzerkreis. Das heißt, die Anzahl der Teilnehmer ist bekannt und kann am System angemeldet werden. Fremdfirmen bzw. -geräte können aber durchaus für kurze Zeiträume auf dem Gelände unterwegs sein bzw. betrieben werden. Daher ist im begrenzten Umfang eine einfache Integration zusätzlicher Fahrzeuge vorzusehen.

Keine Störung durch Dritte Da alle Prozesse des FMS auf dem Betriebsgelände ablaufen, ist mit keiner oder nur geringer Störung, besonders bei Funkanwendungen durch unbefugte Dritte, zu rechnen. Dennoch ist bei Übertragungen von sensiblen Daten mit Verschlüsselungsverfahren zu arbeiten, da diese Daten sonst verfälscht oder gestohlen werden könnten.

Abgeschlossenes bekanntes Betriebsgelände Für den Betrieb in Tagebauen vorgesehene Technik wird auch nur im direkten Umfeld dieser Anlagen betrieben. Das Einsatzgebiet ist somit

⁵Siehe dazu Kapitel 2.3.2

in seiner Abmessung bekannt und erlaubt bereits in der Planungsphase Aussagen über das zukünftige Kommunikationsverhalten. Üblicherweise befinden sich Tagebaue in entlegenen, nicht von der Zivilisation durchdrungenen Gebieten der Erde. Daher ist nur in den seltensten Fällen die Infrastruktur für Netze von externen Mobilfunkanbietern vorhanden. Das hat zur Folge, dass auch die Funkinfrastruktur vom Tagebaubetreiber bei dem Einsatz von verteilten Kommunikationssystemen mit zu beschaffen ist. Dieser Punkt erfordert eine Abwägung zwischen den Infrastrukturkosten und den Kosten für die mobilen Kommunikationsendgeräte. Bei einer großen Anzahl von mobilen Teilnehmern lohnen sich eher Investitionen in die Infrastruktur, weil dadurch kostengünstigere Endgeräte verwendet werden können. Auf der anderen Seite ist es bei einer kleineren Anzahl von Teilnehmern günstiger eher in bessere Endgeräte zu investieren und auf aufwendige Funkinfrastruktur zu verzichten. Tagebaugelände erstrecken sich oft über große Gebiete (bis zu 100km²), daher ist eine flächendeckende Funkversorgung nicht trivial. Eine hohe Reichweite bei zugleich niedriger Sendeleistung (meist als Bedingung für den kostenlosen Betrieb gefordert) bedeutet fast zwangsläufig eine niedrige Datenrate. Bei einer großen Anzahl von Fahrzeugen führt eine niedrige Datenrate wiederum zu einer bedeutend größeren Zykluszeit und damit letztendlich zu einer geringeren Aktualität der übermittelten Daten. Ein wichtiger Faktor für die resultierende Reichweite ist der Einfluss von Störungen. Besonders Abschattungen schränken die Reichweite erheblich ein. In Tagebauen und Minen ist durch technische Geräte und Gebäude wenig Abschattung zu erwarten, da nur wenige Gebäude auf dem Gelände einer Mine verteilt sind. Schwieriger stellt sich die Situation bei natürlichen Geländegegebenheiten dar. In Abhängigkeit von der Materialbeschaffenheit können Tagebauwände Funkwellen absorbieren und die Signalstärke am Empfänger verringern oder im Idealfall für eine Reflexion sorgen und damit sogar die Reichweite vergrößern. Im Gegensatz zu FMS die im öffentlichen Verkehrsraum arbeiten, sind FMS für Tagebaue auf ständig angepasstes Kartenmaterial angewiesen. Die Dynamik der Veränderung ist wesentlich größer als im öffentlichen Straßenverkehr. Auch dort gibt es eine jährliche Anpassung des Kartenmaterials durch die Systemanbieter. Die produktionstechnisch bedingten Veränderungen am Tagebaugelände sind aber bei weitem gravierender und finden in einer schnelleren Folge statt. Eine bei FMS häufig verwendete Technik ist das so genannte „Map Matching“. Dabei erkennt ein intelligenter Algorithmus welche Verkehrsinfrastruktur der Nutzer momentan am wahrscheinlichsten nutzt und passt daraufhin die bestimmte Position entsprechend an. Diese Methode funktioniert allerdings nur auf Basis von gutem Kartenmaterial mit verzeichneten Fahrwegen und Alternativen. In Tagebauen existiert zwangsläufig sehr gutes Kartenmaterial. Allerdings liegt das Hauptaugenmerk dabei nicht auf der Eintragung von Fahrrouten und Transportwegen. Somit lassen sich die „Map Matching“ Strategien nur bedingt anwenden.

Elektromagnetische Verträglichkeit Für den Einsatz von FMS in Tagebauen und Minen ist eine Reihe von Forderungen zu erfüllen. Die EMV ist dabei eine Problematik. Eine Vielzahl von großen Elektromotoren und Antriebssystemen verursachen Störeinflüsse denen alle technischen Geräte, darunter auch die mobilen Hardwarekunden, gewachsen sein müssen. Die notwendige Stabilität wird dabei meist durch entsprechende Abschirmung und galvanische Trennungen gewährleistet. Natürlich darf eine FMS andere Systeme nicht beeinträchtigen. Da es sich bei FMS um informationsbasierte und -verarbeitende Systeme handelt, sind die umgesetzten Leistungen viel zu gering, als das man Störungen durch einzelne Komponenten erwarten müsste. Einzig durch das eingesetzte Funksystem sind Störungen nicht gänzlich auszuschließen. Die Störung anderer eingesetzter Funksysteme kann im Vorfeld anhand der Spezifikationen abgeschätzt werden. Eine Beeinträchtigung der Kommunikation des FMS durch EMV Einflüsse stellt das wahrscheinlichste Szenario dar. Im Vorfeld kann diese Beein-

trächtigung nur schwer abgeschätzt bzw. modelliert werden.

Extreme Einsatzbedingungen An technische Geräte die in Fahrzeugen zum Einsatz kommen, werden im Allgemeinen hohe Anforderungen gestellt. Besonders die Zuverlässigkeit und Sicherheit sind von enormer Bedeutung. Bezüglich des Temperaturbereiches wird die volle Funktionsfähigkeit der Geräte von -40°C bis $+85^{\circ}\text{C}$ gefordert. In Tagebauen und Minen kommen zusätzliche Belastungen auf die Fahrzeuge zu. Besonders zu erwähnen sind dabei Belastungen durch starke Vibrationen, mechanische Beanspruchung und Einflüsse durch Staub und Schmutz.

Einordnung in Logistikbereiche Im Flottenmanagement für den Straßentransport wird üblicherweise ein Fahrzeug einem Auftrag zugeordnet. Die Zuordnung der Fahrzeuge und die Berechnung der optimalen Fahrtrouten werden dabei speziell für einzelne Fahrzeuge durchgeführt. Die Route wird dahingehend optimiert, dass möglichst wenige Leerfahrten zwischen verschiedenen Aufträgen notwendig sind. Die Transportaufträge in Tagebauen und Minen umfassen überwiegend größere Materialmengen. Daher werden diese Aufträge in viele Fahrten von mehreren Fahrzeugen aufgeteilt. Der Optimierung der Route kommt dabei nicht die überragende Bedeutung wie im Straßentransport zu, da die Anzahl der Alternativstrecken nicht so groß ist und mit den üblichen Informationen keine weiteren Parameter zur Optimierung vorliegen. In dieser Arbeit soll gezeigt werden, dass durch weitere Informationen durchaus Parameter generiert werden können, die für die Routenoptimierung zu anderen Empfehlungen führen. Üblicherweise werden FMS der Distributionslogistik zugeordnet, da die Systeme für die Verteilung von Ausgangsstoffen, Zwischen- und Endprodukten genutzt werden. Im Rahmen des Tagebaubetriebes von FMS kann ein solches System eher in den Bereich der Produktionslogistik angesiedelt werden. Da die Fahrzeuge direkt in die Materialproduktion eingebunden sind.

3.5 Ergebnisse der Analyse bestehender Systeme

Auch im Tagebaueinsatz wird die mobile Technik mit zusätzlicher Hardware ausgerüstet, um Flottenmanagementfunktionen zu ermöglichen. Die von den Herstellern Caterpillar, Komatsu und Liebherr angebotenen Systeme spiegeln dabei den aktuellen Stand der Technik in Tagebauen und Minen dar⁶ und sind noch nicht Standard bei allen Herstellern⁷. Die momentane Situation stellt sich so dar, dass auf der einen Seite die Fahrzeughersteller immer fortschrittlichere Systeme in ihre mobile Technik integrieren, die aber nur speziell auf ihr Fahrzeug ausgerichtet sind. Auf der anderen Seite sind die Minenbetreiber, die verschiedenste Management und Planungstools einsetzen⁸. Die Kombination dieser beiden Seiten zur effektiven automatischen Umsetzung von Optimierungs- und Steuerungslösungen eröffnet Potential für Produktivitätssteigerungen und Kostensenkungen. Die Realisierung der Funktionalität von FMS für Tagebaue und Minen lässt sich durch die Kombination ebenfalls vorantreiben. Durch die Analyse der aktuell angebotenen Systeme wird eine Reihe von technischen und konzeptionellen Nachteilen sichtbar, die durch den Entwurf einer speziellen Steuerungslösung für das Flottenmanagement in Tagebauen und Minen ausgeräumt werden soll. Die Nachteile im Einzelnen wären:

Kommunikation per Satellit teuer und nicht durchgängig verfügbar Die Kommunikation per Satellit ist verhältnismäßig teuer, in ihrer Übertragungskapazität begrenzt und nicht ständig verfügbar⁹. Auf den Vorteil der weltweiten Verfügbarkeit der Kommunikation kann verzich-

⁶Beschreibung der Systemkonzepte im Kapitel 2.4.4

⁷z.B. bietet Belaz kein solches System an

⁸Aber ohne die Möglichkeiten, die die Hardware der Fahrzeuge bieten optimal auszunutzen

⁹Die Verfügbarkeit und Sichtbarkeit der Satelliten ist zeitweise eingeschränkt.

tet werden, da durch das zu konzipierende System ein anderer Aufgabenbereich abgedeckt werden soll. So sind beispielsweise Steuerungsaufgaben eher ortsgebunden, in Zusammenarbeit mit dem Bediener vor Ort, zu lösen. Damit ist ein lokales Funksystem ausreichend. Für Systeme auf GSM-Basis gelten dieselben Annahmen insofern, das hier zusätzlich der Nachteil darin besteht, dass diese Systeme nicht für den Bergbaueinsatz vorgesehen sind und daher in den meisten Fällen auch die Infrastruktur der GSM-Netze nicht verfügbar ist. Mit dem zunehmenden Einsatz von GPRS- und UMTS-basierten Lösungen verringern sich die Kosten für die Kommunikation, grundsätzlich bleibt es aber bei laufenden Kosten für die Übermittlung von Informationen.

Positionsbestimmung nur in 2 Dimensionen und in der Genauigkeit begrenzt Für die momentanen Ansprüche an die Fahrzeuglokalisierung reicht der Einsatz von kostengünstigen GPS-Modulen aus. Die erreichbaren Genauigkeiten und die Lösung der Navigationsaufgabe in 2 Dimensionen können aber kommenden Ansprüchen für andere Funktionalitäten nicht genügen. Seit Jahren sind Verfahren auf Basis von GPS bekannt, die die Genauigkeit um mehr als zwei Größenordnungen steigern können, allerdings sind diese System deutlich teurer und würden sich beim Einsatz für Flottenmanagementaufgaben nicht rentieren. Vorhandene hochpräzise GPS-Systeme sollten daher mitgenutzt werden und für Geräte ohne die nötige Hardware müssen andere Lösungen gefunden werden.

Begrenzte Anzahl von Messstellen und -daten Vorhandene Systeme sind auf die Übertragung von Positions- und Fehlerdaten ausgelegt. Damit kann der aktuelle Standort und Zustand eines Fahrzeuges in soweit bestimmt werden, dass nur bei Fehlerzuständen eine Meldung übertragen wird. Für die restliche Zeit wird angenommen, dass alle Parameter in ihren Schranken liegen. Vorhersagende Diagnose- und Wartungskonzepte können auf dieser Daten-Basis nicht verwirklicht werden, weil die nötigen Messdaten fehlen. Für Messung der Betriebsstunden und Laufzeiten wird bei einigen Systemen eine kleine Anzahl (bis zu 4) analogen oder digitalen Eingängen vorgesehen. Für weiterführende Diagnosezwecke wäre die Aufzeichnung der Fahrzeugdaten und Übertragung von grundlegender Wichtigkeit.

Zugriff auf die Daten nicht in Echtzeit sondern mit unbekannter Verzögerung Die Konzeption bestehender Systeme sieht vor, dass die Positionsdaten nur nach Anforderung des Bedieners übertragen werden, um ihm die aktuelle Position darstellen zu können. Einige Systeme zeichnen die Positionsänderungen zwischen den Anforderungen auf und erlauben so eine nachträgliche Streckenbestimmung. Aufgrund der verwendeten Kommunikationssysteme und des Pollingverfahrens sind die Informationen nicht in Echtzeit verfügbar¹⁰. Für Steuerungsaufgaben im Rahmen eines FMS ist aber eine vorhersagbare Kommunikationsverzögerungs- bzw. -totzeit wichtig. Trenddaten können in momentanen Systemen nur durch Zwischenpufferung im mobilen Gerät gewonnen werden. Neben dem Polling-Zugriff ist die Alarmübertragung der zweite Weg der Auslösung einer Datenübertragung. Aber diese azyklische Übertragungsform lässt ebenfalls keine Nutzung der Daten für Steuerungsvorgänge zu. Einzig automatische Reaktionen auf eingehende Störungsmeldungen (z.B. Versand von SMS an weitere Berechtigte) sind denkbar und werden teilweise eingesetzt.

Zentraler Server für alle Anwender stellt ein Sicherheitsrisiko für eigene Daten dar Die zentrale Verwaltung des Positionsüberwachungsdienstes hat den Vorteil, dass beim Kunden wenig oder kein weiterer Aufwand betrieben werden muss. Neben dem Risiko, das bei zentraler Verwaltung von Daten mehrerer verschiedener Kunden immer besteht, schränkt ein zentrales System für alle Anwender aber die Flexibilität und Erweiterbarkeit für einzelne

¹⁰Die Verzögerungen können bei Satellitensystemen bis 15min (Fehlende Sichtbarkeit der Satelliten) und bei GSM Systemen einige Sekunden (Aufbau der Verbindung) betragen.

Anwender ein. Gerade auf dem wachsenden Segment von Flottenmanagementdiensten kann so bis zur Umsetzungen von neuen Erkenntnissen in Applikationen eine lange Zeit vergehen. Außerdem bindet man sich durch einen zentralen Dienst an den Diensteanbieter (was durchaus im Kalkül der Fahrzeughersteller und ihrer Serviceprovider liegt).

Fahrzeuge werden isoliert betrachtet Die mit Überwachungsfunktionalität ausgerüsteten Fahrzeuge werden nur jeweils für sich betrachtet und überwacht. Steuerung von Flotten oder Interaktion mit anderen Systemen können damit nur schwer realisiert werden. Natürliche Einflüsse oder Störungen von anderen Subsystemen werden jeweils nur von einem Fahrzeug betrachtet und nicht als systematische Ursache entdeckt. Eine Betrachtung des Gesamtsystems der mobilen Technik mit einer Abstraktion von Teilflotten kann neue Erkenntnisse über den jeweiligen Prozesse und damit Vorteile bei der Steuerung des Systems ergeben.

Betrachtung nur als „kabellose Maschinen“ nicht als mobiles verteiltes System In aktuellen Systemen wird die herkömmliche Kommunikation durch eine drahtlose Alternative ersetzt. Dabei wird nicht betrachtet, dass sich durch die Mobilität ein ganz anderes Verhaltensmuster von Maschinen ergibt. Geänderte Parameter lassen nicht so leicht auf Fehlverhalten schließen, da sich die Randbedingungen (Belastung, Fahrweg etc.) geändert haben können. Die Positionsbestimmung wird ebenfalls nicht im Zusammenhang und als Ursache für bestimmte Parameter betrachtet, sondern nur zur Überwachung und Kontrolle eingesetzt. Die Betrachtungsweise der mobilen Technik als ein zeit- und ortsvariantes verteiltes System verspricht hier viele interessante Aspekte.

3.6 Einordnung der Aufgabe unter dem Aspekt „Mobiles verteiltes System“

Die Analyse bestehender Systeme hat gezeigt, dass die überwiegende Mehrheit kommerzieller Systeme nicht den Ansatz von mobilen verteilten Systemen verfolgt. Vielmehr basieren die Lösungen auf der technischen Realisierung von Überwachungs- und Beeinflussungsfunktionalität für mobile Einzelgeräte. Für die Verwendung von Fahrzeugflotten werden die Konzepte des Einzelfahrzeuges nicht angepasst. Es handelt sich im abstrakten Sinne dann nur um eine Zusammenfassung von Einzelgeräten. Unter diesem Gesichtspunkt stellt sich nicht nur die Aufgabe die Nachteile von herkömmlichen Systemen durch effizienten Entwurf des Steuerungskonzeptes zu eliminieren. Vielmehr besteht die Möglichkeit durch Betrachtung des Gesamtsystems als mobiles verteiltes System völlig neue Aspekte in die Beeinflussung von mobiler Technik einfließen zu lassen. Die Kooperation von Einzelgeräten verspricht bei ähnlichen technischen Anforderungen und Ausrüstungen der mobilen Geräte einen wirtschaftlichen Mehrwert durch Optimierung der Prozesse mit Beteiligung mehrerer Fahrzeuge. Dazu stellt sich als erste Aufgabe die Betrachtung der mobilen Technik als mobiles verteiltes System. Darauf aufbauend wird ein geeignetes Konzept zur Steuerung von mobilen verteilten Systemen entworfen. Abschließend wird eine Bewertung der wichtigsten Systemkomponenten bezüglich ihrer Eigenschaften hinsichtlich einer Realisierung vorgenommen.

4 Konzeptdarstellung und Spezifikation

4.1 Modell eines FMS aus Sicht des Ebenenmodells der Produktion

Wie in den vorangegangenen Kapiteln erwähnt, spielt die vertikale Integration der Informationstechnik die entscheidende Rolle bei der Vernetzung von funktionalen und organisatorischen Bereichen in den Unternehmen. Mit zunehmender Vernetzung steigt aber auch der Bedarf an Modellierungsansätzen zur Beherrschung der Komplexität. Aus dem Blickwinkel der Modellierung der Prozesse und der organisatorischen Abläufe, stellt ein Flottenmanagementsystem ein eigenständiges Subsystem innerhalb eines Unternehmens dar. Der Fokus des FMS liegt dabei auf der „unternehmerischen“ Führung der mobilen Technik zur Maximierung der Einsatzeffektivität. Bei eingehender Betrachtung der Aufgaben eines FMS stellt man fest, dass die Aufgabenfelder mit denen eines klassischen Unternehmens vergleichbar sind. Für die Betrachtung als „Unternehmen“ versteht man das Modell des FMS mit zwei Schnittstellen nach außen. Das wäre zum einen der „klassische Zulieferer“, der das FMS mit Material, im Sinne von zu verarbeitenden Gütern bzw. Ausgangsstoffen versorgt und damit quasi als Systemeingang im Modell fungiert. Am anderen Ende des abstrahierten Unternehmens FMS steht der „Kunde“, der die produzierten Güter vom FMS erhält, die Ware aus dem System entnimmt und damit modelltechnisch einen Systemausgang darstellt.

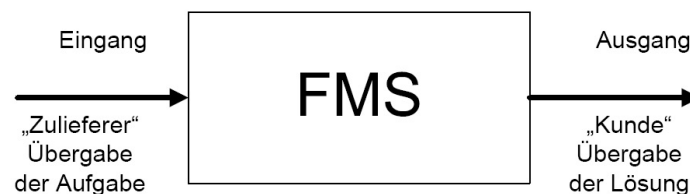


Abbildung 4.1: Darstellung eines FMS als Unternehmen

Der Zweck eines FMS besteht darin mit minimalem Aufwand¹, die durch die Eingangsgrößen vorgegebenen, Zustände am Ausgang zu generieren.

Dafür steht eine Reihe von Funktionen des FMS zur Verfügung, die aus unterschiedlichsten Unternehmensebenen entlehnt sind.

Die Unterteilung von Unternehmensfunktionalität im Ebenenmodell der Produktion lässt sich daher analog auch für ein FMS vornehmen. Dafür lässt sich eine Einordnung der, in Kapitel 3.1 beschriebenen, Aufgaben des Flottenmanagements für mobile Technik in Tagebauen und Minen in das Ebenenmodell finden. Dabei ist zu beachten, dass sich die einzelnen Ebenen des Modells nicht exakt trennen lassen². Damit erschwert sich die Zuordnung der einzelnen Aufgaben. Eine Aufgabe,

¹In Form von Information, Kosten, Energie

²Im Industriebereich bieten viele Hersteller ERP oder MES Systeme an. Dabei wollen sie jeweils möglichst viel Funktionalität abdecken, um beim Kunden bessere Verkaufschancen zu erzielen. Dabei verschwimmen die Grenzen zwischen den Systemen. Bei der Integration der Funktionalität auf Basis einer zentralen Datenbank ist die

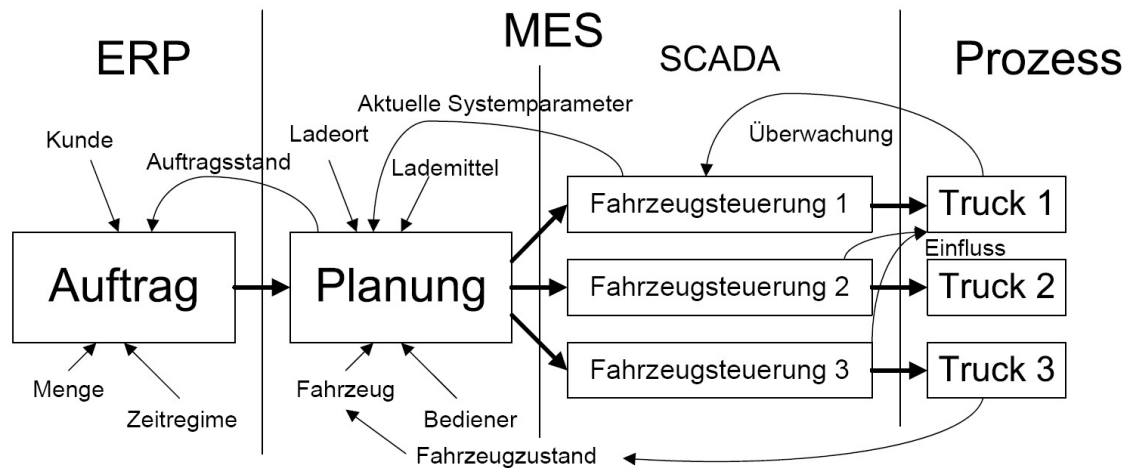


Abbildung 4.2: Konzeptioneller Aufbau eines FMS für Tagebaue und Minen

die Informationen und Methoden von mehrere Ebenen zur Erfüllung benötigt, wird jeweils der obersten Schicht, die an der Durchführung beteiligt ist, zugeordnet:

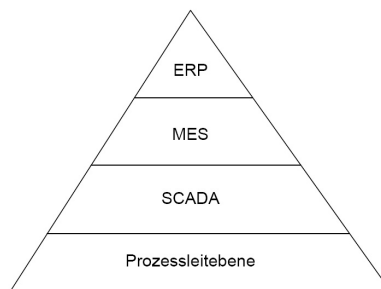


Abbildung 4.3: Klassische Automatisierungspyramide

ERP:

- Kostenmanagement
 - Kostenanalyse (tatsächliche Betriebsstunden)
 - Nebenkostencontrolling (Reinigung, Steuer, Versicherung)
 - Fahrzeugfinanzierung (Beschaffung, Leasing, Versicherung)
 - Kraftstoffverbrauchcontrolling und -beschaffung
- Auftragsmanagement (Planung, Übermittlung, Verfolgung, Abrechnung)
- Personalmanagement (Planung, Abrechnung)

MES:

- Flottensteuerung (Materialtransport, Flottenanpassung an Aufträge)
- Navigationslösungen

exakte Zuordnung daher auch eher von geringerer Bedeutung, da, geschützt durch transaktionsorientierte Zugriffe, keine gegenseitige Beeinflussung vorliegt. Nur bei der Integration durch ein Set von Frameworks ist die Zuordnung der Funktionalität ausschlaggebend für das Systemdesign.

- Routenoptimierung (Wartezeitenminimierung, Anfahr- und Stoppvorgänge)
- Routenplanung (Wegpunktvorgabe, Kollisionsvermeidung)
- Pannunterstützung/Schadensmanagement (Beseitigung, Ursachenanalyse)
- Wartungsmanagement (vorbeugende Wartung, Reifenmanagement, Reparatur)
- Qualitätsmanagement
- Leistungsanalyse (Produktionsüberwachung)

SCADA

- Prozessvisualisierung
- Qualitätsdatenerfassung
- Betriebsdatenerfassung
- Maschinendiagnose (Fehlererkennung, Pannenerkennung)
- Produktionsdokumentation (Datenspeicherung und -langzeitarchivierung)
- Kommunikationsaufgaben (Fahrerkommunikation, Informationssysteme)
- Positionsüberwachung (Diebstahlschutz, Geo-Fencing, Wegpunktkontrolle)

Prozessebene

- Maschinendatenerfassung (Status- und Zustandsüberwachung)
- Assistenzaufgaben (Hilfs- und Unterstützungssysteme, Infrarot Nachtsicht, Rückfahrkamera, Bremsassistentz)
- Sicherheitsmanagement (Fahrerüberwachung, Kollisionswarnung)
- Steuerung von Fahrzeugsystemen (Hydraulikdruckanpassung, Anpassung Motorsteuerung etc.)

Zur Realisierung der gestellten Aufgaben eines FMS müssen die praktischen Gegebenheiten des Prozesses mit dem vorgeschlagenen Modell verglichen werden. Darüber hinaus müssen die technischen Möglichkeiten im Hinblick auf die Umsetzung der MES und ERP Ebene untersucht werden. Die Grundlagen für die Umsetzung der MES und ERP Ebene sind ein SCADA System und darauf aufbauend ein geeignetes Steuerungskonzept.

4.2 Aspekte eines verteilten Steuerungskonzeptes für Tagebaue und Minen

Wie die Analyse bestehender Systeme gezeigt hat, existieren Lösungen die mobile Geräte in Tagebauen bezüglich ihrer Position und ausgewählter Systemzustände überwachen. Die Funktionalität eines klassischen SCADA Systems wird durch den Einsatz eines Dispatchers, der die Überwachungs- und Anweisungsfunktion in der Zentrale übernimmt, realisiert. Den nächsten sinnfälligen Entwicklungsschritt stellt die Steuerung der mobilen Technik dar. Das ist die Grundvoraussetzung für ein effektives und damit Kosten sparendes Flottenmanagement. Zu einer erwünschten Prozessbeeinflussung sind technische Einrichtungen notwendig, darüber hinaus muss ein geeignetes Konzept die vorhandenen technischen Systeme zur Steuerung nutzen. Der erste Schritt zum Entwurf eines

Steuerungskonzeptes stellt die Analyse des zu steuernden Prozesses dar. Im folgenden Abschnitt soll daher die Beschreibung des Systems der mobilen Technik mit Hilfe der abstrakten Sichtweise als mobiles verteiltes System behandelt werden. Darauf aufbauend soll ein Steuerungskonzept entworfen und verifiziert werden, das einhergehend mit den vorgeschlagenen notwendigen technischen Erweiterungen eine Erfüllung der gestellten Anforderungen ermöglicht.

4.2.1 Mobile Technik als mobiles verteiltes System

Die wissenschaftlichen Betrachtungen zu mobilen verteilten Systemen (MVS) [122, 123, 124, 125] beziehen sich in ihrer überwiegenden Mehrzahl auf Systeme, die strukturell aus einem verteilten Rechnerverbund³ bestehen. Daraus abgeleitet, hat sich in der Literatur eine Reihe von charakteristischen Eigenschaften herauskristallisiert, die für die Abgrenzung und Definition von MVS verwendet wird. Diesen Anforderungen sieht man aber ihren Ursprung aus der Informations- und Rechentechnik durchaus an. Die Adaption dieser charakteristischen Eigenschaften für die Beschreibung anderer MVS, etwa aus dem Bereich der Biologie oder nicht rechnerbasierter verteilter Systeme, lässt sich daher nur mit Anpassungen vornehmen. Die grundlegende Definition eines verteilten Systems liefert bekanntermaßen⁴ A. Tanenbaum in [83]. Für die Beschreibung eines allgemeinen MVS fehlt es dieser Definition an dem Begriff der Mobilität und einer allgemeinen Beschreibung der Systembestandteile. Der aus dem lateinischen stammende Begriff Mobilität⁵ beschreibt den Zustand allgemeiner *Beweglichkeit*. Für das Verständnis eines mobilen verteilten Systems reicht die Eingrenzung des Begriffs Mobilität auf die Bedeutung einer möglichen Ortsveränderung⁶. Die Einführung von verteilten Systemen als Sichtweise der Wirklichkeit ist aus dem technischen Bereich initiiert worden. Mit zunehmender Entwicklung und Komplexität entstand die Notwendigkeit der Modellierung technischer verteilter Systeme. Dabei wurde weitgehend vernachlässigt, dass durchaus auch verteilte Systeme existieren die keine rechentechnische Grundlage besitzen⁷. Unter Einbeziehung der Mobilität lässt sich folgende allgemeine Definition zur Abgrenzung von mobilen verteilten Systemen aufstellen:

Ein mobiles verteiltes System besteht aus beweglichen⁸, räumlich verteilten Komponenten (technischer oder anderer Art), die mittels Kommunikation lose gekoppelt, mit ihrer Umwelt interagieren.

Bei der Untersuchung der Prozessstrukturen im Rahmen des Betriebs von mobiler Technik in Tagebauen und Minen ergibt sich bei der Nutzung der obigen Definition ein interessanter Aspekt. Die technische Struktur kann mit Hilfe eines mobilen verteilten Systems vollständig beschrieben werden. Die mobilen Geräte werden dabei von den verteilten Komponenten repräsentiert. Die geforderten Attribute beweglich und verteilt ergeben sich unisono aus dem ursprünglichen Einsatzzweck von mobiler Technik. Der Dispatcher der Fahrzeugflotte stellt die „zentrale Intelligenz“ innerhalb des verteilten Systems dar. Die Übertragung der notwendigen Informationen geschieht dabei per Sprachanweisung⁹. Die Interaktion mit der Umwelt ist in der Prozesskette ebenfalls leicht ersichtlich. Das reicht vom direkten Einfluss auf andere, stationäre Tagebautechnik¹⁰ über Hilfs- und Unterstützungsdienste bis hin zu indirekten, mitunter unerwünschten, Effekten die das Tagebaugelände bzw. die Umwelt betreffen¹¹. Allein die Verknüpfung der Prozessbestandteile mit der

³Besonders in den Forschungsgebieten mit Schwerpunkt Ubiquitous/Nomadic/Distributed Computing.

⁴Siehe dazu Kapitel 2.7

⁵Laut[55] bezeichnet die Mobilität die Fähigkeit nicht an einen festen Ort gebunden, also beweglich zu sein

⁶Weitere Betrachtungen zu den verschiedenen Interpretationen und Aspekten des Begriffs Mobilität liefert [126].

⁷Aus abstrakter Sicht bildet ein Bienenstock ebenfalls ein verteiltes System, bei dem einzelnen Individuen gemeinsam, mit Hilfe von Kommunikation, mit ihrer Umwelt interagieren.

⁸In welcher Ausprägung mobile Komponenten auftreten, ist vom speziellen Anwendungsfall abhängig.

⁹Direkte Anweisungen an die Bediener im täglichen Briefing oder online durch den Einsatz von Sprechfunkgeräten.

¹⁰Beladung durch Bagger oder Entladevorgänge auf Schütthalde oder Bandanlagen/Bunker etc.

¹¹Negative Effekte sind beispielsweise die Belastungen der Fahrwege durch beladene Trucks oder Effekte durch den Verbrauch von Kraftstoffen und Ölen bzw. negative Effekte die Dritte betreffen durch Unfälle oder Havarien

Definition eines mobilen verteilten Systems ist noch kein hinreichender Beweis für das Vorliegen eines mobilen verteilten Systems. Weiterhin wird eine Reihe von Forderungen an solch ein System gestellt, die idealerweise von dem betrachteten System der mobilen Technik erfüllt werden sollten. Im Einzelnen sind das folgende Forderungen¹²:

Mobilität Mobilität unterscheidet MVS grundlegend von VS. Um hierbei eine eindeutige Trennung vornehmen zu können, muss von einem MVS gefordert werden, dass die Mobilität eine funktionelle Bedeutung hat. D.h. ein MVS das nicht auf Ortinformationen zur Erfüllung seiner Aufgaben angewiesen ist, kann und muss als VS betrachtet werden. Die Forderung nach Mobilität wird zweifelsfrei vom System der mobilen Technik erfüllt. Sowohl der Dispatcher als auch die Fahrzeuge selbst, besitzen die Fähigkeit sich zu bewegen. Da auch die Bediener zwischen den Fahrzeugen wechseln können und vom Dispatcher trotzdem speziell auf sie ausgerichtete Informationen beziehen, sind auch die Funktionalität und Datenbasis für die Nutzer mobil¹³. Ortsinformationen sind innerhalb des Systems von Bedeutung, da spezielle Vorgänge/Funktionalitäten (z.B. das Beladen) nur an bestimmten Orten vorgenommen werden können. Die Erfassung von Standortdaten wird dabei überwiegend durch die sensorischen Fähigkeiten der Bediener realisiert.

Transparenz Die Komplexität von verteilten Systemen erfordert verschiedene Formen der Transparenz, um einzelne Aspekte für den Nutzer zu vereinfachen bzw. zu abstrahieren oder ganz zu verbergen¹⁴. Im speziellen Fall der mobilen Technik werden ähnliche Ansätze verfolgt.

Zugriffstransparenz Für die Nutzer des Systems ist es nicht von Bedeutung auf welchen Teil des Systems sie zugreifen. So ist es für Angaben zum aktuellen Zustand des Prozesses unwichtig und mitunter auch nicht feststellbar, welcher Bediener diese Information liefert. Die Zugriffstransparenz ist damit gegeben.

Migrationstransparenz¹⁵ Da ein MVS laut Definition mit der Fähigkeit der Bewegung ausgestattet ist, sind, logischerweise, und für den störungsfreien Betrieb zwingend notwendig, Strategien zur Beherrschung der Mobilität nötig. Für den Nutzer ist es daher irrelevant ob sich eine Systemkomponente bewegt oder beweglich ist, da er grundsätzlich von bewegten mobilen Komponenten ausgeht. Einzig für Überwachungs- und Kontrollfunktionen ist diese Information wichtig. In diesen speziellen Fällen kann die Migrationstransparenz umgangen werden. Übertragen auf das System der mobilen Technik betrifft die Migrationstransparenz beispielsweise den Dispatcher, der Kontakt zu dem Bediener hat und ihn immer auf die selbe Art und Weise anspricht (adressiert), egal ob der Fahrer sich im stehenden oder bewegten Fahrzeug befindet.

Replikationstransparenz Der Nutzer von Informationen aus verteilten Systemen kann idealisierter Weise nicht ermitteln, wie viele Reproduktionen dieser Daten vorhanden sind. Kopien von Daten sind notwendig, um mehreren Nutzern die gleichen geeigneten Informationen zur Verfügung zu stellen. Eine Bedeutung für die eigentliche Information erwächst aus den Kopien aber nicht, daher kann der Vorgang transparent gehalten werden. Im System der mobilen Technik findet diese Transparenz ihre Entsprechung im persönlichen Datenmanagement der Fahrer und des Dispatchers. Einzelne Fahrer wissen nicht, ob und in welcher Form der Dispatcher anderen Bediener dieselben Informationen übermittelt hat.

¹²angelehnt an die in [83, 127, 128] ähnlich aufgestellten Forderungen für verteilte Systeme, erweitert um die Forderung nach Mobilität

¹³überall und zu jeder Zeit kann die Funktion bzw. Information verwendet werden.

¹⁴Transparenz bedeutet in diesem Fall, dass die Realisierung der Funktionalität für den Nutzer durchsichtig ist, von ihm also nicht bemerkt werden kann

¹⁵Migration ist die Bewegung von Individuen oder Gruppen im geographischen Raum, die mit Wechsel des endgültigen Standortes verbunden ist.

Nebenläufigkeitstransparenz Der auch mit Gleichzeitigkeit beschriebene Grundsatz fordert die Transparenz bezüglich anderer Nutzer. Um mit diesem Anspruch reibungslos Betriebsmittel zu nutzen, die keinen gleichzeitigen Zugriff erlauben, müssen für den Zugriff regulierende Sperrmechanismen verwendet werden. Die verschiedenen Fahrzeugbediener führen durchaus gleichzeitig ihre jeweiligen Arbeiten durch, ohne dabei von anderen Nutzern bemerkt zu werden. Der sperrende Zugriff auf einzelne Ressourcen wird dabei von den Bedienern bzw. dem Dispatcher selbst realisiert. Speziell im verteilten Kontext können dadurch und aufgrund von Fehlern des menschlichen Nutzers, kritische Situationen entstehen.

Parallelitätstransparenz Ein schwieriger Punkt bei der Realisierung der Theorie der verteilten Systeme ist der Komplex Parallelisierung¹⁶. Trotz intensiver Forschungsbemühungen ist es nicht möglich beliebige Prozesse automatisch aufzuteilen und parallel zu bearbeiten. Dieser Vorgang erfordert besonders in der Entwurfsphase sehr genaue Informationen und Analysen der auftretenden Probleme und Prozesse. Bei so implementierten Parallelisierungsansätzen ist es dann aber durchaus möglich, die Parallelisierung vor dem Nutzer zu verbergen. Die Aufgaben der mobilen Technik lassen sich in gewissem Umfang auch mittels paralleler Bearbeitung schneller lösen. Die Aufteilung der Aufgabe fällt dabei dem Dispatcher zu. Gegenüber dem Auftraggeber ist dieser Vorgang transparent, da dieser nur das Ergebnis (z.B. die transportierte Materialmenge) und nicht die Realisierung mittels mehrerer Fahrten präsentiert bekommt.

Keine Ortstransparenz Für die Charakterisierung von verteilten Systemen wird auch die Ortstransparenz postuliert. Für das Ergebnis eines Rechenvorganges ist der Standort der Berechnung nicht von Bedeutung und kann daher vor dem Nutzer verborgen werden. Ganz im Gegensatz dazu steht die Bedeutung des Ortes in einem mobilen verteilten System. Da sich Komponenten bewegen und sie mit ihrer Umwelt interagieren, hat der Ort einen Einfluss auf das Ergebnis von Vorgängen. Daher muss folgende Forderung explizit formuliert werden:

In mobilen verteilten Systemen darf es keine Ortstransparenz geben.

Skalierbarkeit und Flexibilität Die Fahrzeugflotte kann und wird an die Erfordernisse und Einsatzziele angepasst. Erweiterungen oder Änderungen im Fahrzeugbestand resultieren aus den technischen und ökonomischen Notwendigkeiten. Die flexible Anpassung der mobilen Technik an veränderte Aufgaben- und Einsatzbereiche ist der Hauptgrund für den Erfolg dieser Systeme gegenüber stationären Förderlösungen¹⁷. Unter diesen Gesichtspunkten spielt die Skalierbarkeit und Flexibilität die entscheidende Rolle beim Betrieb von mobiler Technik in Tagebauen und Minen.

Sicherheit Die Sicherheit eines Systems ist ein wichtiger Aspekt zu seiner Beurteilung. Bei verteilten Systemen gewinnt dieser Punkt umso mehr an Bedeutung, da aufgrund des Systemkonzeptes die Daten aber auch die Funktionalität selbst, besonders bezüglich Ausfall oder Angriff von außen, gefährdet sind. Sicherheit wird in Tagebauen großgeschrieben. Alle Vorgänge besonders Mensch-Maschine-Interaktionen laufen nach festgelegten Sicherheitsrichtlinien ab. Ein Großteil der gesamten Aufwendungen fließt in den Schutz der Menschen, Technik und auch der Umwelt (in die das gesamte System eingebettet ist).

¹⁶In [83] bezeichnet Tanenbaum die Parallelitätstransparenz sogar als den „Heiligen Gral“ der verteilte Systeme Entwickler

¹⁷z.B. kontinuierliche Bandförderung

Zuverlässigkeit und Fehlertoleranz Für alle technikbasierten, industriellen Prozesse gilt, dass die Zuverlässigkeit den Grad der Perfektion einer technischen Lösung und damit langfristig auch ihren wirtschaftlichen Erfolg, widerspiegelt. Die Zuverlässigkeit ist für die mobile Technik von wesentlicher Bedeutung und somit auch als gefordertes Merkmal des verteilten Systems vorhanden. Die Fehlertoleranz wird in gewissem Umfang vom Betrieb unter extremsten Bedingungen indirekt bedingt. Denn mittels besonderer Auslegung, Redundanz und Wartungsstrategien werden auftretende Fehler relativ leicht vom System aufgefangen, ohne dass es zu Produktionsausfällen kommt.

Offenheit Die üblichen Definitionen für verteilte Systeme fordern unter diesem Punkt ein Mindestmaß an Offenheit, in Form von definierten Schnittstellen und festgelegten Kommunikationsprotokollen. Für die Betrachtung der mobilen Technik als mobiles verteiltes System ist dieser Punkt nur im begrenzten Maße notwendig, da sich die Vorgänge nur betriebsintern abspielen. Erweiterungen und Anbindungen an Drittsysteme sind aber möglich, da die technischen Spezifikationen der Fahrzeuge und die verwendeten Betriebsstrategien und Schnittstellen betriebsintern vorhanden sind. Die Ausweitung des Systems auf Kunden und Zulieferer würde eine Erweiterung der Systemoffenheit erfordern.

Wie in den vorangegangenen Ausführungen belegt, bildet das System der mobilen Technik in Tagebauen und Minen ein MVS. Die Einbindung des Systems in den Automatisierungsverbund des Tagebaus erfordert neben dem Entwurf eines technologischen Konzeptes auch ein Steuerungskonzept. In den nächsten Abschnitten soll daher der folgende Ansatz untersucht werden:

Zur Automatisierung eines mobilen verteilten Systems muss das Steuerungssystem zur Beeinflussung ebenfalls als mobiles verteiltes System entworfen werden.

4.2.2 Grundlegende Steuerungsprinzipien - Mobiles verteiltes Steuerungssystem

Verteiltes Steuern ist in Form von dezentraler Peripherie seit Jahren ein fester Bestandteil aller modernen Steuerungssysteme. Auch geht der Trend ganz eindeutig hin zu immer leistungsfähigeren Geräten „vor Ort“. Die Steigerung der Intelligenz der lokalen Geräte verlagert die Prozesskommunikation auf ein höherwertiges Niveau. Weg von einzelnen Prozessdaten hin zu verdichteten Prozessinformationen, die bereits vor Ort hinsichtlich bestimmter Grenzen und Schlussfolgerungen analysiert wurden. Dieser Schritt zu verteilten Steuerungssystemen ist in vielen Bereichen der Prozessautomation bereits vollzogen. Große Fertigungsanlagen werden darüber hinaus in logische Untereinheiten gegliedert, die dann separat mit Steuerungssystemen ausgerüstet werden, um die Komplexität der Gesamtprozesse zu beherrschen.

Anhand der Verteilung von Funktionalität kann man grundsätzlich 4 verschiedene Steuerungsprinzipien unterscheiden und Aussagen zur Nutzbarkeit für das System „Mobile Technik“ machen:

Zentrale Steuerung: Prinzipiell wäre denkbar das System Mobile Technik mit einer zentralen Steuerung zu beeinflussen. Da für ein verteiltes System die Anbindung aller Peripherie per einzeltem Kabel erfolgen muss, wird bei diesem Steuerungsansatz schnell die Grenze des technisch und wirtschaftlich Sinnvollen erreicht. Hinzu kommt für ein mobiles System die Schwierigkeit, dass für jedes Sensorsignal eine eigene Funkübertragung nötig wäre. Bei der bekannt begrenzten Bandbreite von Funksystemen ist diese Realisierung völlig unpraktikabel.

Dezentrale Peripherie: Die logische Weiterentwicklung der zentralen Steuerung ist die Anbindung der Peripherie per Feldbussystem. Damit wird der Verkablungsaufwand deutlich reduziert. Für den Einsatz zur Steuerung des Systems Mobile Technik gilt aber erneut die Einschränkung aufgrund der Funkübertragung. Es gibt Bestrebungen funkbasierte Feldbussysteme zu

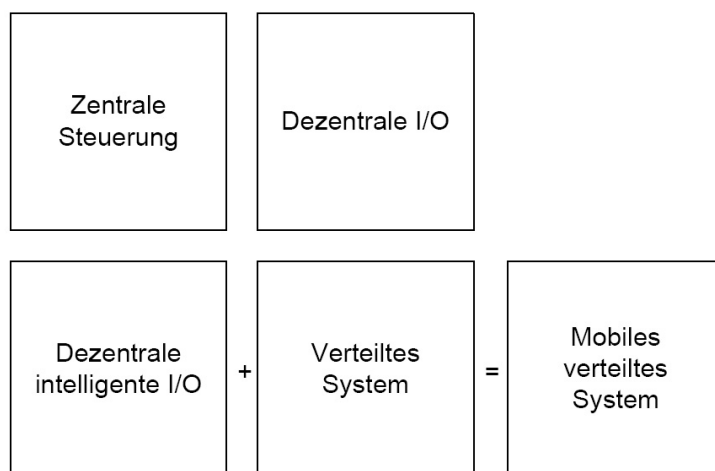


Abbildung 4.4: Grundlegende Steuerungskonzepte

entwickeln¹⁸. Allerdings besteht auch damit weiterhin eine Diskrepanz zwischen großer Bandbreite und gleichzeitig großer Reichweite.

Intelligente dezentrale I/O: Mit der zunehmenden Leistungsfähigkeit der Steuerungstechnik wurden verteilte intelligente Geräte möglich. Dabei werden dezentral Steuergeräte für die Vorverarbeitung und Überwachung verwendet. Über das Bussystem werden höherwertige Daten und Ereignisse übertragen. Für den Einsatz im System Mobile Technik bedeutet dieses Konzept eine Reduzierung der Busbelegung und damit eine einfachere Funkrealisierung. In diesem Konzeptentwurf ist es relativ einfach Subsysteme zu definieren und einzubinden. Damit lässt sich eine zentrale Forderung¹⁹ von mobilen verteilten Steuerungssystemen umsetzen.

Verteiltes System: In diesem Aufbau ist kein zentrales Steuerungselement vorgesehen. Die Steuerungsfunktionalität wird komplett von den verteilten Komponenten übernommen. Einzig für die Konfiguration und Parametrierung sind Engineering Komponenten vorhanden. Für das System Mobile Technik ist das Konzept geeignet, solange die Funkreichweite eine direkte Koordination zwischen den einzelnen Klienten erlaubt.

Die Mobilität von Komponenten wird von keinem Ansatz gesondert behandelt, da mobile Klienten in verteilten Steuerungssystemen, wenn überhaupt, eher auf Ebene der Mensch-Maschine Schnittstelle (MMI) eingesetzt werden. Die beiden letztgenannten Ansätze erlauben, erweitert um die Mobilitätsbetrachtung, einen Einsatz in einem mobilen verteilten Steuerungssystem für Tagebaue und Minen. Die Einhaltung von harten Echtzeitforderungen, wie sie in kabelgebundenen Systemen gefordert wird, kann und muss für das geplante System nicht zwingend vorgeschrieben werden. Durch den Einsatz von Funkkommunikationssystemen, mit ihren insgesamt höheren Fehlerraten, können bestimmte Mindestkommunikationszeiten allenfalls abgeschätzt, aber nicht garantiert werden. Die Mechanismen, die speziell in verteilten Steuerungssystemen angewendet werden, um die Echtzeitkommunikation sicherzustellen²⁰, sind dennoch für ein mobiles verteiltes System von Interesse. Daher ist insgesamt ein Konzept vorstellbar, das die Besonderheiten der

¹⁸u.a. Wireless Profibus [129, 130], Wireless Industrial Ethernet [131], SafetyBUS p drahtlos [132] und RFieldbus [133]

¹⁹Die strukturelle Gliederung in Untersteuerungssysteme ist eine zentrale Forderung von mobilen verteilten Steuerungssystemen.

²⁰Der Zugriff in einem verteilten Steuerungssystem muss stochastisch erfolgen, da keine zentrale Zugriffsverwaltung existiert. Durch den stochastischen Zugriff kann aber keine harte Echtzeitforderung mehr garantiert erfüllt werden. Hierfür werden zeitbasierte Kommunikationsprinzipien benötigt, die durch einen Koordinator verwaltet werden, um harte Echtzeitforderungen zuverlässig zu erfüllen.

Ansätze 3 und 4 vereint. Soweit es möglich ist, wird der Entwurf dabei auf den Ansatz 4 „Verteiltes System“ ausgerichtet sein. Für die Funktionalität, die aufgrund der Funkparameter nicht realisiert werden kann, findet dann Ansatz 3 Verwendung. Besonders für komplexere Steuerungs- und Überwachungsaufgaben wird sich ein System mit zentraler Steuerung und verteilter intelligenter Peripherie am besten eignen. Hingegen sind bei einfachen Problemstellungen, die überwiegend aufgrund der Teilnehmersmobilität ihre Komplexität erlangen, verteilte Steuerungsansätze von Vorteil. Die Erweiterung des Ansatzes 3 lässt sich durch zusätzliche Kommunikationsfunktionen der intelligenten I/O verwirklichen. Dazu führt man die Kommunikation zwischen den I/O Knoten ein. Zusätzlich werden diese Komponenten zu Untersteuerungseinheiten erweitert, die im Rahmen von untergelagerten Steuerungen agieren. Einfache Steuerungsaufgaben²¹ können so selbständig, ohne zentralen Eingriff realisiert werden. Für die Verwirklichung des Querverkehrs zwischen den Untersteuerungsknoten sind 2 Varianten denkbar:

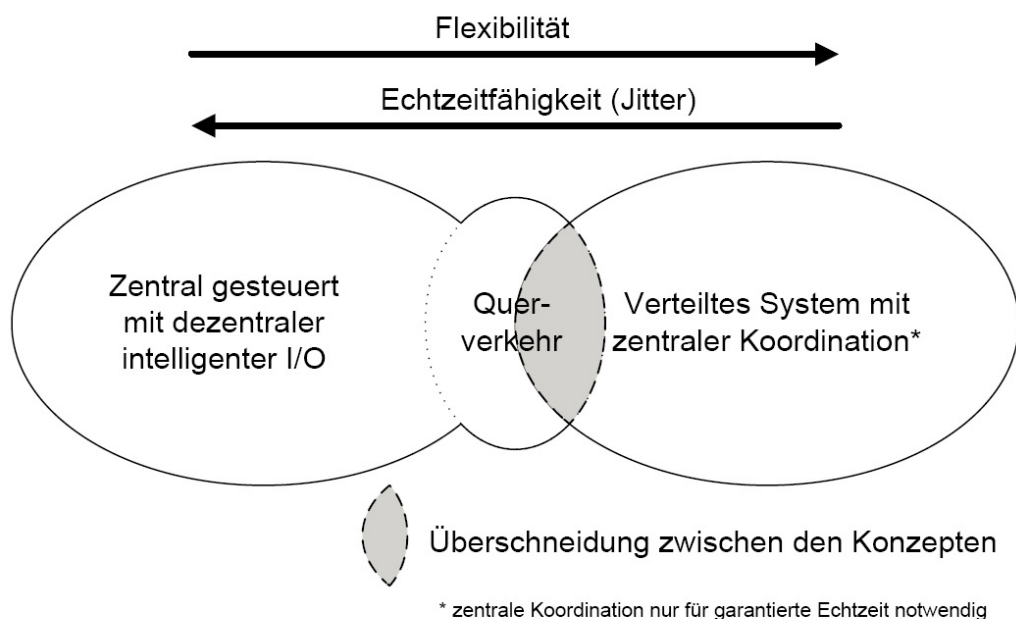


Abbildung 4.5: Zusammenhang zwischen den Konzepten

1. Initiierung und Koordination des Querverkehrs durch den zentralen Server (Echtzeitfähigkeit²² bleibt bestehen). Dabei bestimmt der Server Wann und Wie die Kommunikation zwischen den Knoten stattfindet.
2. Eigenständige Organisation der Kommunikation (aufgrund der notwendigen stochastischen Zugriffe auf das Kommunikationsmedium²³ geht die garantierte Echtzeitfähigkeit verloren). Der Aufbau und die Koordinierung einer Verbindung ist deutlich komplexer als bei dem zentralen Koordinierungsansatz.

Bei allen Steuerungsansätzen erweist sich die Mobilkommunikation als begrenzender Faktor. Die einschränkenden Parameter sind insbesondere die Reichweite, begrenzte Übertragungskapazität und das mögliche Zeit- und Störverhalten. Die Fortschritte der Mobilkommunikation versprechen aber für die Zukunft Lösungen, die dem Einsatz für mobile verteilte Steuerungssysteme entgegenkommen. Damit lassen sich Prozesse steuern, die eine starke Ortsabhängigkeit bzw. eine hohe

²¹Kollisionsvermeidung, Flottenfahrt etc.

²²Echtzeitfähigkeit im Rahmen der Möglichkeiten, die eine schnurlose Kommunikation überhaupt nur erlaubt

²³sowohl bei kabelgebundener als auch bei kabelloser Kommunikation

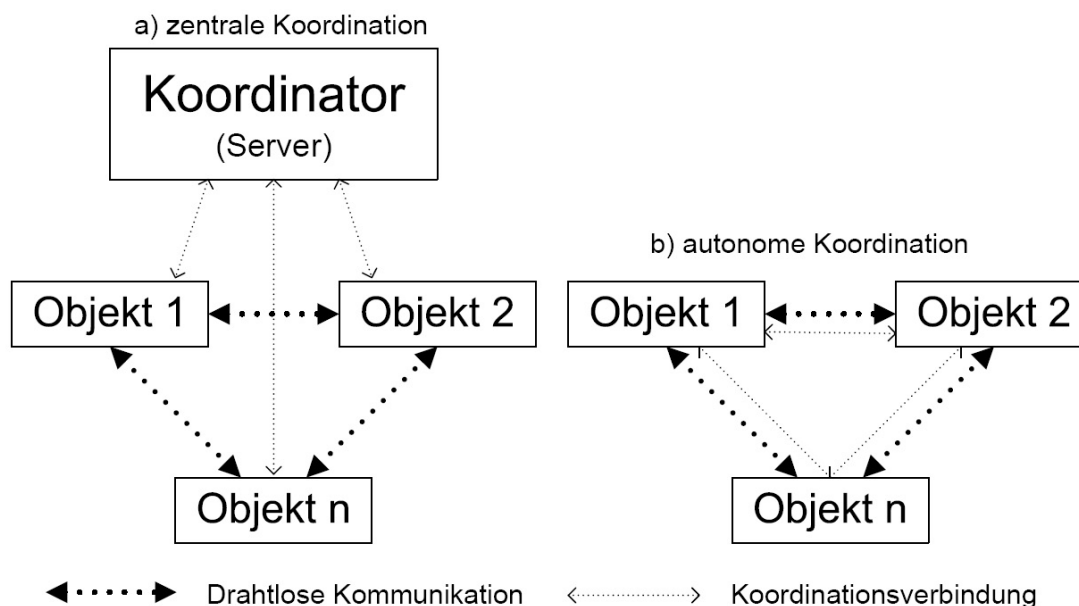


Abbildung 4.6: Zentrale und dezentrale Koordinierung

Ortsdynamik aufweisen. Auf dem Weg dahin ist aber noch, neben den Kommunikationshindernissen, eine Reihe von Schwierigkeiten zu beseitigen.

4.2.2.1 Schwierigkeiten beim Entwurf von mobilen verteilten Steuerungssystemen

Bei der Realisierung von verteilten Steuerungssystemen ist eine Reihe von prinzipiellen Nachteilen zu beachten bzw. durch den Systementwurf zu vermeiden. Aufgrund der Verteilung der Systembestandteile entstehen Probleme u.a. aufgrund der Kommunikationslaufzeiten. Besonders globale Sichten auf das System sind aufgrund der getrennten Speicher- und Verarbeitungseinheiten nicht trivial zu realisieren.

Schnappschussproblem Im Gegensatz zu zentralisierten Systemen ist es bei verteilten Systemen nicht ohne weiteres möglich ein komplettes Systemabbild zu generieren. Jeder Klient in einem verteilten System kann seinen eigenen Zustand abbilden, aber aufgrund der Kommunikationslaufzeiten, insbesondere bei mobilen Systemen mit funkbasierter Kommunikation, können die Zustände nicht synchron in der Zentrale zusammengefügt werden. Die Anforderung eines Systemabbildes erreicht die Klienten nach unterschiedlichen Zeiten, d.h. die Klienten bilden zu unterschiedlichen Zeiten ihren Systemzustand ab. Damit ist aber keine Erfassung eines gleichzeitigen Zustands mehr möglich. Bei uhrsynchronisierten verteilten Systemen kann aufgrund einer Wartezeit, die größer als die längste Nachrichtenlaufzeit ist, ein gemeinsamer Start der Klienten erreicht werden. Damit ist ein Abbild des Systemzustandes in einem Zeitrahmen, der sich im Bereich der Synchronisationsgenauigkeit bewegt, möglich. Allerdings wird wegen der Wartezeiten nicht sofort der aktuelle Zustand dargestellt. Ein Systemabbild ist daher nur nach endlicher Verzögerung zu erreichen. Neben den Kommunikationslaufzeiten und -fehlern spielen auch die Gangabweichungen zwischen den Klientenuhren sowie die Sicherung der Kausalität eine Rolle bei der Generierung von Systemabbildern.

Uhrensynchronisation Für Steuerungslösungen in verteilten Systemen spielt ein zweiter Nachteil die entscheidende Rolle, das Fehlen einer globalen Zeit. Die einzelnen Klienten besitzen jeweils eigene Zeitmessvorrichtungen. Allerdings haben diese auf physikalischen Prinzipien basierenden Systeme unterschiedliche Eigenschaften bezüglich des Zeitoffsets und der Zeitdrift. Daher

verwenden alle verteilten Systeme Uhrensynchronisationsverfahren. Mit diesen Verfahren ist es möglich alle Uhren bis auf eine minimale prinzipbedingte Restabweichung abzugleichen.

Kausaltreue Beobachtungen Aus dem Fehlen einer globalen Zeit ergibt sich unisono ein nächstes fundamentales Problem von verteilten Systemen. Die kausaltreue Beobachtung von Systemereignissen ist ohne eine globale Zeit nicht sichergestellt. Bei Beobachtungen von Ereignisfolgen mit nur einem Klienten kann das Fehlen der globalen Zeit mittels Einführung von relativen Zeiten ausgeglichen werden. Damit wird sichergestellt, dass Ereignisse in der richtigen Reihenfolge verarbeitet werden. Bei verteilten Systemen können mit relativen lokalen Zeiten keine kausaltrauen Beobachtungen realisiert werden. Es ist zumindest eine Uhrensynchronisation zwischen den Knoten nötig. Selbst mit synchronisierten Uhren kann es aufgrund unterschiedlicher Nachrichtenlaufzeiten vorkommen, dass Ereignisse bzw. Nachrichten in ihrer kausalen Abfolge durcheinander geraten. In Systemen mit synchronisierten Uhren kann mittels der Einführung eines Zeitstempels für Nachrichten deren eindeutige Reihenfolge sichergestellt werden.

Phantom-Deadlocks Zur Nutzung von exklusiven Ressourcen durch verschiedene Teilnehmer in verteilten Systemen werden Verriegelungsmechanismen verwendet. Wenn ein Teilnehmer diese Ressource nutzt, blockiert er den Zugriff für andere Teilnehmer. Der auf den Ressourcenzugriff wartende Teilnehmer wieder rum ist ebenfalls blockiert. In [134] wird das Phänomen eines Phantom Deadlocks skizziert. Dabei warten verschiedene Klienten aufeinander ohne dass das wirklich notwendig wäre. Für die Vermeidung, Erkennung und Lösung von Deadlocks existieren verschiedene Verfahren, die unter anderem in [135] diskutiert werden.

Kommunikation über unsichere Kanäle Die Grundlage von verteilten Systemen ist die Kommunikation zwischen den einzelnen Knoten. Aufgrund der Verteilung sind dabei aber die Kommunikationskanäle nicht immer zu 100% unter der Kontrolle des Gesamtsystems. Der Verlust oder die Kompromittierung von Nachrichten ist dadurch nicht auszuschließen. Auch wichtige Systeminformationen werden über diese unsicheren Kanäle übertragen. Daher sollte, soweit es die technischen Möglichkeiten und das Zeitregime zulassen, immer mit Verschlüsselung der Kommunikation gearbeitet werden. Bei mobilen Systemen kommt erschwerend hinzu, dass sich die Ausbreitung von Funkwellen nur schwer auf bestimmte Gebiete begrenzen lässt. Daher ist der Fremdzugriff auf das Kommunikationsmedium bei mobiler Kommunikation besonders leicht und unbemerkt möglich.

Zusätzlich zu den beschriebenen Nachteilen erfordert die Mobilität innerhalb eines verteilten Systems besondere Anstrengungen auf dem Gebiet der Kommunikation.

Hohe Fluktuation der Systemteilnehmer Bei verteilten Systemen variiert die Zahl der Systemknoten aufgrund von Inbetriebnahme weiterer Systemteile, durch das Stilllegen einzelner Knoten oder durch den Ausfall aufgrund eines Fehlers. Die geplanten Veränderungen (Inbetriebnahme bzw. Stilllegung) werden nur bei den wenigsten Systemen im laufenden Betrieb vorgenommen. Häufig sind spezielle Konzepte deswegen gar nicht vorgesehen. Für die Absicherung des Fehlerfalles sind gezielte Fehlererkennungs- und -behandlungsroutinen implementiert. Bei einem mobilen verteilten System können, aufgrund der Mobilität, Systemknoten den Einflussbereich des Systems jederzeit verlassen bzw. in den Bereich gelangen. Damit ist eine viel größere Teilnehmerfluktuation als bei verteilten Systemen gegeben. Nur mit flexiblen Strategien zur An- und Abmeldung von Teilnehmern können diese Vorgänge ohne Störung des Gesamtsystems integriert werden (siehe dazu Abbildung 4.7).

Kommunikation erfordert mehr Flexibilität Aufgrund der Mobilität der Kommunikationsteilnehmer besteht eine große Wahrscheinlichkeit für Verbindungsstörungen oder -unterbrechungen.

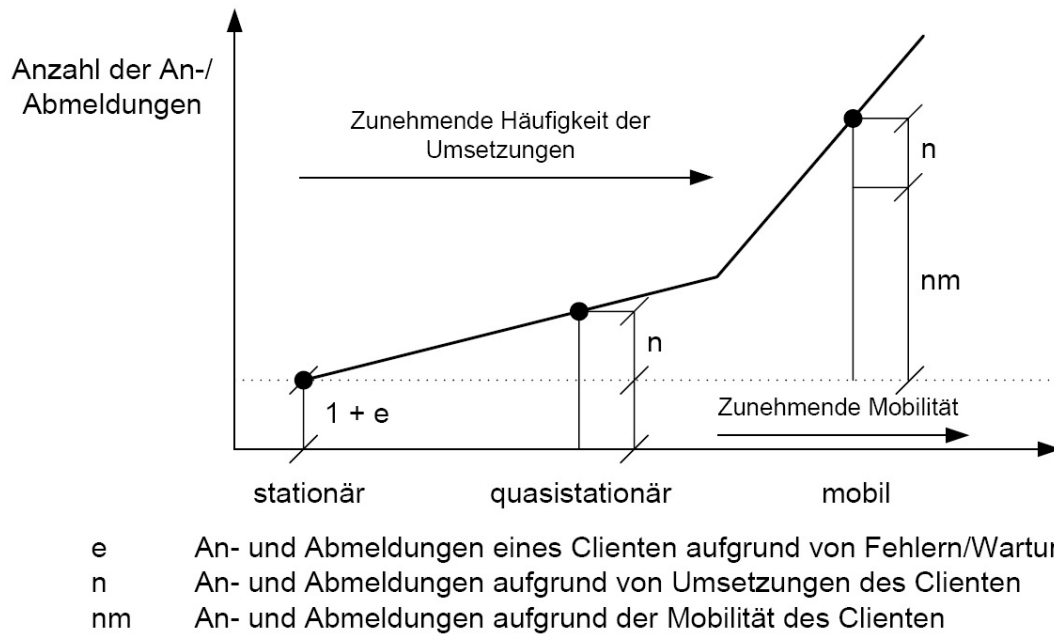


Abbildung 4.7: Einfluss der Mobilität auf Systemkomponenten

Generell ist die Kommunikation in diesen Systemen durch externe Störungen besonders gefährdet. Die Bitfehlerrate des Übertragungskanal „Luft“ ist um Größenordnungen höher als bei kabelgebundener Kommunikation. Für gleiche effektive Kommunikationsbandbreiten ist daher bei mobiler Kommunikation ein deutlich höherer soft- und hardwaretechnischer Aufwand nötig. Die Umsetzung dieser Anforderungen realisieren die Mobilfunksysteme mit den unterschiedlichen Standards auf verschiedene Weise. Im Verlauf dieser Arbeit werden einige Systeme dahingehend näher untersucht.

Ortsinformationen werden für die Steuerung benötigt Für die sinnvolle Beeinflussung eines verteilten Prozesses ist es wichtig, Informationen über den Ort der Beeinflussung zu besitzen. Bei verteilten Steuerungssystemen sind die Ortsinformationen in der Adressierung der Klienten verborgen. Dem Steuerungssystem ist aufgrund der Projektierung zu jeder Adresse bekannt, um welchen Aktor oder Sensor es sich handelt und an welcher Stelle das Gerät in den Prozess eingreift. Bei mobilen Klienten kann die Ortsinformation nicht in der Adresse enthalten sein²⁴, da sich der Klient quasi zufällig bewegt²⁵ und seine genaue Position nicht ohne direkte oder indirekte zusätzliche Informationen bestimmt werden kann.

Für ein mobiles verteiltes Steuerungssystem ist ein System zur Bestimmung von Positionsinformationen nötig.

4.2.2.2 Analyse des Prozesses hinsichtlich des Modells

Mobilität und Verteilung der Ebenen Zwischen den einzelnen Ebenen des Produktionsmodells werden vertikal Informationen ausgetauscht. Der Informationsaustausch basiert auf der Kommu-

²⁴Einzig bei Bewegungen nach einer festen Funktion: $Position = f(t)$ kann der Ort anhand von Zeitinformationen berechnet werden.

²⁵Die Bewegung kann nur grob vorhergesagt werden (durch vorgegebene Wegpunkte etc.). Die wirkliche Route wird durch Störungen und Ungenauigkeiten beeinflusst.

nikation zwischen den Ebenen. Aus Sicht der Kommunikation sind die räumliche Trennung (Verteilung) und die Bewegung der Klienten (Mobilität) von Bedeutung. Da der Prozess und ein dafür geeignetes Steuerungssystem im vorherigen Kapitel als mobile verteilte Systeme abstrahiert wurden, stellt sich die Frage, welche vom Steuerungssystem abgedeckten Ebenen mobil bzw. verteilt sind. Die Mobilität hat Einfluss auf die Kommunikation, da diese dann auf Mobilfunk basieren muss, was wiederum besondere Prozessparameter bedeutet. Beim Entwurf eines Steuerungskonzeptes ist es sinnvoll, sich an die strukturellen Besonderheiten des Prozesses anzupassen. Die prozessnahen Komponenten werden daher direkt mit den mobilen Fahrzeugen verknüpft. Die Feldebene ist damit sowohl als mobil als auch als verteilt anzusehen. Da Tagebaue ein großes Gebiet abdecken, sind die ablaufenden Prozesse ebenfalls weiträumig verteilt. Durch diese Verteilung, die Einschränkungen aufgrund der Mobilkommunikation und die Flexibilität der gesamten Produktion ist ein ausschließlich zentraler Ansatz für die Realisierung der SCADA-Ebene nicht Erfolg versprechend. Vielmehr wird das Produktionsgelände in Anlehnung an die zellbasierten Mobilfunksysteme in Steuerzellen eingeteilt, in erster Linie um Kommunikationsprobleme zu umgehen. Damit wird eine Zellebene eingeführt in der die SCADA-Lösung räumlich verteilt ist. Überlegungen zur SCADA-Ebene können auf die Betrachtung einer einzelnen Zelle reduziert werden und erlauben damit eine Vereinfachung der Analyse. Für stark verteilte Prozesse oder zellübergreifende Kommunikation müssen allerdings gesonderte Betrachtungen zum Einfluss des „Handover“²⁶ vorgenommen werden. Die für die übergeordneten Ebenen geforderte Dynamik ist auch mittels Kommunikation per Mobilfunksystem leicht zu realisieren, daher ist keine räumliche Teilung dieser Ebenen notwendig. Auch funktionell ist keine weitere Unterteilung nötig, da die zu realisierenden Funktionsumfänge bei Produktionsbereichen in anderen Branchen deutlich übertroffen und dort seit Jahren sicher beherrscht werden. Einzig der Zugriff auf die Funktionalität kann verteilt sein. Für manuelle Planungs- und Managemententscheidungen ist ein Fernzugriff per Internet heutzutage durchaus üblich. Dieser verteilte Zugriff hat aus steuerungstechnischer Sicht aber keinen Einfluss, da das zu befolgende Zeitregime eher langfristige Entscheidungen beinhaltet.

	Mobilität	Verteilung
ERP	Stationär	Nicht verteilt
MES	Stationär	Nicht verteilt
SCADA	Stationär	Verteilt
Feldebene	Mobil	Verteilt
Prozess	Mobil	Verteilt

Tabelle 4.1: Verteilung und Mobilität des Automatisierungsmodells der „Mobilen Technik“

4.2.3 Aufbau des mobilen verteilten Steuerungssystems

4.2.3.1 Konzeptionelle Gliederung

Wie in Kapitel 2.7 dargelegt, kann ein mobiles verteiltes Steuerungssystem (MVSS) aufgrund seiner Mobilität von einem VSS abgegrenzt werden. Die Aufgabe beim Entwurf eines MVSS besteht darin, die autarken mobilen Untersteuerungssysteme abzugrenzen und deren Funktionalität zu definieren, sowie die Kommunikationsbeziehungen zwischen den Teilsystemen abzubilden. Die beschriebenen Ansätze und die Analyse der Mobilität sowie der Verteilung der Ebenen liefern dafür die Ansatzpunkte.

²⁶Handover bezeichnet die Übergabe von Kommunikationsverbindungen zwischen benachbarten Zellen (im englischen auch mit dem Begriff Handoff bezeichnet).

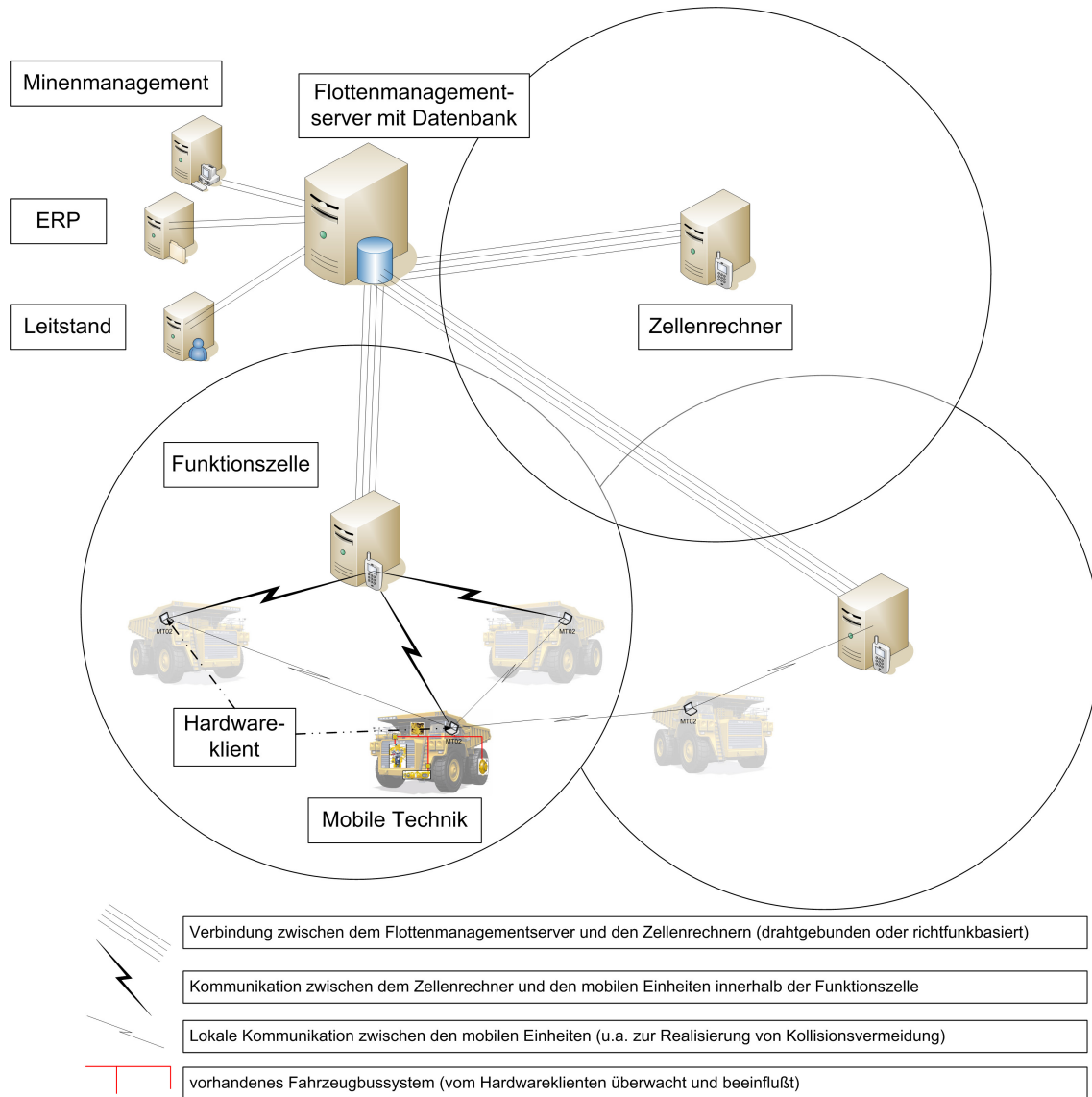


Abbildung 4.8: Aufbau des Steuerungssystems

In Abbildung 4.8 wird der grundlegende Aufbau eines Steuerungssystems für das Flottenmanagement der mobilen Technik skizziert. Anhand der zentralen Definition eines MVSS lassen sich die Bestandteile des Systems „Mobile Technik“ als mobiles verteiltes Steuerungssystem klassifizieren. Das Gesamtsystem gliedert sich danach in 3 Untersteuerungsebenen:

Zentralsteuerungsebene: nach Ansatz 3 als zentrales System mit intelligenter I/O

Zellensteuerungsebene: nach Ansatz 3 als zentrales System mit intelligenter I/O

Fahrzeugsteuerungsebene: nach Ansatz 4 als ein verteiltes System

Hinsichtlich der Forderungen stellt sich zuerst die Frage:

Wie kann die Mobilität des Steuerungssystems realisiert werden?

Bei der Analyse des Systems „Mobile Technik“ wurden die Fahrzeuge als mobile Komponenten identifiziert. Daher ist es sinnvoll die Untersteuerungsebene funktionell an ein Fahrzeug zu koppeln. Damit bildet sich ein System aus Fahrzeug und Steuerungseinheit, dass sich bezüglich seiner Komponenten zueinander statisch verhält, da die Steuereinheit mit dem mobilen Objekt mitbewegt wird. Die Mobilität äußert sich in diesem System nur noch als externe Störgröße²⁷ und erleichtert den Steuerungsentwurf maßgeblich. Die Mobilität der Untersteuerungsebene bedingt aber auch den Einsatz von mobilfunkbasierter Kommunikation²⁸ und die Forderung nach Positionsinformationen für den Fahrzeug-Steuerungsverbund. Für die übergeordneten Steuerungsebenen stellt die Änderung der Positionsinformation die Repräsentation der Bewegung dar. Die Dynamik der Erfassung und Übermittlung der Positionsdaten bestimmt damit entscheidend die mögliche Dynamik der übergeordneten Steuerungen.

Neben der Abbildung der Systemmobilität ist auch die nächste Frage von Bedeutung:

Wie wird die Verteilung der Komponenten berücksichtigt?

Die Untersteuerungssysteme in den Fahrzeugen sind räumlich mobil und verteilt. Darüber befinden sich in der Steuerungshierarchie die Zellensteuerungen. Per Mobilfunk steht diese Ebene mit den Fahrzeugen in Kontakt. Da die Kommunikationssysteme im Stadium des Konzeptentwurfes nicht festgelegt sind, ist keine allgemeingültige Aussage über die Reichweite der Kommunikation möglich. Da das Einsatzgebiet relativ groß ist, muss aber davon ausgegangen werden, dass die Funkreichweite nicht genügt, um das gesamte Gebiet mit einer Zelle abzudecken. Daher wird, wie beschrieben, eine Aufteilung in Form von Steuerungszellen etabliert, die naturgemäß verteilt sind. Alle übergeordneten Ebenen des Steuerungssystems sind nicht verteilt, was damit dem verwendeten Modell der Produktion entspricht, da dort ebenfalls die MES- und ERP-Ebene nicht verteilt sind.

Hierarchischer Aufbau der Steuerungen innerhalb einer Zelle Die Steuerungen innerhalb einer Zelle können anhand des hierarchischen Aufbaus dargestellt werden. Nach DIN 19233 ist folgende Struktur möglich:

Einzelgerätesteuern Diese Steuerungen sind größtenteils bereits von den Fahrzeugherstellern in den mobilen Fahrzeugen integriert. Diese Systeme sind u.a. bei Bremsvorgängen im Einsatz. Der Fokus der Einzelleitebene liegt auf der optimalen Steuerung von Teilsystemen eines Fahrzeuges.

Gruppenfunktionssteuerungen Unter Ausnutzung der Einzelgerätesteuern werden Grundfunktionen von den Fahrzeugen realisiert. Moderne Fahrzeuge sind auch bei diesen Steue-

²⁷Die Beseitigung von Störeinflüssen ist aus steuerungstechnischer Sicht relativ einfach möglich, wenn ausreichend Informationen über das Störverhalten vorhanden sind.

²⁸Für den Informationsaustausch mit den übergeordneten Steuerungsebenen.

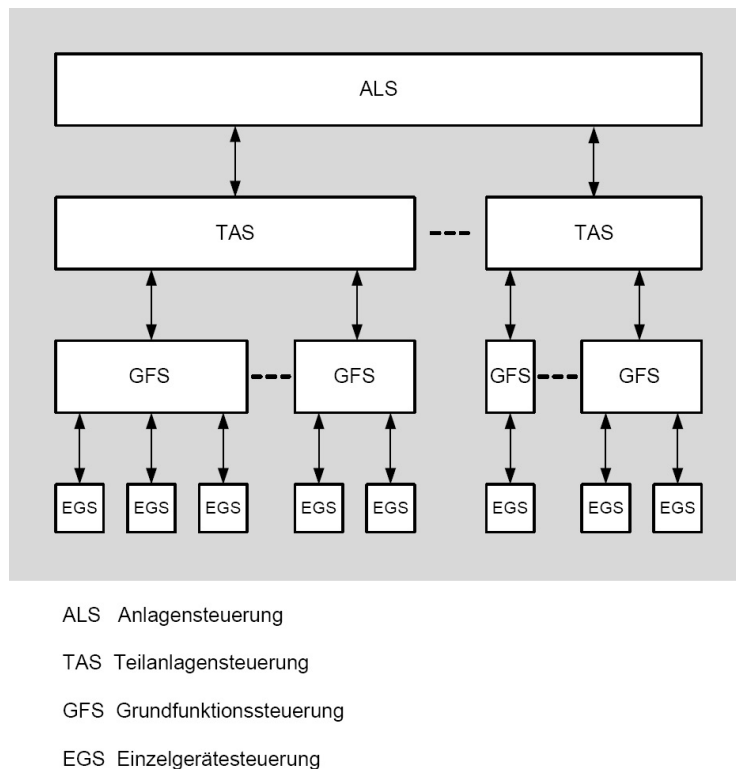


Abbildung 4.9: Steuerungshierarchie [9]

nungen auf dem neusten technischen Stand. Dazu gehören beispielsweise die integrierten Systeme wie das VIMS²⁹ von Caterpillar. Die Gruppenleitebene betrachtet bildlich gesprochen das Fahrzeug mit allen Teilsystemen als komplexes System. Darauf aufbauend werden die Steuerungsalgorithmen entworfen und realisiert.

Fahrzeugsteuerung Mittels der prozessnahen Komponente der mobilen Technik werden die Grundfunktionssteuerungen intelligent eingesetzt. Dazu bedient sich der Hardwareklient der Informationen vom Zellenrechner und von verbundenen Fahrzeugen. Damit wird beispielsweise die Kollisionsvermeidung realisiert. Durch die Anlagensteuerung wird ein Fahrzeug im Kontext des Prozesses und anderer Fahrzeuge betrachtet und gesteuert. Dazu sind die Informationen vom Zellenrechner sowie der anderen Fahrzeuge und damit direkt auch das Mobilkommunikationssystem, essentiell für die Realisierung der Anlagensteuerungsebene, nötig. Von besonderer Bedeutung ist weiterhin das Positionsbestimmungssystem, das die Lage innerhalb einer Zelle und die relativen Positionen zwischen den Fahrzeugen bestimmt.

Leitebene Die Steuerung der Zellebene basiert auf den Fahrzeugsteuerungen in der mobilen Technik. Realisiert wird die Steuerung von dem Zellenrechner. Die Leitebene verknüpft alle mobilen Fahrzeuge und Bestandteile einer Zelle zu einem Steuerungssystem. Die Dimension und Gestaltung einer Steuerungszelle werden maßgeblich vom Mobilfunksystem bestimmt.

Allgemein betrachtet, erweitert das System „Mobile Technik“ die bestehenden Steuerungen innerhalb eines Fahrzeuges, um die übergeordneten Ebenen und bindet die einzelnen Fahrzeugteilsteuerungen in den Automatisierungsverbund des Tagebaues ein. Damit werden auf höherer Abstraktionsebene Optimierungen möglich.

²⁹Siehe dazu Kapitel 2.1.3

4.2.3.2 Art der Steuerungen

Der beeinflusste Prozess bildet die Grundlage für die Automatisierung der mobilen Technik. Aufgrund des Einsatzes von mobiler Technik wird, im Gegensatz zur kontinuierlichen Förderung mit Bandanlagen, eine diskontinuierliche Materialförderung realisiert. Einerseits hängt das mit dem zeitlich begrenzten Einsatz³⁰ andererseits mit der begrenzten Kapazität der mobilen Technik³¹ zusammen. Mittels Reduktion auf qualitative Zustandsänderungen können bestehende kontinuierliche Abläufe³² auf diskrete Ereignisse abgebildet werden. Für Modellierungszwecke kann der Produktionsprozess daher als ereignisdiskretes nebenläufiges System betrachtet werden. Das System kann sich nur in diskreten Zuständen befinden. Der Übergang zwischen verschiedenen Zuständen tritt zu unterschiedlichen Zeitpunkten auf³³. Die im Fahrzeug integrierten Steuerungen der Einzel- und Gruppensteuerungsebene basieren auf der ereignisgesteuerten Kommunikation des CAN-BUS. Beginnend im KFZ-Bereich versuchen die Fahrzeughersteller eine zeitbasierte Kommunikation als Standard zu etablieren, um eine Steigerung der Effizienz zu erreichen. In absehbarer Zeit wird sich diese Kommunikation allerdings nicht flächendeckend durchsetzen. Daher sind und werden diese Steuerungen weiterhin als getaktete diskontinuierliche Steuerungen ausgeführt. Aufgrund des ereignisdiskreten Prozesses und der für das System „Mobile Technik“ verwendeten Kommunikations- und Rechentechnik werden auch die Steuerungen der Fahrzeugsteuerungsebene als getaktete diskontinuierliche Steuerungen ausgeführt.

4.2.3.3 Hardwarebestandteile des Systems „Mobile Technik“

Für die Realisierung des beschriebenen mobilen verteilten Steuerungssystems werden hardwaretechnische Erweiterungen der mobilen Technik und der vorhandenen fahrzeugeigenen Steuerungstechnik benötigt.

Mobile Hardwareklienten für die Fahrzeugsteuerungsebene Im System „Mobile Technik“ werden die mobilen Fahrzeuge mit Zusatzgeräten, den prozessnahen Steuerkomponenten, ausgestattet und bilden damit auf der untersten Ebene ein eigenständiges Steuerungssystem für die Vorgänge im Fahrzeug. Für die Kommunikation besitzen die Hardwareklienten jeweils einen Mobilfunkclient. Über diesen Kommunikationsweg kann der Zellenrechner oder ein anderer Klient erreicht werden. Für die Erfassung von relevanten Messdaten ist neben dem Anschluss an den Fahrzeugbus eine Reihe von Messwerteingängen vorgesehen. Darüber hinaus ist ein Positionsbestimmungssystem integriert. Im Kapitel Implementierung ist der genaue Aufbau eines Hardwareklienten beschrieben.

Zellensteuerrechner für die Zellensteuerungsebene Der Zellenrechner steuert und koordiniert die Vorgänge und Kommunikation in seiner Zelle. Er übernimmt die Daten der Klienten, verarbeitet sie entsprechend seiner Steuerungsaufgaben und reicht die verarbeiteten Daten an den übergeordneten Leitrechner weiter. Dazu wird neben der Rechentechnik ein Mobilfunksystem benötigt.

Zentraler Steuerrechner für die Zentralsteuerungsebene Für die übergeordneten Steuerungsaufgaben sind alle Zellensteuerungen mit einem zentralen Rechner verbunden³⁴. Dieser über-

³⁰Bedingt durch die Einsatzzeiten der Fahrer (oftmals nur ein oder zwei Schichtbetrieb).

³¹Die größten Fahrzeuge können maximal „nur“ 370 Tonnen Material bei einer Fahrt transportieren und diskretisieren damit den Materialfluss in, bis zu 370 Tonnen große, Teilmengen.

³²Das eigentliche Beladen dauert eine gewisse Zeit und läuft in diesem Zeitrahmen kontinuierlich ab. Durch Reduktion kann der Vorgang auf das Ereignis Beladen verkürzt werden.

³³Be- und Entladevorgänge, Fahrvorgänge etc. werden durch die Bediener zu beinahe beliebigen diskreten Zeitpunkten gestartet bzw. beendet.

³⁴Für die jeweilige Realisierung wird festgelegt, ob die Anbindung kabelgebunden oder drahtlos erfolgt.

nimmt darüber hinaus auch die Langzeitarchivierung und Visualisierung der Messdaten. Die genaue Realisierung der Visualisierungskomponente variiert mit den Einsatzfällen.

4.2.4 Forderungen an die technische Realisierung des Steuerungskonzeptes

In den vorherigen Kapiteln wurden verschiedene Forderungen an ein verteiltes Steuerungssystem für den Einsatz in Tagebauen und Minen gestellt. Für den zugrunde liegenden Entwurf ist die Erfüllung dieser Forderungen von entscheidender Bedeutung. Zur Erfüllung der Anforderungen durch das Konzept müssen Präzisierungen und weitere Anforderungen an die Systemparameter im Hinblick auf die Auswahl und technische Realisierung eines solchen Systems aufgestellt werden. Zusammenfassend lassen sich Anforderungen aus folgenden Teilbereichen klassifizieren:

Besonderheiten die sich aus dem Einsatzbereich Tagebau ergeben

- Geschlossener Nutzerkreis
- Keine/kaum Störungen durch Dritte
- Abgeschlossenes bekanntes Betriebsgelände
- EMV Richtlinien einhalten
- Extreme klimatische und technische Einsatzbedingungen

Wesentliche Forderungen die sich aus den gestellten Aufgaben ergeben

- Erfassung von Betriebs-, Maschinen- und Qualitätsdaten der mobilen Teilnehmer
- Exakte zeitliche Einordnung aller Messwerte
- Zuordnung von Messwerten zu bestimmten Positionen im Tagebau
- Steuerung und Optimierung der Fahrzeuge im Flottenverbund
- Schnelle Kommunikation zwischen allen Teilnehmern möglichst in Echtzeit
- Geeignete Auswertung der Daten zur Fehlerfrüherkennung und -vermeidung

Nachteile von mobilen verteilten Systemen

- Schnappschussproblem
- Uhrensynchronisation
- Kausaltreue Beobachtungen
- Phantom-Deadlocks
- Kommunikation über unsichere Kanäle
- Hohe Fluktuation der Systemteilnehmer
- Flexible Kommunikation erforderlich
- Ortsinformationen werden für die Steuerungsaufgaben benötigt

Nachteile bestehender Systeme

- Kommunikation per Satellit teuer und nicht durchgängig verfügbar
- Positionsbestimmung nur in 2 Dimensionen und in der Genauigkeit begrenzt

- Begrenzte Anzahl von Messstellen und -daten
- Zugriff auf die Daten nicht in Echtzeit sondern mit unbekannter Verzögerung
- Zentraler Server für alle Anwender
- Betrachtung nur als „kabellose Maschinen“ und nicht als mobiles verteiltes System

Forderungen aus der Definition von mobilen verteilten Systemen

- Mobilität
- Transparenz
- Skalierbarkeit und Flexibilität
- Sicherheit
- Zuverlässigkeit und Fehlertoleranz
- Offenheit

Die Vielzahl der Forderungen macht eine systematische Überprüfung des Steuerungskonzeptes schwierig. Daher müssen die Forderungen zuerst auf einige wenige abstrakte Anforderungen an ein verteiltes Steuerungssystem abgebildet werden.

Forderungen an die Kommunikation Grundlage jedes verteilten Systems ist die Kommunikation. Bei einem mobilen verteilten Steuerungssystem ergibt sich zwangsläufig die Forderung nach einem mobilfunkbasiertem Kommunikationssystem. Neben den Zulassungsbedingungen, Einsatz- und Beschaffungskosten sind die Reichweite und Bandbreite die beiden wichtigsten Parameter eines Mobilfunksystems. Die gestellten Aufgaben bedingen die Forderung nach einem System mit möglichst hoher Reichweite bei mittlerer Bandbreite. Darüber hinaus muss das System eine hervorragende Skalierbarkeit und Flexibilität bieten. Bezüglich der Realisierung ist ein System, das die harten Einsatzbedingungen in Tagebauen und Minen übersteht, zu bevorzugen. Für Steuerungsaufgaben ist neben der möglichen Übertragungsrate auch die Latenzzeit der Kommunikation von Bedeutung. Je höher die Latenzzeit eines Funksystems liegt, desto weniger eignet es sich für zeitsensitive Steuerungssysteme.

Forderungen an die Systemzeit Der größte Nachteil eines verteilten Systems ist das Fehlen einer globalen Systemzeit. Viele Forderungen basieren direkt oder indirekt auf Problemen die aufgrund der fehlenden gemeinsamen Zeitbasis entstehen. Für den Betrieb eines Steuerungssystems stellt sich die Forderung nach einer einheitlichen Systemzeit. Zu keinem Zeitpunkt z dürfen 2 beliebige Klientuhren x und y eine größere Abweichung zwischen ihren Systemzeiten haben als den Wert ϵ .

$$\forall_z : |t_{xz} - t_{yz}| < \epsilon \quad (4.1)$$

Die Größe von ϵ kann aus den Systemparametern bestimmt werden. Im Allgemeinen gilt:

$$\epsilon \ll t_z \quad (4.2)$$

t_z *Zykluszeit des Kommunikationssystems*

Mit einer Systemzeit die die geforderte Genauigkeit erreicht, können die Hauptnachteile eines verteilten Systems (Uhrensynchronisation, kausaltreue Beobachtung) beherrscht werden.

Forderungen an die Positionsbestimmung Die Position einer Systemkomponente ist eine wesentliche Information zur Abbildung seiner Mobilität. Eine Vielzahl der geforderten Aufgaben eines FMS basieren auf der genauen Kenntnis der Position. Ein Positionsbestimmungssystem muss die Position eines bewegten Teilnehmers bestimmen können³⁵. Aufgrund der Bewegung der Komponente weicht die aktuelle Position von der bestimmten Position immer weiter ab. Die Positionsbestimmung muss also so schnell erfolgen, dass sich die Werte noch innerhalb der erlaubten Fehlergrenzen befinden und nicht bereits aufgrund der möglichen Bewegung der Komponente außerhalb der zulässigen Wertebereiche liegen. Die Genauigkeit der Positionsbestimmung variiert mit den Aufgaben. Generell reicht eine Genauigkeit, die etwa die halbe Ausdehnung einer Systemkomponente beträgt. Neben der Genauigkeit einer Positionsangabe sind Angaben zur Verlässlichkeit der gelieferten Messwerte wichtig, da Positionswerte im Gegensatz zu anderen Messwerten von besonderer Bedeutung sind.

Forderungen an die Datenerfassung Die Grundlage von automatischen Entscheidungen bildet immer der Systemzustand. Um diesen Zustand möglichst genau abzubilden, müssen Daten von den Klienten erfasst werden. Die zyklische definierte Erfassung von Maschinen- und Betriebsdaten ist die Grundlage für spätere Analysen und Optimierungen. Im Bereich der mobilen Technik werden überwiegend Daten erfasst, die bereits mittels der fahrzeugeigenen Systeme gemessen wurden. Die Anforderung reduziert sich also dahingehend, dass von den untergeordneten Fahrzeugsystemen Daten in geeigneter Form und zeitlicher Abfolge angefordert werden müssen. Die Integration in die Kommunikationssysteme des Fahrzeuges ist daher unerlässlich. Für zusätzliche Funktionalität können weitere Datenerfassungssysteme, besonders für die Erfassung von Qualitätsdaten, eingefordert werden. Innerhalb der Zykluszeit des übergeordneten Steuerungssystems muss ein Systemabbild aller Eingänge aktualisiert werden können.

Forderungen an die Serverrealisierung Ein Großteil der Intelligenz des Gesamtsystems ist in den verteilten Steuerungen realisiert. Dennoch hat der Zentralrechner wichtige Funktionen zu steuern. Besonders auf der Planungsebene ist der Zentralserver die wichtigste Komponente. Die Steuerung der Flotte und das Verwalten von Aufträgen laufen über einen zentralen Server. Die Verarbeitung der Messdaten und deren Visualisierung in der Leitzentrale sind weitere Funktionen des Zentralrechners. Neben der Zuverlässigkeit, die ebenso von den mobilen Komponenten gefordert wird, sind an den Server besondere Anforderungen bezüglich der Datensicherheit, Redundanz und Verfügbarkeit zu stellen.

4.3 Grundlegende Konzepte zur Beherrschung der Forderungen

4.3.1 Mobilität, Verteilung und Kooperation

Die klassische Leittechnik benutzt überwiegend ortsfeste Technik für den Einsatz in stationären Prozessen. Die zunehmende Verflechtung von stationären und mobilen Komponenten in modernen Automatisierungsanlagen führt aber zu immer komplexeren Steuerungsaufgaben. Darüber hinaus werden, aufgrund der wachsenden Vernetzung der Planungs- und Fertigungsebene, die Steuerungsaufgaben durch zusätzliche Optimierungsforderung der übergeordneten Ebenen erweitert. Die klassischen Methoden des Entwurfs und der Modellierung können daher aufgrund des hohen Aufwands der Parameteridentifikation nur unvollständig angewendet werden. Die vorgeschlagene Modellierung des Prozesses als MVS und die Realisierung eines mobilen verteilten Steuerungssystems für das Flottenmanagement nach dem vorgestellten Konzept, basieren auf der Beherrschung von 3

³⁵Damit scheiden statische Vermessungsverfahren aus

grundlegenden Aspekten. Die Mobilität, die Verteilung und die Interaktion der Systemkomponenten sind die Schlüsselp Parameter. Gegenüber herkömmlichen Steuerungssystemen sind diese Punkte die wesentlichen Erweiterungen. Auf das vorliegende Problem angewandt, stellt sich letztendlich, zusätzlich zu den üblichen Steuerungsaspekten, die grundlegende Frage:

Zu welchem Zeitpunkt ist eine Systemkomponente an welchem Ort und in welcher Art und Weise agiert sie mit anderen Systemkomponenten?

Die konzeptionelle und technische Lösung dieser Fragestellungen soll im Folgenden mit verschiedenen Ideen vorbereitet werden. Dabei gliedern sich die Ansätze anhand der genannten Aspekte in:

Positionsbezogene Ansätze:

Ansätze und Ideen zur Erfassung und Verteilung der Positionsinformation im verteilten System.

Zeitbezogene Ansätze:

Ideen für Lösungen auftretender Probleme im Zusammenhang mit zeitlichen Aspekten.

Kooperative Ansätze:

Ideen deren zentrale Aussage sich aus der Kooperation von Systemkomponenten ergibt.

4.3.2 Positionsbezogene Ansätze

4.3.2.1 Diskretisierung der geographischen Positionsinformation

In mobilen verteilten Steuerungssystemen ist der Aufenthaltsort eines Klienten für die Steuerung von Bedeutung. Die Verwendung der Positionsinformation für Steuerungsaufgaben erfordert eine genaue Festlegung der verwendeten Koordinatensysteme und der erwünschten Granularität. Für die Verwendung in Steuerungsaufgaben werden Positionsinformationen häufig als relative Angaben verwendet. Für deren Beschreibung eignet sich ein kartesisches Koordinatensystem. Für die absolute Darstellung von Positionen werden verschiedene Koordinatensysteme verwendet. Die sphärischen Polarkoordinaten des geographischen Koordinatensystems sind hierfür am geläufigsten. Die Positionsabweichungen durch die Verwendung verschiedener Koordinatensysteme sind im Vergleich zur geforderten Genauigkeit der Positionsbestimmung minimal. Allen diesen Koordinatensystemen ist weiterhin gemeinsam, dass die Höhenkoordinate separat betrachtet wird³⁶. Die Anwendungen im System „Mobile Technik“ basieren auf einem 3-dimensionalen Koordinatensystem. Im Gegensatz zu den üblichen am Markt angebotenen FMS und GIS wird für den Tagebaueinsatz nicht auf eine Auswertung der Höhenkoordinate verzichtet. Bei Tagebauanwendungen ist die genaue Ebene, in der sich ein Fahrzeug befindet genau so wichtig, wie dessen exakte Position in horizontaler Ebene. Für die Positionsbestimmung gibt es eine Vielzahl von Prinzipien. Allen gemeinsam ist die Bestimmung der Position mit begrenzter Genauigkeit. Abgesehen von der Schwierigkeit der technischen Realisierung liefern Positionsinformationen, egal welcher Genauigkeit, keine Angaben über die steuerungstechnischen Relationen zwischen verschiedenen Orten. Bei Genauigkeiten der Position, die deutlich über der Ausdehnung der mobilen Systemkomponente liegen, ist eine Vielzahl von Positionen aus Steuerungssicht identisch, da die zu steuernde Einheit aufgrund ihrer eigenen Ausdehnung mehrere dieser Positionen gleichzeitig einnimmt. Diese Positionen müssen für Steuerungsaufgaben zu logischen Orten zusammengefasst und referenziert werden, um definierte Ergebnisse zu erzielen³⁷. Verladeplatz oder Fahrweg sind abstrakte Beschreibungen denen eine Anzahl von Positionen zugeordnet werden kann. Insgesamt ist es daher sinnvoll und technisch notwendig die ermittelten Positionen zu diskretisieren, d.h. die Genauigkeit der Position auf ein nutzbares Maß zu reduzieren. Damit werden Mehrdeutigkeiten vermieden und die technischen Anforderungen an

³⁶Die genaue Definition des Begriffs Höhe ist eine schwierige wissenschaftliche Frage und wird auf verschiedene Weise gelöst.

³⁷Ein Referenzierungsverfahren von geographischen Objekten wird u.a. in [136] behandelt.

die Erfassung und Verarbeitungen von Positionsinformationen verringert. Im eigentlichen Sinne ist die Positionsinformation mit jedem beliebigen anderen Messwert vergleichbar, der einen direkten Einfluss auf den Zustand des Gesamtsystems hat. Der Aufenthaltsort ist aber der wichtigste externe Parameter³⁸. Daher wird die Ortsinformation als eigenständiger Einflussfaktor betrachtet. Die beschriebene Diskretisierung wird in Form von Ortsdiskreten Werten für die Steuerung weiterverwendet. Die genaue Speicherung von 3-dimensionalen Koordinaten erfordert gesonderte Überlegungen bezüglich Performance und Speicherbedarf und bedingt ein besonderes Speichersystem. Die Erfassung und Gruppierung aller Positionen des gesamten Tagebaugeländes ist durchaus möglich, da das Gelände in seiner Ausdehnung begrenzt ist. Ein starres Schema ist hierfür nicht angeraten, da sich aufgrund des Betriebs die räumlichen Gegebenheiten im Tagebau ständig ändern.

4.3.2.2 Positionsstempel

Um eine konsistente Überwachung der Position zu erreichen, ist im Konzept vorgesehen die Position eines Fahrzeuges möglichst häufig zu erfassen. Die Obergrenze stellt dabei die Taktzeit der Steuerung der Fahrzeugssteuerungsebene dar. Da aber die Bandbreite der mobilen Kommunikation begrenzt ist, muss die Positionsübermittlung auf ein sinnvolles Maß beschränkt werden. Der Hardwareklient erfasst im Rahmen seiner Steuerungsaufgaben Daten der untergeordneten Systeme. Im Konzept ist vorgesehen diese Daten neben einem Zeitstempel auch mit einem Positionsstempel zu versehen. Ein Zeitstempel markiert die Zeit zu der ein Messwert erfasst worden ist, u.a. um die kausalen Zusammenhänge in einem verteilten System zu bewahren. In gleicher Weise soll ein Positionsstempel dazu dienen einen Zusammenhang zwischen Messwerten und dem Ort des mobilen Fahrzeuges herzustellen. Für die Zuordnung der Positionsstempel zu den Messwerten sind prinzipiell zwei Varianten denkbar. Zum einen kann der Positionsstempel zusammen mit dem Zeitstempel an den Messwert gebunden werden (auch bezüglich einer Datenarchivierung bzw. Weiterverarbeitung). Die zweite Variante besteht darin, mit der kleinstmöglichen Taktzeit die Positionen zu erfassen und mit einem Zeitstempel zu verknüpfen. Erfasste Messwerte würden dann nur mit einem Zeitstempel versehen. Bei Bedarf kann, über den Zeitstempel, der gültige Positionsstempel dem Messwert zugeordnet werden. Die Erfassung und Speicherung der Position für jeden Taktzyklus bedeutet aber einen hohen Speicheraufwand. In der ersten Variante hingegen werden nur tatsächliche Messwerte mit Positionsdaten verknüpft. Daher ist die erste Variante besonders geeignet für Anwendungsfälle in denen nur relativ selten Messwerte erfasst werden. Bei vielen Messwerten ist die zweite Variante besser geeignet, da nicht zu jedem Messwert die Position abgespeichert werden muss.

Die erste Variante erfordert vom Positionsbestimmungssystem eine schnelle Verfügbarkeit, um dem Messwert umgehend eine Position zuzuordnen. Auch dabei entsteht ein Positionsfehler in Abhängigkeit von der Verzögerungszeit aufgrund der Positionsmessung und durch die Geschwindigkeit des Fahrzeuges. Sollten es die energetischen Umstände erlauben, bietet sich eine ständige Positionsmessung mit höchstmöglicher Messrate an. Der jeweils aktuelle Wert wird dabei nur zwischengespeichert. Einem Messwert kann so ohne Verzögerung eine Position zugeordnet werden. Dabei muss aber gelten:

$$|t_{\text{aktuell}} - t_{\text{Messzeitpunkt}}| < T_{\text{Verzögerung}} \quad (4.3)$$

Die Zeit seit der letzten Messung muss kleiner sein, als die Verzögerungszeit die aufgrund einer erneuten Positionsmessung entstehen würde, da sonst der Positionsfehler größer wäre als bei einer sofort gestarteten neuen Messung. Bezüglich der Erfassung stellt die zweite Variante hohe

³⁸Aus steuerungstechnischer Sicht sind externe Parameter als Störgrößen zu betrachten.

	Variante 1	Variante 2
Anforderungen an das Positionbestimmungssystem aufgrund von Positionsanfragen	Hoch	Sehr hoch
Erfassungshäufigkeit	Gering (bei wenigen Messwerten) Hoch (bei vielen Messwerten)	Sehr hoch
Geforderte Anlaufverzögerung	Sehr geringe Anlaufverzögerung gefordert	Vernachlässigbar, da ständiger Betrieb
Speicheraufwand pro Messwert		
- bei wenigen Messwerten	Gering	Sehr hoch
- bei vielen Messwerten	Sehr hoch	Sehr gering

Tabelle 4.2: Variantenvergleich - Positionstempel

Anforderungen an das Positionbestimmungssystem, da die kleinste mögliche Taktzeit des Hardwareklienten eingehalten werden muss. Sollte ein System diese Forderung nicht erfüllen können, kann alternativ der letzte gültige Positionstempel für verschiedene, aufeinander folgende Zeitstempel benutzt werden. Dabei entsteht ein Positionsfehler, der in seiner Größe von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs abhängig ist. Nur bei einem ruhenden Fahrzeug entsteht kein weiterer Positionsfehler.

4.3.2.3 Zusammenhang zwischen Positionsfehler und Zykluszeit

Da bei der Positionsbestimmung Fehler auftreten, ist die wirkliche Position eines Fahrzeuges nicht mit der ermittelten Position identisch. Vielmehr stellt die ermittelte Position den Mittelpunkt des Raumvolumens dar, in dem sich mit bestimmter Wahrscheinlichkeit der wirkliche Aufenthaltsort des Fahrzeuges befindet. Die Form des Raumvolumens ist dabei abhängig vom Positionsmessverfahren³⁹. Aufgrund der Zeitdiskretisierung des Systems [137] entsteht ein Fehler der zusätzlich zur Messungenauigkeit wirkt. Innerhalb des Zeitraums seit der letzten Messung kann sich das Objekt bewegt und damit auch seine Position verändert haben. Für die Abschätzung dieses Fehlers können verschiedene Ansätze verwendet werden.

Pessimistischer Ansatz Die Abschätzung geht von dem pessimistischen Ansatz aus, dass sich das Objekt mit maximaler Geschwindigkeit bzw. maximaler Beschleunigung von seiner Position entfernt. Die maximal mögliche Geschwindigkeit eines Tagebaufahrzeuges ist in der x-y Ebene größer als die erreichbare Geschwindigkeit in z-Richtung. Daher ist der maximal mögliche Positionsfehler für jede Koordinatenrichtung einzeln anzugeben. Für eine bewegtes Objekt gilt dabei:

$$v_{i-max} * \Delta t = \Delta P_{i-max} \quad i = (x, y, z) \quad (4.4)$$

Für eine ruhendes Objekt gilt:

$$\frac{1}{2} * A_{x_{max}} * (\Delta t)^2 = \Delta P_{x_{max}} \quad \text{solange } V_x < V_{x_{max}} \quad (4.5)$$

³⁹Beim GPS ist beispielsweise die Höhenmessung prinzipbedingt ungenauer als die Messung der x-y Koordinaten und damit ergibt sich keine Kugel sondern eine Ellipse mit der größeren Halbachse in Richtung der Höhenkoordinate.

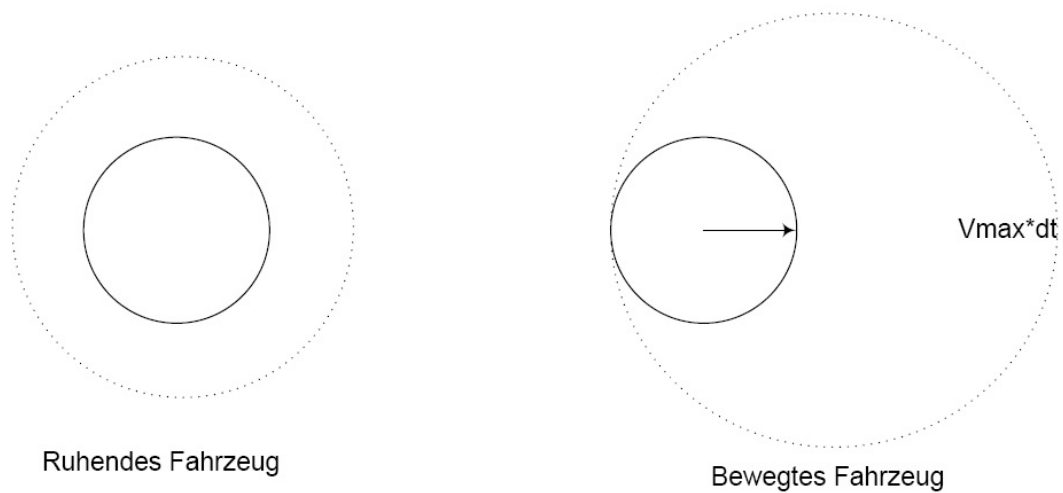


Abbildung 4.10: Positionsunsicherheit

Durchschnittsansatz In der Realität werden sich Fahrzeuge eher mit durchschnittlichen Geschwindigkeiten bzw. Beschleunigungen bewegen. Für eine höhere Aussagekraft der Daten ist es daher möglich, die Fehlerabschätzung für eine Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrzeuge auszuführen. Dadurch kann der mögliche Aufenthaltsbereich allerdings nicht mehr mit 100%iger Sicherheit angegeben werden, sondern vielmehr für eine durchschnittliche Wahrscheinlichkeit. Bei einem einfachen Ansatz kann in den Formeln 4.4 und 4.5 einfach die Durchschnittsgeschwindigkeit anstatt der Maximalgeschwindigkeit des Objektes verwendet werden. Analog dazu ist für ein ruhendes Objekt die durchschnittliche Beschleunigung zu nutzen. Die Bestimmung der Durchschnittswerte für Geschwindigkeit und Beschleunigung kann mittels Festlegung oder durch Auswertung von historischen Daten für jedes Objekt vorgenommen werden.

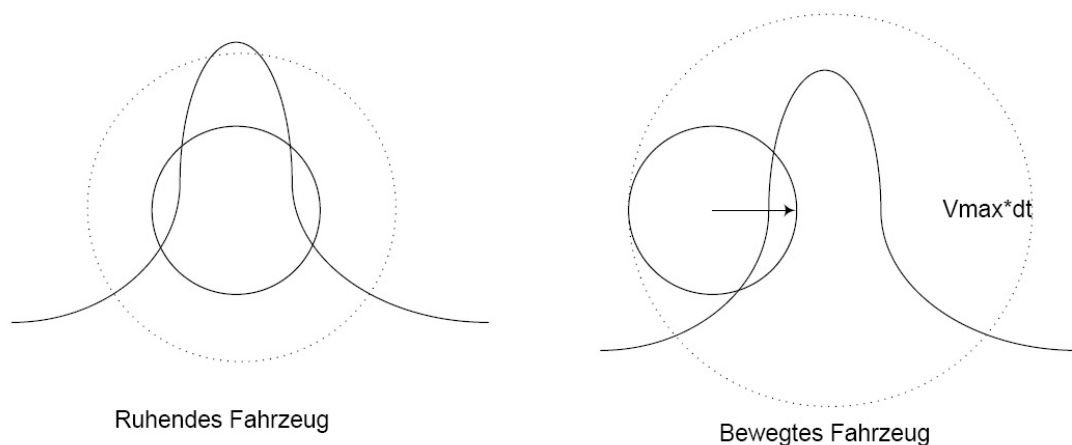


Abbildung 4.11: Aufenthaltswahrscheinlichkeit

Verteilungsfunktionsansatz Für die Vorhersage von zufälligen Positionsänderungen eines Objektes kann eine Verteilungsfunktion benutzt werden. Für jede Position in der Umgebung des Objektes existiert eine bestimmte Wahrscheinlichkeit p mit der das Objekt nach einem Zeitraum t genau diese Position einnimmt. Unter der Annahme, dass ein Objekt keiner fest vorgegebenen Route folgt, kann dieser Ansatz verwendet werden. Für die zufällige Bewegung eines aktuell ruhenden

Objektes kann eine Normalverteilung angenommen werden⁴⁰. Der Erwartungswert der Verteilung ist dabei die Position an der das Objekt ruht (es ist am wahrscheinlichsten, dass das ruhende Objekt weiter ruht, also seine Position nicht verändert). Für ein bewegtes Objekt ist der Erwartungswert der Normalverteilung die Position, die mit der aktuellen Geschwindigkeit erreicht wird (d.h. $\Delta a = 0$). Die obere Grenze der Positionsänderung ist die Position, die eine Berechnung mittels des pessimistischen Ansatzes liefert. Der pessimistische Ansatz ist also ein Spezialfall des Verteilungsfunktionsansatzes für eine Sicherheit von nahe 100%. Alle Werte, die eine Auswertung der Verteilung liefert, die größer als dieser obere Grenzwert sind, müssen als Fehler des Messsystems oder des Übertragungskanals angesehen werden. Mit Hilfe der Verteilungsfunktion kann für einen bestimmten Sicherheitswert ein zugehöriger Positionsfehler bestimmt werden. Die Festlegung des Sicherheitswertes hängt von der Art der Applikation ab, die die Positionsinformation nutzt.

Routenplanungsansatz Für Fahrzeuge, die festen Routen folgen ist der Verteilungsansatz nicht zu verwenden. Es ist aber möglich anhand der geplanten Route eines Fahrzeuges eine Abschätzung seines möglichen Positionsfehlers seit der letzten Messung zu erstellen. Für einen aktuellen Zeitpunkt

$$t_{\text{aktuell}} > t_{\text{Messzeitpunkt}} \quad (4.6)$$

wird eine Position anhand der Routenplanung bestimmt. Dazu werden neben dem Zeitpunkt t_{aktuell} , die aktuelle Geschwindigkeit und Beschleunigung des Objektes benötigt. Für diese beiden Werte können wiederum Abschätzungen nach den genannten Methoden vorgenommen werden. Der Unterschied beim Routenplanungsansatz liegt darin, dass mittels Routeninformationen ein wahrscheinlicher Richtungsvektor für die Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung berechnet werden kann.

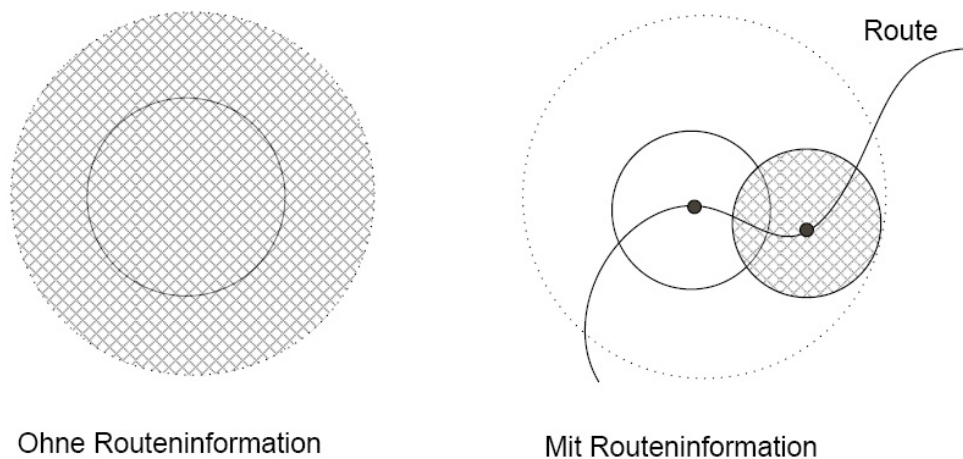


Abbildung 4.12: Positionsunsicherheit bei bekannter Route

Es ist als Variante möglich, die Position auf der geplanten Route zusätzlich durch einen Unsicherheitsfaktor zu wichten. Aus historischen Daten kann bestimmt werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Objekt der geplanten Route folgt bzw. mit welchem zeitlichen Schema das Fahrzeug die Route abfährt. Aus dieser Wahrscheinlichkeit lässt sich der Unsicherheitsfaktor ableiten. Voraussetzung für den Routenplanungsansatz ist allerdings eine detaillierte Routenplanung für das jeweilige Fahrzeug mit vorhandenen Stütz- und Wegpunkten.

⁴⁰Die Standardabweichung muß individuell für die Fahrzeuge aus historischen Daten bestimmt werden.

4.3.2.4 Variables Periodisches Abfrageprotokoll

Die mögliche Positionsungenauigkeit bei einem bewegten Objekt ist größer als bei einem ruhenden Objekt. Dabei ist es relativ unerheblich, welcher Ansatz zur Abschätzung des Positionsfehlers verwendet wird. Um eine Positionsinformation für Steuerungsaufgaben zu verwenden, wäre eine bekannte, nicht dynamische⁴¹ Ungenauigkeit wünschenswert. Durch Verkürzung des Abfrageintervalls aller Objekte kann die Genauigkeit nicht beliebig gesteigert werden, da die Übertragungskapazität der Funkstrecke begrenzt ist. Um diese Forderung dennoch zu erfüllen, wird im Kommunikationskonzept des Systems „Mobile Technik“ eine variable Zykluszeit für die Übertragung von Positionsinformationen vorgesehen. Es handelt sich dabei speziell um ein „Periodic-Querying“ Protokoll zum Update der Ortsinformation. Bewegte Objekte werden innerhalb des Kommunikationszyklus (t_{Zyklus}) häufiger bezüglich ihrer Position abgefragt. Ruhende Objekte entsprechend weniger oft.

$$v \uparrow \rightarrow T_{Zyklus} \downarrow \quad (4.7)$$

Die genauen Vorgänge beim Übergang vom Stillstand zur Bewegung und umgekehrt werden im Abschnitt zum Kommunikationskonzept näher beschrieben. Für Bewegungen in z-Richtung ist diese Maßnahme nicht zwingend erforderlich, da für den Normalbetrieb keine Positionsänderung der mobilen Technik ausschließlich in z-Richtung möglich ist. Es ist dabei immer ein Anteil von horizontaler Bewegung erforderlich⁴², der noch dazu in seinem Betrag größer als die Bewegung in z-Richtung ist.

Die Zeit seit der letzten Positionsmessung eines Objektes setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen. Zuerst aus den Verarbeitungszeiten t_v des Messsystems und des mobilen Controllers vor Ort. Weiterhin zu beachten ist die Zeit t_k für die Übertragung der Positionsdaten über das Kommunikationssystem. Diese beiden Verzögerungszeiten sind technisch bedingt und können durch konzeptionelle Änderungen nicht verringert werden. Die Zeit zwischen der Erfassung einer Position und der Abfrage durch den Server variiert im Rahmen maximal einer Zykluszeit⁴³. Für die durchschnittliche Zeit t_{a1} gilt bei gleichverteiltem Zugriff:

$$t_{a1_{avg}} = T_{Zyklus}/2 \quad (4.8)$$

Die Zeit t_{a2} zwischen der letzten Aktualisierung der Positionsinformation durch den Server und der Nutzung durch eine Anwendung ist ebenfalls abhängig von der Zykluszeit der Aktualisierung. Bei gleichverteilten Zugriffen durch die Applikation beträgt die durchschnittliche Zeit t_{a2} :

$$t_{a2_{avg}} = T_{Zyklus}/2 \quad (4.9)$$

Damit ergibt sich für die Gesamtverzögerungszeit:

$$t_g = t_v + t_k + t_{a1} + t_{a2} \quad (4.10)$$

$$t_{g_{max}} = t_v + t_k + 2 * T_{Zyklus} \quad (4.11)$$

$$t_{g_{min}} = t_v + t_k \quad (4.12)$$

$$t_{g_{avg}} = t_v + t_k + T_{Zyklus} \quad (4.13)$$

$$(4.14)$$

In einem System mit einheitlicher globaler Zeit kann die Gesamtverzögerungszeit gemessen werden. Dazu wird der Zeitpunkt der Messung bestimmt und als Zeitstempel mit der Positionsinformation verknüpft⁴⁴. Zum Zeitpunkt der Positionsabfrage durch die Anwendung ermittelt der Server die

⁴¹Egal ob es sich um ein bewegtes oder ruhendes Objekt handelt. Idealerweise wäre die Ungenauigkeit für bewegte und unbewegte Objekte gleich.

⁴²Im Falle eines Unfalls(Absturzes) ist eine reine Bewegung in z-Richtung denkbar. Das entspricht aber nicht dem geplanten Normalbetrieb.

⁴³Die Zykluszeit ist dabei definiert als Zeit zwischen zwei Anfragen an dasselbe Fahrzeug.

⁴⁴Die dabei auftretende Zeit t_v kann experimentell bestimmt werden, da alle Abläufe streng deterministisch sind und mit in den Positionsstempel eingerechnet werden.

aktuelle globale Zeit. Daraus und aus dem Zeitstempel der Position kann die tatsächliche Gesamtverzögerungszeit bestimmt werden.

$$t_g = t_{\text{aktuell}} - (t_{\text{Messzeitpunkt}} - t_v) \quad (4.15)$$

Für die Positionsinformation eines Objektes, die der Applikation zur Verfügung steht, gelten in Abhängigkeit des gewählten Ansatzes folgende Gleichungen:

$$P_{x_{\text{mess}}} + U_{x_{\text{app}}}(t_{\text{aktuell}}) = P_{x_{\text{mess}}} + U_{x_{\text{mess}}}(t_{\text{mess}}) \pm t_g * v_{x_{\text{max}}} \quad (4.16)$$

$$P_{x_{\text{mess}}} + U_{x_{\text{app}}}(t_{\text{aktuell}}) = P_{x_{\text{mess}}} + U_{x_{\text{mess}}}(t_{\text{mess}}) \pm t_g * v_{x_{\text{avg}}} \quad (4.17)$$

$$P_{x_{\text{mess}}} + U_{x_{\text{app}}}(t_{\text{aktuell}}) = P_{x_{\text{mess}}} + U_{x_{\text{mess}}}(t_{\text{mess}}) \pm t_g * v_{x_{95\%}} \quad (4.18)$$

$$P_{\text{Route}}(t_{\text{aktuell}}, (t_m)) + U_{x_{\text{app}}}(t_{\text{aktuell}}) = P_{\text{Route}}(t_{\text{aktuell}}, (t_m)) + P_{\text{Route}}(t_m) - P_{x_{\text{mess}}}(t_m) + U_{x_{\text{mess}}}(t_m) \quad (4.19)$$

Anhand der geschätzten Positionsunsicherheiten lässt sich die neue Abfragecharakteristik (innerhalb des Kommunikationsframes) festlegen. Ziel der optimierten Festlegung ist die Minimierung der Positionsunsicherheiten. Dazu dient folgende Forderung:

$$\min \left(\sum_{i=1}^n U_i(t_{\text{aktuell}}) \right) \quad (4.20)$$

Eine Minimierung der Unsicherheiten kann nur mittels Reduzierung der Zykluszeit der einzelnen Kommunikationsknoten erreicht werden. Dabei ist zu beachten, dass die Summe aller Zykluszeiten stets die folgende Forderung erfüllen muss.

$$T_{k-i} - \sum_{n=1}^m \left(t_{Z_n} * \left(\frac{t_k - t_{i_n} - t_{Z_n}}{T_n} \right) \right) > 0 \quad (4.21)$$

T_{k-i}	beliebiger Zeitraum t_i bis t_k
t_{i_n}	Zeitpunkt der ersten Abfrage des Knoten n innerhalb von T_{k-i}
m	Anzahl der Kommunikationsteilnehmer
t_{Z_n}	Verzögerungszeit durch Abfrage und Kommunikation
T_n	Zykluszeit des Knoten n

Die Ungleichung beschreibt, wie viele Kommunikationsvorgänge innerhalb eines Zeitraumes durchgeführt werden können. Dazu wird für jeden Knoten bestimmt, wie viele Kommunikationszyklen mit der aktuellen Zykluszeit durch den Knoten in diesem Zeitraum ausgeführt werden. Multipliziert mit der Verzögerungszeit ergibt sich der „Zeitverbrauch“ des Knotens. Die Summe aller Zeiten muss immer kleiner als der betrachtete Gesamtzeitraum sein, da ansonsten nicht alle Kommunikationsbeziehungen erfüllt werden können. Die Ungleichung geht von der Annahme aus, dass die Zykluszeit für jeden einzelnen Knoten konstant ist. Bei variabler Zykluszeit muss der betrachtete Zeitraum so unterteilt werden⁴⁵, das eine konstante Zykluszeit betrachtet werden kann. Insgesamt wird von der Ungleichung nur eine quantitative Aussage getroffen. Über die genaue Anordnung und mögliche Überschneidungen zwischen verschiedenen Zeitzyklen ist keine Aussage möglich. Für den Fall, dass die (unterschiedlich langen) Zeitzyklen von 2 oder mehr abzufragenden Klienten gleichzeitig beginnen ($t_{i_1} = t_{i_2}$), werden die Zyklen mit den größeren Zykluszeiten ($T_1 > T_2$) in

⁴⁵Alle unterteilten Zyklen müssen dann separat die Ungleichung erfüllen.

ihrer Ausführung solange verzögert, bis der Vorgang mit der kürzesten Zykluszeit, beendet ist⁴⁶. Da solange Formel 4.21 erfüllt ist, alle Kommunikationsbeziehungen abgearbeitet werden können, ist trotz dieser Verzögerung die Konsistenz⁴⁷ der Abfragen sichergestellt. Mittels Anpassung der Zykluszeit ist die Positionsinformation der Klienten, trotz begrenzter Übertragungskapazität, immer mit dem geringsten möglichen Gesamtfehler auf dem Server verfügbar. Die Vergrößerung der Positionsfehler von einzelnen Klienten wird dabei zugunsten des geringeren Gesamtfehlers in Kauf genommen. Als Anpassungsstrategie empfiehlt sich bei den Klienten mit der größten aktuellen Geschwindigkeit die Zykluszeit zu verkürzen und bei den langsamsten Klienten die Zykluszeit zu verlängern. Neben der globalen Anpassung der Zykluszeit ist weiterhin vorstellbar, die Zykluszeit für Fahrzeuge in bestimmten Bereichen zu verkürzen und damit einen geringen Positionsfehler zu garantieren. Bei der Befahrung bestimmter kritischer Bereiche kann so ortsabhängig die Sicherheit der Positionslösung erhöht werden. Ebenso ist es vorstellbar, die Zykluszeit für bestimmte Vorgänge speziell anzupassen. Diese prozessabhängige Anpassung erlaubt die Durchführung von Prozessen mit höheren Genauigkeitsanforderungen.

4.3.2.5 Zuverlässigkeit der Daten bei der Positionsbestimmung

Neben der Genauigkeit einer Positionsbestimmung spielt auch die Zuverlässigkeit eines Wertes eine entscheidende Rolle. Die Frage aus steuerungstechnischer Sicht ist, in wie weit man einem ermittelten Positionswert vertrauen kann. Daher ist eine Aussage über die Zuverlässigkeit der Messwerte wünschenswert. Fehler im Positionsmesssystem könnten ansonsten dazu führen, dass Positionen die aufgrund fehlerhafter Messungen entstanden sind, als real angenommen werden. Das GPS liefert beispielsweise mit den DOP-Werten⁴⁸ einen Anhaltspunkt über die erreichbare Genauigkeit der aktuellen Messung. Ausfälle bzw. Fehlfunktionen des Systems werden dadurch aber nicht erkannt bzw. überwacht⁴⁹. Falls das Messsystem keine Informationen zur Vertraulichkeit von Daten liefert, kann nur im begrenzten Umfang eine Plausibilitätsprüfung der aktuellen Positionswerte anhand von historischen und Trenddaten vorgenommen werden.

Plausibilitätstests Ganz offensichtlich kann sich ein Fahrzeug nicht plötzlich an einer Position befinden, die es im betrachteten Zeitraum gar nicht mit maximaler Geschwindigkeit hätte erreichen können. Solche Positionsinformationen werden daraufhin verworfen oder als nicht plausibel markiert. Die möglichen Ergebnisse solcher Prüfungen sind allerdings beschränkt, da nur wirklich deutliche Ausreißer erkannt werden können. Das begrenzte Einsatzgebiet des Systems erlaubt weiterhin den Ausschluss von Positionen die außerhalb des Betriebsgeländes liegen. Nach einer Anlernphase erkennt das System, anhand der Prüfung mit bekannten Positionen, welche Positionen überhaupt gültig sind. Etwaige Erweiterung des Geländes (durch Abbau oder Sprengung) gehen schrittweise von statten und können mit Hilfe von Nährungsbeziehungen zu gültigen Positionen ebenfalls als gültig erkannt werden.

Map Matching Eine weitere Variante der Prüfung bzw. Anpassung von Positionswerten bei FMS ist die Map Matching Technologie. Dabei werden Positionen von Fahrzeugen automatisch korrigiert, da angenommen wird, dass ein Fahrzeug auf einer Strasse fährt und dass Positionen außerhalb von Strassen nicht gültig sein können. Für den Einsatz in Tagebauen und Minen eignet sich dieses Prinzip nicht, da die Fahrwege und Gegebenheiten auf dem Betriebsgelände ständigen Änderungen

⁴⁶Bei Klienten mit der kürzesten Zykluszeit bedeutet eine Verzögerung den größten Fehler, daher werden diese Anfragen zuerst durchgeführt und alle Klienten mit längeren Zykluszeiten werden später abgearbeitet.

⁴⁷Egal wie oft eine Abfrage verschoben wird, letztendlich wird sie vor Ende des Zeitraums durchgeführt.

⁴⁸Dilution of Precision, siehe dazu [138].

⁴⁹Aus diesem Grund ist das GPS auch nicht als alleiniges Navigationsinstrument in Flugzeugen zugelassen. Die Korrektheit von GPS Daten kann nicht ohne Zusatzsysteme mit der geforderten Sicherheit festgestellt werden.

unterworfen sind. Außerdem ist es zwingend notwendig, dass sich Minenfahrzeuge außerhalb von Fahrwegen in „neues“ Gelände bewegen, um den Abbau zu unterstützen.

4.3.2.6 Position als Information über das Störverhalten

Die klassische Wirkungsweise von Steuerungen basiert auf der Beeinflussung einer Strecke durch eine Steuereinrichtung. Die Ausgangsgröße x muss dabei eindeutig von der Führungsgröße w abhängen. Die Störgröße z hat unerwünschterweise ebenfalls einen Einfluss auf die Ausgangsgröße x . Durch eine Information von der Störgröße kann über die Steuereinrichtung so auf die Ausgangsgröße eingewirkt werden, dass der Störeinfluss aufgehoben wird. Der Grund warum in Tagebauen und Minen bisher kaum Steuerungssysteme für die mobile Technik im Einsatz sind, ist der große Störeinfluss durch die Mobilität der Geräte. Durch die Bewegung ändern sich ständig die Umgebungsbedingungen des Systems „Mobile Technik“ und damit der Störeinfluss werte- und richtungsmäßig.

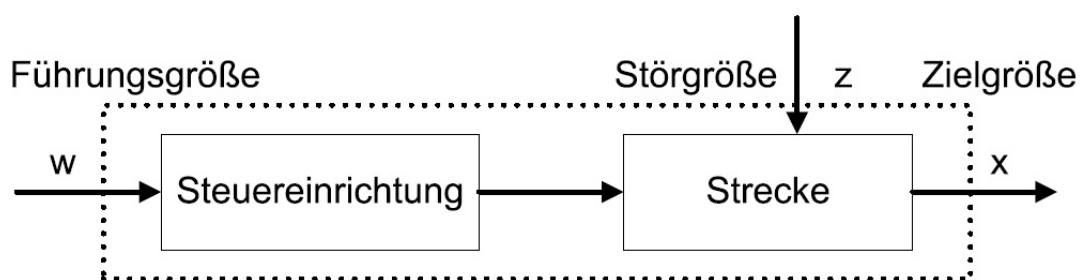


Abbildung 4.13: Grundprinzip Steuerung [9]

Der Ansatz des vorgestellten Steuerungskonzeptes basiert auf dem Gedanken die Position eines mobilen Gerätes, die im Rahmen der Überwachung des Fahrzeuges ermittelt wird, als Information über Störgrößen zu nutzen. Der Idee liegt die Annahme zugrunde, dass der größte Teil der Störungen, die extern auf das Fahrzeug einwirken, von der Position abhängig sind⁵⁰. Der überwiegende Teil der Störungen resultiert aus Bedingungen, die an der jeweiligen Position vorherrschen. Nur ein kleinerer Teil der Störungen entsteht aus zufälligen Gegebenheiten bzw. unterliegt einer zeitlichen Entstehungsfunktion. Es sollte daher möglich sein, jeder Position ein bestimmtes Grund- bzw. Hauptmuster an Störungen zuzuordnen und damit quasi eine ortsabhängige Störungsfunktion $z = f(\text{Position})$ zu generieren. Mit Hilfe dieser Störungsfunktion kann über die Steuereinrichtung auf das System „Mobile Technik“ eingewirkt werden. Die Bestimmung einer ersten Grundstörungsfunktion $z_{\text{Start}} = f(\text{Position})$ für ein Betriebsgelände kann durch Leer- bzw. Messfahrten vorgenommen werden. Die Anpassung der Störungsfunktion kann durch Messwerte aus dem laufenden Betrieb berechnet werden. Die Korrelation von Prozessdaten von verschiedenen Zeitpunkten für eine identische Position erlaubt einen Ansatzpunkt für die Anpassung. Dabei ist zu beachten, dass möglichst viele Parameter⁵¹ in engen Schranken übereinstimmen, um den Störeinfluss so exakt wie möglich zu ermitteln.

4.3.2.7 Positionsinformation zur Unterstützung des Kommunikationssystem

Die Positionsinformationen der Klienten können zur Steigerung der Effizienz des Funksystems genutzt werden. Die moderne Kommunikationstechnik kennt unter dem Begriff Raummultiplex

⁵⁰z.B. wirken in abfallenden Geländeabschnitten, die ja eine feste Position besitzen, größere Kräfte bei Bremsvorgängen

⁵¹Beladungsprofil, Zeitpunkt innerhalb des Tages, Geschwindigkeit, Beschleunigung etc.

(Space Division Multiplex) Methoden zur Steigerung der Nutzeranzahl für ein Funkmedium. Aufgrund der Kenntnis der genauen Position kann beim System „Mobile Technik“ ein präzises Raummultiplexsystem aufgebaut werden. Voraussetzung für die Nutzung von Positionsdaten für die Funkübertragung ist der Einsatz von Hardware, die eine veränderbare richtungsabhängige Abstrahlcharakteristik besitzt. Mit Hilfe der Positionsdaten wird entschieden, welches Antennenfeld bzw. welche Charakteristik zu nutzen ist. Im Idealfall können in einer Funktionszelle gleichzeitig mehrere Antennen verwendet werden und somit die Datenübertragung gesteigert werden, was wiederum zu einer genaueren und aktuelleren Positionsermittlung führt⁵². Die Position der mobilen Komponenten ist dem Server mit einer Unsicherheit U_x bekannt. Solange der durch die Unsicherheit der Position aufgespannte Winkel kleiner als die Richtungsauflösung des Funksystems ist, kann die Positionsinformation benutzt werden, um eine Abstrahlrichtung einzustellen und damit die Reichweite und Übertragungskapazität zu steigern.

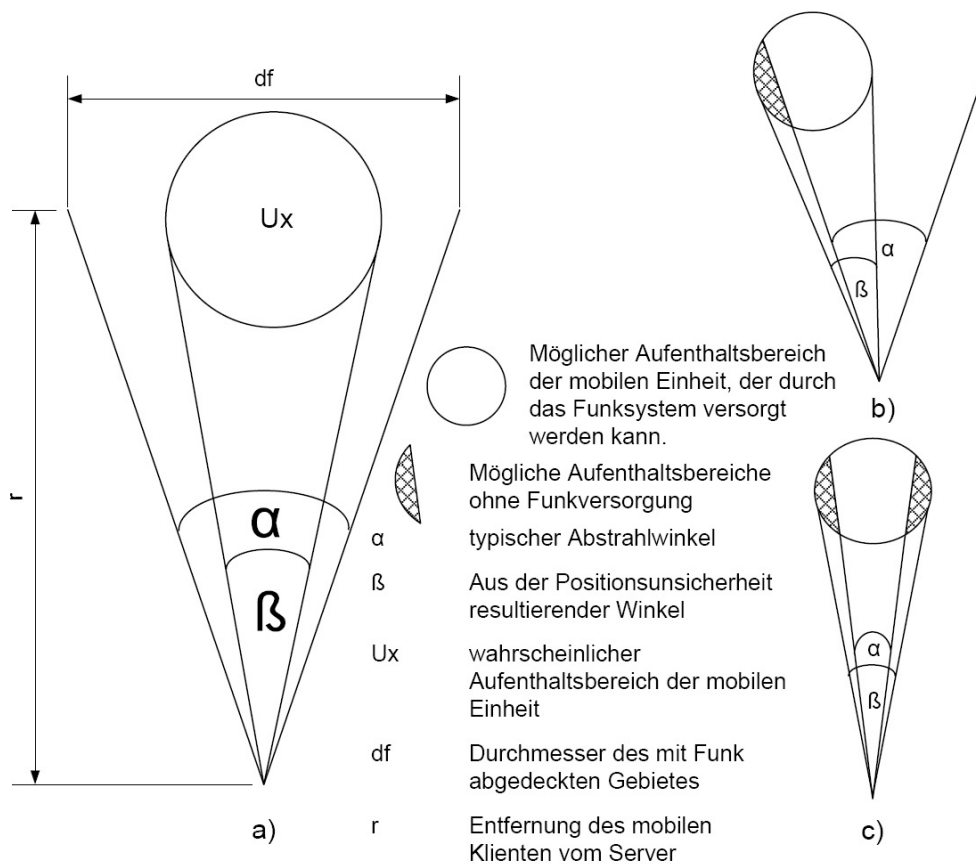


Abbildung 4.14: Einsatzfälle für Funksysteme mit Richtungscharakteristik

Für die formale Darstellung der Richtungscharakteristik wird von einer 2D Darstellung ausgegangen. Die gemachten Aussagen lassen sich aber problemlos auf den 3D Fall übertragen. Allerdings sind Funksysteme mit Richtcharakteristik oftmals nur für Abstrahlverhaltensänderung in 2 Dimensionen konzipiert. Darüber hinaus ist die höhenmäßige Ausdehnung des Einsatzgebietes gegenüber der Ausdehnung in der x-y Ebene deutlich kleiner, so dass ein Funksystem gewählt werden kann, dass die komplette Höhengausdehnung abdeckt und das gleichzeitig in seiner Richtungsabstrahlung anpassbar ist. Dann gilt, dass α in der Höhenebene maximal wird (den ganzen Einsatzbereich abdeckt) und kein β existieren kann, dass größer als α ist. Die notwendige, aber nicht hinreichend

⁵²Zum Einfluss einer gesteigerten Datenrate siehe Herleitung im vorangegangenen Kapitel.

Bedingung für den Einsatz der Richtcharakteristik lautet:

$$\alpha > \beta \quad (4.22)$$

Damit ist sichergestellt, dass das Funksystem jegliche mögliche Aufenthaltsposition des Klienten abdeckt⁵³. Sollte die Forderung nicht erfüllt sein, muss auf eine Richtcharakteristik verzichtet werden bzw. muss der Abstrahlwinkel vergrößert werden⁵⁴. Der Mittelpunkt des abgedeckten Gebietes sollte auf den Mittelpunkt des Positionsunsicherheitsvolumens ausgerichtet werden. Bei starren Abstrahlwinkeln (feste Antennenfelder) ist aufgrund der fehlenden Ausrichtungsmöglichkeit weiterhin festzustellen, ob der gesamte Aufenthaltsbereich des Klienten abgedeckt ist, da es vorkommen kann, dass sich ein Klient im Randbereich des Abdeckungsbereiches befindet⁵⁵. Bei einer starren Anlage kann die Sendeantenne nicht nachgeführt werden und so kann, trotz erfüllter Forderung aus Formel 4.22, ein Teil des Unsichersbereichs außerhalb der Funkabdeckung liegen, was im ungünstigsten Fall dazu führt, dass keine Funkverbindung möglich ist. Es ist darüber hinaus vorstellbar, die mobilen Fahrzeuge mit beweglichen Antennen auszustatten. Zusätzlich zur bekannten Position des Fahrzeuges ist dabei die Ausrichtung des Fahrzeuges bezüglich des Servers wichtig. Diese Information kann durch Sensoren (Kompass etc.) oder durch die Kombination von GPS und Geschwindigkeitsdaten des Fahrzeuges⁵⁶ gewonnen werden. Da bewegliche Antennen auf den mobilen Fahrzeugen unter den Einsatzrahmenbedingungen des Tagebaubetriebes sehr anfällig wären, könnten alternativ auch mehrere Antennen an das Fahrzeug angebracht werden. Entsprechend der Ausrichtung des Fahrzeuges müsste die Hardware entscheiden, welche Antenne die beste Verbindungen ermöglichen würde. Generell zielen alle Maßnahmen auf die Steigerung der Positionsgenauigkeit der Klienten und auf die Verbesserung der Richtungsempfindlichkeit der Sendesysteme ab. Allgemein gilt:

Mit steigender Genauigkeit der Positionsbestimmung und mit zunehmender Richtungsempfindlichkeit der Übertragungssysteme können die Vorteile von Raummultiplexverfahren besser genutzt werden.

4.3.3 Zeitbezogene Ansätze

4.3.3.1 Verteilte globale Zeit und Zeitstempel

Für die Steuerung der verteilten Komponenten ist eine einheitliche globale Zeit notwendig. Diese Forderung kann auf 2 unterschiedlichen Wegen erfüllt werden. Zum einen durch den Einsatz eines technischen Systems, das jeden Klienten mit einer gültigen Zeit ausrüstet. Alternativ lassen sich Zeitsynchronisationsverfahren verwenden. Prinzip bedingt bleibt aber bei jedem Synchronisationsverfahren aufgrund der Nachrichtenlaufzeiten zwischen den Synchronisationspartnern eine Zeitabweichung bestehen. Da die Nachrichtenlaufzeiten bei mobiler Funkkommunikation signifikante Werte erreichen, ist für den Einsatz im System „Mobile Technik“ ein technisches System zur Zeitversorgung der Klienten den Synchronisationsverfahren vorzuziehen. Im Rahmen einer Realisierung muss ein System gewählt werden, das den besten Kompromiss zwischen Hardwarekosten und möglicher Genauigkeit bietet. Weiterhin muss die Klientuhr aufgrund ihrer Zeitauflösung aufeinander folgende Uhrenausesevorgänge durch unterschiedliche Zeitwerte darstellen können, d.h. das

⁵³Siehe dazu 4.14 Fall a

⁵⁴Siehe dazu 4.14 Fall c

⁵⁵Siehe dazu 4.14 Fall b

⁵⁶Aus 2 Positionsdaten kann die Ausrichtung bestimmt werden. Mit Hilfe des Vorzeichens des Geschwindigkeitsvektors kann die Eindeutigkeit bezüglich der Fahrtrichtung (vorwärts oder rückwärts) hergestellt werden. Bei einem positiven Geschwindigkeitsvektor zwischen den 2 Messungen steht das Fahrzeug in Vorwärtsfahrtrichtung, bei einem negativen Vektor entsprechend rückwärts.

Uhrensystem muss eine genügend hohe Zeitaufösung bieten. Sind diese Voraussetzungen erfüllt, kann man von einem zeitsynchronen verteilten System sprechen. Aufgrund der mobilfunkbasierten Kommunikationstechnik kann allerdings keine technisch praktikable synchrone Nachrichtenübermittlung erfolgen. Daher wird in der überwiegenden Anzahl der Anwendungsfälle auf asynchrone Kommunikationsverfahren zurückgegriffen. Zur Wahrung der zeitlichen Konsistenz wird für alle Messdaten und auch Systemnachrichten ein Zeitstempel auf Basis der synchronen globalen Zeit eingeführt. Mit Hilfe dieses Zeitstempels werden alle aufgetretenen Ereignisse markiert. Die Verzögerungen aufgrund der Messwerterfassung und -verarbeitung innerhalb des mobilen Hardwareklienten sind dabei nicht zu vernachlässigen. Da die Erfassung und Verarbeitung der Messwerte streng deterministisch erfolgt, kann für die verschiedenen Messsysteme ein Zeitregime bestimmt werden. Üblicherweise erfolgt der Start der Verarbeitung durch das Auftreten von externen Ereignissen oder mittels Anstoßen der Messung durch den Verarbeitungsknoten selbst. Mit Hilfe wiederholter Messung der Zeitspanne zwischen dem Auftreten des auslösenden Ereignisses und der Markierung des gemessenen Wertes mit einem aktuellen Zeitstempel, kann eine durchschnittliche Mess- und Verarbeitungszeit bestimmt werden. Um diesen Wert kann der Zeitstempel korrigiert und somit eine exaktere Beschreibung des zeitlichen Auftretens eines Ereignisses geliefert werden.

4.3.3.2 Verzögerungsmatrix

Neben der Bestimmung von Verarbeitungszeiten kann aufgrund der exakten globalen Zeit⁵⁷ in Verbindung mit einem Zeitstempel auch eine Aussage über die Kommunikationsverzögerung innerhalb des Systems getroffen werden. Durch die Mobilität der Teilnehmer ist eine pauschale Aussage zur kommunikationsbedingten Verzögerung allerdings wertlos. Aufgrund der Bewegung innerhalb des Tagebaugeländes kommt es zu unterschiedlichen Kommunikationsantwortzeiten der Klienten. Das liegt aber nicht am längeren Weg, den die Funkwellen durch größere Entfernungen zum Server durchlaufen müssen, vielmehr sind verschiedene Positionen im Einsatzraumgebiet für eine Funkübertragung unterschiedlich geeignet. So kann es durch physikalische Effekte bei der Funkübertragung⁵⁸ zu Störungen oder Fehlern kommen. Diese Nachrichten oder einzelne Fragmente davon, müssen dann entweder mit Hilfe von Fehlerkorrekturmechanismen wiederhergestellt oder erneut übertragen werden. Die Nutzung von Repeatern bzw. Verstärkern erzeugt, aufgrund der Verarbeitungszeit, ebenfalls eine zeitliche Verzögerung. Diese Kommunikationsbesonderheiten bedingen insgesamt unterschiedliche Verzögerungszeiten.

$$\mathcal{O}T_k(t_i, P_{x,y,z}) = t_k * (1 + \epsilon) \quad (4.23)$$

$\mathcal{O}T_k$	<i>durchschnittliche Verzögerungszeit</i>
t_k	<i>Kommunikationszeit für die Übertragung einer Nachricht</i>
ϵ	<i>Wiederholungswahrscheinlichkeit</i>

In Kombination mit dem Positionsstempel eröffnet sich eine elegante Variante dieser Dynamik Herr zu werden. Die jeweils ermittelten⁵⁹ Verzögerungen können durch den Server den Positionsstempeln zugeordnet und gespeichert werden. Mittels Wichtungsfaktoren können neue Werte für eine bereits bekannte Position zu einem Durchschnittswert verrechnet werden.

$$T_k(t_i, P_{x,y,z}) = (1 - p) * T_k(t_{i-1}, P_{x,y,z}) + p * t_k(t_i, P_{x,y,z}) \quad (4.24)$$

⁵⁷Die, wie gefordert, durch ein technisches System bereitgestellt wird.

⁵⁸Reflexion, Auslösung, Mehrwegausbreitung um nur einige zu nennen.

⁵⁹Durch Differenzbildung des Zeitstempels und der aktuell gültigen Systemzeit

Änderungen des Kommunikationsverhaltens können⁶⁰ somit dynamisch erkannt und berücksichtigt werden. Damit bildet sich im laufenden Betrieb eine Positionssammlung mit den jeweiligen aktuellen Verzögerungszeiten ab. Mit Hilfe dieser „Verzögerungskarte“ kann der Server die Verzögerungen bei der Klientkommunikation abschätzen. Der Server kennt die aktuelle Position des jeweiligen Klienten bzw. welche Route er wahrscheinlich (da geplant) nehmen wird. Zu dieser bekannten oder geschätzten Position kann dann der entsprechende Verzögerungswert aus der Karte herausgelesen und bei der Kommunikation berücksichtigt werden. Bei hochdynamischen Veränderungen der Verzögerungszeiten kann eine zusätzliche Speicherung von Trends genauere Ergebnisse bei der späteren Datennutzung liefern.

4.3.3.3 Verbindungsmatrix

Das System der Verzögerungsmatrix lässt sich noch erweitern, indem man die Klienten mit einbezieht. Der Klient bildet zu jeder Funkübertragung einen Gütewert. Dieser Wert beschreibt das Kommunikationsverhalten. Wenn keine Kommunikationsverbindung zustande kommt, besitzt dieser Faktor den Wert 0, bei optimaler, fehlerfreier Verbindung den Wert 1. Bei Funksystemen die eine Aussage zur Empfangsfeldstärke erlauben, können die Gütewerte auch feiner granuliert sein. Der Gütewert wird zusammen mit der Position, an der er aufgetreten ist, gespeichert. Sobald Kontakt zur Zentrale besteht, gleicht der Klient seine Güteinformationen mit dem Server ab. Um Kapazität zu sparen wird der Klient dabei nur über Güteinformationen in seinem Gebiet bzw. im Gebiet seiner geplanten Route informiert. Die Güteinformationen können in der Zentrale zu einem Gesamtbild verdichtet werden. Aufgrund der Beobachtung dieser Werte kann eine Aussage über das Kommunikationsverhalten getroffen werden. Aus funktechnischer Sicht besonders kritische Bereiche⁶¹ können damit sicher erkannt werden. Daraufhin lassen sich Maßnahmen ergreifen, um mittels infrastruktureller Anpassungen Verbesserungen zu erreichen. Mit Hilfe der Matrix lassen sich die so erzielten Verbesserungen auch sicher belegen.

4.3.4 Kooperative Ansätze

Die Interaktion von Systemkomponenten ist ein wichtiger Bestandteil der Prozesse in Tagebauen und Minen. Es liegt daher nahe die technischen Möglichkeiten des Steuerungssystems zu nutzen, um nicht nur einzelne Fahrzeuge zu steuern sondern auch die Interaktion zwischen den Systemkomponenten durch gezielte Informationsverarbeitung zu vereinfachen. Mit der abstrakteren Betrachtungsweise der Einzelfahrzeuge als Flotte ist es möglich vom Zustand des einzelnen Fahrzeuges hin zum Zustand der Gesamtflotte zu gelangen. Hinsichtlich der Auftragserfüllung ist diese Betrachtung umfassender und aussagekräftiger. Fahrzeuge sind nicht länger losgelöst mit ihren Aktionen im Tagebau unterwegs, vielmehr bilden sie ein Geflecht aus gegenseitigen Abhängigkeiten. Optimierungsstrategien versprechen so größere Erfolge bei Beachtung der gegenseitigen Einflüsse zwischen den Fahrzeugen. Die Ziele der Optimierung, größtmögliche Effektivität bezüglich der Kosten und des technischen Einsatzes, bleiben gleich, allerdings verschiebt sich der Einflussrahmen und -möglichkeiten, so dass sich für ein einzelnes Fahrzeug durchaus eine schlechtere Effektivität ergeben kann, die aber im Gesamtkontext zu einer gesteigerten Performance der Tagebauflotte führt.

⁶⁰Verbesserungen oder Verschlechterungen der Funkbedingungen durch Umwelteinflüsse oder menschliche Faktoren.

⁶¹Abgeschattete Bereiche etc.

4.3.4.1 Flottensichtweise

Mit den geforderten technischen Rahmenbedingungen des Steuerungssystems können auch kooperative Ansätze realisiert werden. Einzig folgende Voraussetzung ist zu erfüllen:

Der Koordinator der gemeinsamen Aktion muss in ausreichend kurzer Zeit Zugriff auf alle, für die jeweilige Aufgabe, relevanten Daten aller Kooperationspartner haben. Bei autonomer Koordination⁶² gilt die Forderung analog für die beteiligten Partner.

Angewandt auf die vorgeschlagene Steuerungsstruktur bedeutet das, dass zellenweite Kooperation nur möglich ist, wenn der Zellenrechner alle Informationen der beteiligten Fahrzeuge innerhalb der Zykluszeit übermittelt bekommt. Die autonome Kooperation von Fahrzeugen erfordert analog dazu dieselbe Informationsbasis bei allen beteiligten Fahrzeugen.

4.3.4.2 Lokale Kommunikation

Das Kommunikationskonzept sieht vor, dass die mobilen Einheiten mit dem jeweiligen Zellenrechner kommunizieren. Dabei wird durch den Server im Broadcastbetrieb die Verbindung zu den mobilen Einheiten aufgebaut. Für eine Kooperation zwischen den mobilen Systemkomponenten ist diese Betriebsart weniger geeignet. Daher ist es sinnvoll, ein lokales Kommunikationssystem für die mobilen Einheiten vorzusehen. Die lokale Kommunikation kann dabei entweder durch ein eigenständiges System oder unter Verwendung des globalen Funksystems realisiert werden. Die Anforderungen an das lokale Funksystem sind bezüglich der Reichweite und der Anzahl möglicher Teilnehmer wesentlich niedriger. Die lokale Kommunikation erlaubt sowohl Sicherheitsapplikationen (z.B. Kollisionswarnsysteme), als auch Datendienste, wie Remote Firmwareupdates oder Abgleich von Datenbeständen zwischen den Fahrzeugen. Je nach Ausführung der lokalen Kommunikation ist es denkbar, dass der Zellenrechner die Koordination übernimmt und bestimmt, welche Fahrzeuge miteinander kommunizieren und Daten austauschen. Alternativ dazu besteht die Möglichkeit ein Ad-Hoc Netzwerk zwischen den Fahrzeugen zu bilden, an dem sich alle erreichbaren Fahrzeuge beteiligen. Die Koordination der Verbindung übernehmen in diesem Fall die Fahrzeuge selbst.

4.3.4.3 Routen- und Positionsabgleich

Der Abgleich der Positionsmesswerte zwischen den mobilen Einheiten, ob direkt oder über den zentralen Server, erlaubt es den Einzelfahrzeugen die Bewegung der anderen Fahrzeuge zu berücksichtigen und potentielle Gefahren bereits vorher zu erkennen. Sobald alle beweglichen und auch alle gefährdeten stationären Einheiten mit ihrer Position bekannt sind, kann ein Kollisionswarn- und vermeidungssystem implementiert werden.

Kollisionswarnsystem Mit dem vorgestellten Steuerungssystem sind 3 verschiedene Varianten eines Kollisionswarnsystems realisierbar. Dabei ist aber zu beachten, dass nur im System bekannte Komponenten und örtliche Gegebenheiten bezüglich einer Kollision überwacht werden können. Nicht ausgerüstete Geräte oder Personen sind auch mit diesen Systemen potentiell gefährdet. Grundsätzlich kann zwischen einem aktiven und einem passiven System unterschieden werden. Bei aktiven Systemen werden von den Komponenten Signale ausgesendet, passive Systeme empfangen nur Informationen.

Globaler Ansatz (passiv) Beim globalen Ansatz fungiert der Zellenrechner als Überwachungssystem. Da alle mobilen Komponenten mit ihrer Position in der Zentrale bekannt sind, kann das System eine Kollision zwischen mobilen Einheiten anhand der geplanten Route und der

⁶²Siehe dazu Abbildung 4.6 - Zentrale und dezentrale Koordinierung

aktuellen Position im Voraus erkennen. Die kritischen Informationen können dann beispielsweise als Warnung an die betroffenen Einheiten gesendet werden. Weiterhin ist eine Kollision bzw. ein Unfall aufgrund von Geländegegebenheiten erkennbar bzw. vermeidbar. Die Grenzen dieses Ansatzes werden durch die Aktualisierungsrate der Positionsinformation vorgegeben. Selbst mit dem periodischen Abfrageprotokoll kann es bei einer großen Anzahl von Fahrzeugen zu Abweichungen in der Positionserkennung kommen, die eine sichere Kollisionsvermeidung nicht mehr gewährleisten. Daher ist dieser Ansatz mit weiteren Systemen zu kombinieren.

Einfacher lokaler Ansatz (aktiv) Der einfache lokale Ansatz zur Kollisionswarnung bedient sich des lokalen Kommunikationssystems. Dabei wird von jedem Objekt, das vor einer Kollision geschützt werden soll, ein Signal ausgesendet. Aufgrund der geringen Reichweite des Funksystems ist nur in einem kleinen Bereich um das Objekt herum der Empfang des Signals möglich. Empfängt ein Fahrzeug dieses Signal, wird eine Warnung ausgelöst, da sich ein gefährdetes Objekt in direkter Umgebung befindet. Aufgrund der fehlenden Positionsinformation und durch die nicht genau ermittelbare Reichweite der Sender ist der Nutzen dieses Ansatzes begrenzt.

Komplexer lokaler Ansatz (aktiv) Ein komplexerer lokaler Ansatz nutzt ebenfalls das lokale Funksystem. Dabei wird aber nicht nur ein einfaches Signal ausgestrahlt, sondern es wird zusätzlich die Positionsinformation des Senders übermittelt. Aus der eigenen bekannten Position und der übermittelten Position des Senders kann das System abschätzen, ob eine Kollisionsgefahr besteht und entsprechende Warnmeldungen generieren. Für stationäre oder quasistationäre Hindernisse eignet sich dieser Ansatz besonders. Bei mobilen Objekten kann die fehlende Routeninformation dazu führen, dass bestimmte Gefahrensituationen nicht erkannt werden. Daher ist eine Kombination mit dem globalen Ansatz sinnvoll. Damit lässt sich der gesamte Gefahrenbereich abdecken und durch die lokale Kommunikation erreicht ein solches System auch die nötige Aktualisierungsgeschwindigkeit.

Virtuelle Ampel Mit der vorhandenen Struktur lässt sich nicht nur eine Kollisionswarnung gestalten, vielmehr ist ein System zur Kollisionsvermeidung realisierbar. Unter dem Begriff „Virtuelle Ampel“ soll ein System zur Kollisionsvermeidung skizziert werden. Dazu muss im Rahmen der Routenplanung und -überwachung die Kollisionsvermeidung als Optimierungsparameter berücksichtigt werden. Anhand der geplanten Routen aller Fahrzeuge können kritische Situationen erkannt werden. In Abbildung 4.15 ist für zwei Fahrzeuge F1 und F2 die geplante Route eingezeichnet. An der Stelle k ist eine Kollision möglich. Die gleichen Positionen bedeuten eine mögliche Kollision, wenn die Zeiten T_{F1} und T_{F2} , die die Fahrzeuge bis zur Position k benötigen, gleich sind. Um zu verhindern, dass sich zwei Fahrzeuge zur gleichen Zeit am gleichen Ort befinden wird für ein Fahrzeug⁶³ die Routenplanung geändert. Die Geschwindigkeit kann so angepasst werden, dass die Position k zu einer anderen Zeit passiert wird. Durch die Kollisionsvermeidung kann an Kreuzungen bzw. Einmündungen ein Stopp- und Anfahrvorgang eingespart werden, der das Fahrzeug sonst zusätzlich belastet hätte. Durch die Rückversicherung des Kollisionsvermeidungssystems weiß der Fahrer, dass die Kreuzung für ihn frei ist. Die Aufgabe einer Ampel wird durch das System der Kollisionsvermeidung übernommen, daher auch die Systembezeichnung „Virtuelle Ampel“. Die Darstellung auf der linken Seite der Abbildung 4.15 geht von idealisierten Verhältnissen aus, da für die Positionsbestimmung kein Fehler angenommen wird. Darüber hinaus ist keine Abweichung von der Route vorgesehen. In einer realen Anwendung ist mit Abweichungen zu rechnen. Das führt dazu, dass nicht mehr nur eine Position k existiert, die zu einem Zeitpunkt eine Kollisionsstelle darstellt, vielmehr bildet sich durch die Fehlereinflüsse ein Kollisionsbereich kb. Dieser Kollisionsbereich ist für

⁶³Die Entscheidung darüber, welches Fahrzeug betroffen ist kann anhand von Prioritäten oder anderen Parametern getroffen werden.

einen Zeitraum T_{kb} gültig. Wie man sieht wird mit steigendem Positionsfehler der Kollisionsbereich immer größer. Das hat zur Folge, dass Eingriffe in die Routenplanung eine erhebliche Verzögerung eines Fahrzeuges beinhalten müssen, um eine Kollision sicher auszuschließen. Mit zunehmenden Eingriffen verliert sich jedoch der Vorteil des System der Kollisionsvermeidung. Ein Einsatz dieses Systems ist also nur mit präziser Positionsbestimmung und bei geringen Abweichungen von der geplanten Fahrroute sinnvoll.

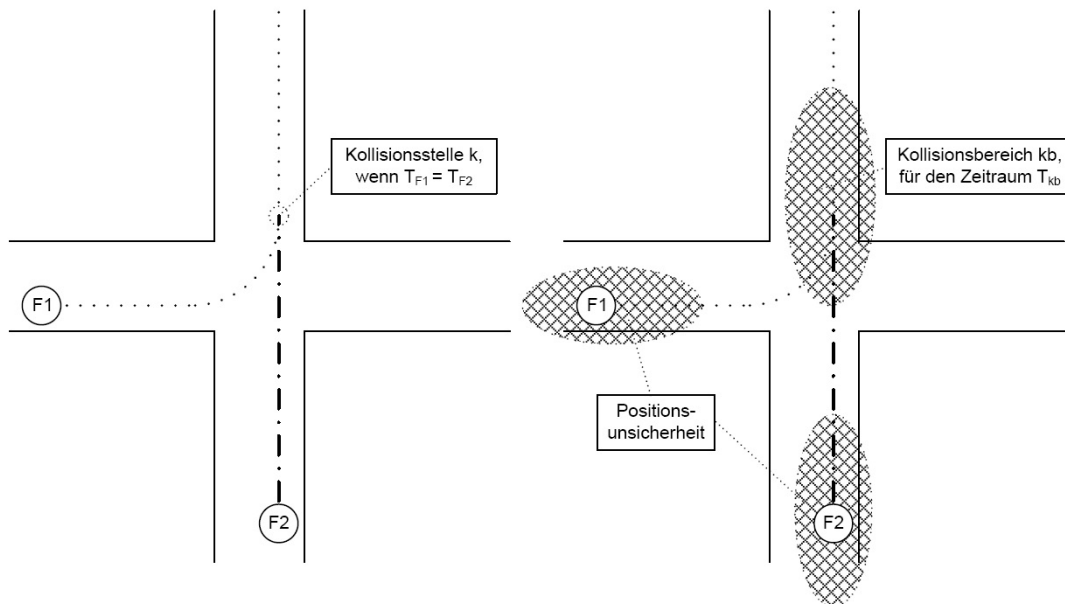


Abbildung 4.15: Kollisionserkennung - idealisiert (l.) und mit Positionsfehler (r.)

Nicht nur zur Kollisionsvermeidung ist eine Abstimmung der Fahrzeuge untereinander sinnvoll. Generell ist bei der Betrachtung als Fahrzeugflotte der Austausch von Positionsdaten essentiell. Blockierende Aktionen, wie die Beladung eines Trucks durch einen Bagger, lassen sich besser einplanen. Es entstehen keine Wartezeiten für andere Fahrzeuge, wenn deren Geschwindigkeit im Vorfeld entsprechend angepasst wird. Die Anpassung der Geschwindigkeiten orientiert sich dabei an verschiedenen Optimierungsparametern. Aus den Herstellerangaben zu den Fahrzeugen lässt sich beispielsweise aus der Beladung die maximale zulässige Bremsleistung und damit Geschwindigkeit für Bergab-Passagen bestimmen⁶⁴ oder analog dazu auch die Steigfähigkeit. Geringere Geschwindigkeiten, um Wartezeiten zu vermeiden, erlauben eine größere Nutzlast oder eine geringere Belastung des Fahrzeugs und damit indirekt eine längere Lebensdauer.

4.4 Kommunikationskonzept

Die Kommunikationsverbindung der mobilen Systemkomponenten mit den stationären Einrichtungen ist ein wesentlicher Punkt des Steuerungskonzeptes. Der Kommunikation kommt als verbindendes Element eine große Bedeutung zu. Deshalb wird das Kommunikationskonzept in einem gesonderten Kapitel betrachtet. Die Anforderungen an die Kommunikation wurden in den vorherigen Kapiteln beschrieben. Neben den rein technisch realisierbaren Forderungen⁶⁵ existieren folgende Anforderungen, die durch das Kommunikationskonzept abgedeckt werden müssen:

⁶⁴Siehe dazu Anhang A.1

⁶⁵Wie Reichweite, Übertragungsrate und Teilnehmerzahl

- Kommunikation über unsichere Kanäle
- Fluktuation der Teilnehmer
- Verbindungsabbrüche durch die Mobilität
- Umsetzung des variablen periodischen Abfrageprotokolls
- An- und Abmeldungen von Teilnehmern
- Umsetzung der Aufgaben der lokalen Kommunikation

Aus Sicht der Datenübertragung gliedert sich das System in 2 grundlegende Übertragungswege. Zum einen sind das die Übertragungen zwischen dem Zentralrechner und den einzelnen Zellenrechnern. Die 2. bedeutende Übertragungsstrecke bildet die Übertragung zwischen den Zellenrechnern und den mobilen Einheiten. Die Übertragung zu mobilen Systemkomponenten stellt die schwieriger zu erfüllenden Anforderungen an den Entwurf dar.

4.4.1 Kommunikation zwischen Zentralrechner und Zellenrechnern

Die begrenzte Reichweite der verfügbaren Funklösungen macht die Aufteilung des Einsatzgebietes notwendig. Dazu wird die gesamte Fläche in geeigneter Weise in Zellen unterteilt. Jede Zelle wird jeweils von einem Funksender versorgt. Die Steuerung der Fahrzeuge innerhalb einer Zelle wird durch den Zellenrechner realisiert. Für den reibungslosen Onlinebetrieb und die Konsistenz der Messdaten ist ein Abgleich mit dem Zentralrechner und der zentralen Datenbank wichtig. Die Abdeckung des Betriebsgeländes mit Funkzellen wird in der Inbetriebnahmephase festgelegt. Dabei werden die Standorte der Zellenrechner und der Funkantennen, anhand von erreichbarer Funkabdeckung und weiterer Parameter, festgelegt. Für die Kommunikation mit der Zentrale kann in dieser Phase festgelegt werden, ob die Zelle drahtgebunden oder drahtlos kommunizieren soll. Für die drahtgebundene Kommunikation sprechen die geringere Fehleranfälligkeit der Übertragung und die einfache Handhabung der Kommunikationsmittel. Bei größeren Gesamtausdehnungen werden diese Vorteile aber durch hohe Verkabelungskosten und aufwendige Installation aufgewogen. Eine drahtlose Kommunikation hat den Vorteil der einfachen Installation. Allerdings ist die erreichbare Datenübertragungsrate bei höheren Kosten niedriger als bei einer vergleichbaren drahtgebundenen Kommunikation. Da sowohl die Zentrale als auch der Zellenrechner stationär sind, kann mit Richtantennen gearbeitet werden, was die Fehleranfälligkeit senkt und den Datendurchsatz erhöht. Die Übertragung zwischen den Zellen und der Zentrale wird idealerweise über eine TCP/IP basierte Kommunikationsverbindung abgewickelt. Für die echtzeitfähige Übertragung von Daten über ein TCP/IP-fähiges Netzwerk sind in den letzten Jahren eine Vielzahl von Standards und Verfahren veröffentlicht worden. Für Funknetzwerke kann die Echtzeitfähigkeit nur bei deutlich reduziertem Datendurchsatz garantiert werden. Wichtiger als die Einhaltung der weichen Echtzeitforderung ist die sichere Übertragung der Messdaten über die Verbindung zum Zentralrechner. Für drahtlose Netzwerke existiert beispielsweise der Ansatz der „Mobile IP“ [139] als standardisiertes Protokoll. Für drahtgebundene Netze sind eine ungleich größere Zahl verschiedener Standards bereits realisiert worden. Anhand verschiedener Studien (u.a. [140]) kann das passende Verfahren gewählt werden. Idealerweise ist ein Verfahren zu wählen, dass mit der sonstigen IT-Infrastruktur kompatibel ist und damit den direkten Durchgriff auf die Zellenrechner erlaubt. Diese standardisierte Vorgehensweise erlaubt die nahtlose Einbindung des FMS. Da für die verschiedenen Verfahren durch theoretische und praktische Untersuchungen die Echtzeitfähigkeit nachgewiesen wurde, ist die zeitliche Konsistenz von Aktionen des Zentralrechners gegeben. Damit können sich weitere Betrachtungen auf die Kommunikation zwischen Zellenrechner und mobiler Einheit konzentrieren und gelten gleichsam für eine Kommunikation zwischen Zentralrechner und mobiler Einheit, da die

standardisierte Kommunikation zwischen Zellenrechner und Zentralrechner in Echtzeit und quasi transparent stattfindet.

4.4.2 Kommunikation zwischen Zellenrechner und mobilen Einheiten

Die Kommunikation zwischen dem Zellenrechner und den mobilen Einheiten wird nach dem Master Slave Prinzip abgewickelt. Der Zellenrechner bildet den Kommunikationsmaster und alle aktiven mobilen Einheiten in der Zelle besitzen Klientverhalten. Einzig die Neuanmeldung von Klienten und Alarmnachrichten erfolgen auf Initiative des jeweiligen Klienten und damit entgegen dem Master-Slave Prinzip.

4.4.2.1 Variables periodisches Abfrageprotokoll

Die Grundlage der Zellenkommunikation bildet das variable periodische Abfrageprotokoll. Die Übertragungszeit wird durch die Einführung von isochronen Frames aufgeteilt. Die Hauptframes sind, wie in Abbildung 4.16 dargestellt, isochron ($T_{isochron}$). Um ein variables Abfrageprotokoll zu realisieren ist die Aufteilung der Frames veränderbar. Innerhalb dieser Aufteilung kann man zwischen Bereichen mit zeitgesteuerter („time triggered“) Kommunikation und Bereichen mit ereignisbasierter Kommunikation unterscheiden. Damit können sowohl deterministische Verhalten mit nicht stochastischen Zeitanforderungen, als auch stochastische Zugriffe über das Kommunikationsprotokoll abgewickelt werden. Periodische oder zeitsensitive Kommunikationsabläufe können durch die realisierte hochpräzise Zeitbasis mit Hilfe des Abfrageprotokolls exakt gestartet und durchgeführt werden.

Aufbau Der Hauptframe ist in Zeitschlitze unterteilt, die Dauer eines Zeitschlitzes ist dabei systemabhängig anhand des gesamten Zeitregimes sinnvoll festzulegen. Den Beginn des Hauptframes bildet eine Global Control (GC) Anweisung. Neben dem Framebelegungsplan und der Übertragungsbestätigungen für die Klienten enthält die GC Updateinformationen für die Verbindungsmatrix der Klienten. Der Server übermittelt die Positionen der Grenzbereiche der Zelle und zusätzlich zu jeder Position Informationen über die Verbindungsmöglichkeiten zu anderen Zellen. Die Updates der Verbindungsmatrix werden nur bei grundlegend neuen Informationen an die Klienten übertragen. Falls sich ein neuer Klient in der Zelle angemeldet hat, werden ebenfalls die relevanten Daten der Verbindungsmatrix übertragen. Anhand des Framebelegungsplanes können die Klienten erkennen, welche Zeitschlitze sie für die Kommunikation nutzen können. Die Belegung eines Frames wird anhand der beschriebenen Optimierung festgelegt. Zusätzlich wird für jedes Objekt abhängig von der Menge der zu übertragenden Messdaten Übertragungszeit reserviert. Dazu wird aus der Verzögerungsmatrix für das jeweilige Objekt und dessen aktueller Position ein Wert ausgelesen und mit der Menge der zu übertragenden Daten verrechnet.

Da die Daten in der Verzögerungsmatrix nur eine Näherung darstellen, können die real benötigten Übertragungszeiten andere Werte annehmen. Die Klienten beginnen ihre Übertragung zur jeweils geplanten Zeit. Je nach aktueller Güte des Übertragungskanals wird eine unterschiedliche Zeitspanne für die Übertragung benötigt. Sollte die Übertragung länger dauern, als vom System geplant, werden die Daten lokal zwischengespeichert und zu einem späteren eingeplanten Zeitpunkt erneut gesendet. Generell werden alle Daten solange vorgehalten, bis der erfolgreiche Empfang quittiert wurde. Die Bestätigung durch den Server erfolgt im Rahmen des GC. Zusätzlich zu den geplanten Zeitschlitzen wird übermittelt, welche Messdatennummer von den Klienten als nächstes erwartet wird. Stimmt die Nummer mit dem internen Zähler des Klienten überein, sind alle vorherigen Nachrichten erfolgreich übermittelt worden. Falls der Zähler des Klienten einen größeren Wert zeigt, werden alle Nachrichten, ab der vom Server übermittelten Nummer, erneut übertragen.

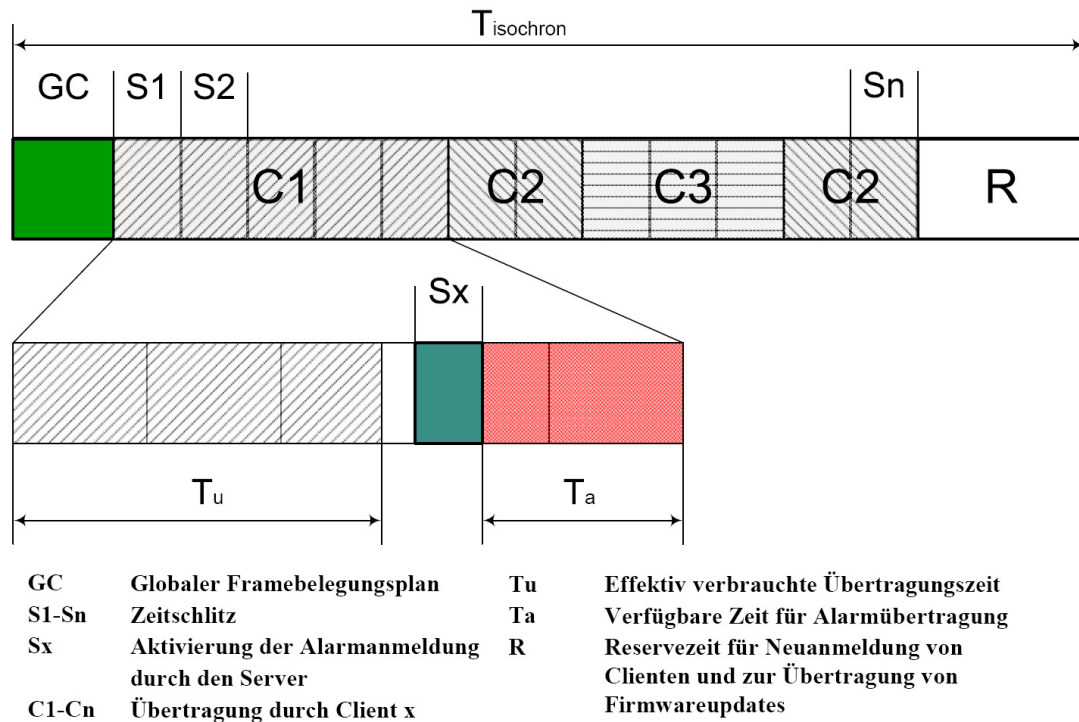


Abbildung 4.16: Aufbau des Protokollframes

Falls eine Übertragung vor Ablauf der reservierten Zeit beendet ist⁶⁶, wird vom Kommunikationsmaster ein Alarmcontrol (S_x) gesendet. Damit wird allen Klienten erlaubt, eventuell anstehende Alarmmeldungen zu übertragen. Die Erlaubnis endet automatisch mit dem Beginn der geplanten Übertragungszeit des nächsten Klienten. Es wird also nur die Restzeit, die ein Klient nicht benutzt hat, für die allgemeine Alarmübertragung freigegeben. Der Zugriff auf den Funkkanal während der, durch das Alarmcontrol aktivierten, Zeitspanne, erfolgt nach dem „slotted ALOHA“-Prinzip⁶⁷. Die Alarmrestzeit wird in Zeitschlitze eingeteilt, die deutlich kürzer als die, im Hauptframe definierten, Zeitschlitze sind. Anhand der Priorität des zu übertragenden Alarms wird der zu nutzende Slot bestimmt. Dabei gilt, je höher die Alarmpriorität desto eher darf der Alarm gesendet werden. Der Klient versucht den Alarm im erlaubten Zeitschlitz zu senden. Für den Fall das 2 oder mehr Klienten den gleichen Alarm senden wollen kommt es zu einer Kollision. Falls es zu keiner Kollision kommt, empfängt der Server die Alarmnummer und bestätigt den Empfang durch eine Quittung. Alle Klienten empfangen diese Quittung und stellen daraufhin ihre Übertragungsversuche solange ein, bis der Klient der die Alarmübertragung begann, weitere Daten zum angemeldeten Alarm übertragen hat. Falls eine Störung oder Kollision eingetreten ist, versucht der Klient eine erneute Übertragung nach einer zufälligen Wartezeit⁶⁸. Die Alarmzeit endet mit Beginn der nächsten regulären Klientübertragung. Sobald alle geplanten Klientübertragungszeiten abgelaufen sind, beginnt die Reservezeit (R). Diese Zeitspanne, die auch im GC vorgesehen wird, dient dazu neue Klienten in der Zelle anzumelden. Dabei hat der Betrieb des Servers im Broadcastmodus hat den Vorteil, dass alle Klienten die Kommunikation verfolgen können. Auch Klienten die noch nicht am Server angemeldet sind, können so bereits das Zeitregime erkennen. Über die Auswertung des GC kennt der unangemeldete Klient den Beginn der Reservezeit. Daher kann er im geeigneten Augenblick die Anforderung zur Anmeldung an den Server absenden. Der Zugriff erfolgt auch hier nach dem „slotted ALOHA“-Prinzip, um Kollisionen bei der Anmeldung von Klienten effektiv zu vermeiden.

⁶⁶In Abbildung 4.16 ist dieser Fall für den Klienten eins (C1) dargestellt.

⁶⁷Siehe dazu [141]

⁶⁸Die Wartezeit muß dabei kleiner als die verbleibende Alarmrestzeit sein.

Auf ein aufwändigeres Verfahren kann hier, ebenso wie bei der Alarmmeldung, verzichtet werden, da im Normalbetrieb die gleichzeitige Anmeldung von Klienten eher selten vorkommt und so der Entwicklungsaufwand gering gehalten werden kann. Nachdem der Server den Anmeldungswunsch des Klienten empfangen hat, wird der Klient mit in das Zeitregime eingetaktet. Da der Klient somit im nächsten GC auftaucht, kann er erkennen, dass seine Anmeldung erfolgreich war. Sollte im folgenden GC keine Zeit für den anmeldewilligen Klienten vorgesehen sein, ist die Anmeldung missglückt und der Klient versucht in der nächsten Reservezeit eine erneute Anmeldung. Falls ein Klient in der ihm zugeordneten Zeitspanne nicht antwortet, werden vom Server diese ungenutzten reservierten Zeitschlitz ebenfalls für Alarmmeldungen freigegeben. Darüber hinaus stellt der Zellenrechner eine Anfrage an den Zentralrechner. Darin wird abgefragt, ob der Klient, der nicht geantwortet hat, in einer anderen Zelle angemeldet ist⁶⁹. Das bedeutet der Klient hat sich aufgrund seiner Mobilität in einer anderen Zelle angemeldet und ist nun unter Kontrolle dieser Zelle. Ist dies der Fall entfernt der Server den Klienten aus dem eigenen Zeitregime und reserviert keine weitere Übertragungszeit für diesen. Sollte der Klient in keiner anderen Zelle angemeldet sein, versucht der Server für eine konfigurierbare Anzahl von Frames den Klienten weiter zu erreichen. Scheitern diese Versuche ebenfalls, wird der Klient abgemeldet und als inaktiv im System vermerkt. Falls der Klient danach erneut aktiv wird, muss er sich wieder in einer Zelle, wie beschrieben, anmelden. Für den planmäßigen Übergang zwischen 2 Zellen kann zusätzlich ein Handover Mechanismus integriert werden. Dies verhindert die kurzzeitigen Unterbrechungen der Verbindung bei Ab- und Anmeldung in den jeweiligen Zellen. Da die Route des jeweiligen Klienten bekannt ist, ist auch absehbar wann und wo der Zellenwechsel stattfinden wird. Die beteiligten Zellen beginnen zum prognostizierten Zeitpunkt damit den Klienten jeweils in ihr Zeitregime zu integrieren. Sobald die neue Zelle die Verbindung mit dem Klienten hat, informiert sie die ursprüngliche Zelle und diese kann dann den Klienten abmelden. Abhängig vom Funksystem sind nebeneinander liegende Zellen entweder durch die Verwendung von unterschiedlichen Funkfrequenzen oder durch den Einsatz von verschiedenen Codes zu unterscheiden. Der Klient bedient sich der Verbindungsmatrix, um bei der Aktivierung eine geeignete Zelle und die nötigen Einstellparameter zu finden. Auf der eingestellten Funkfrequenz hört der Klient die Broadcastsendungen des Servers ab und meldet sich dann in der Reservezeit an. Empfängt er keine Broadcastnachrichten versucht er Signale von daneben liegenden Zellen zu empfangen. Scheitert dies ebenfalls versucht der Klient Nachrichten von anderen Klienten zu empfangen. Gelingt dies, versucht der Klient seinerseits mit einer Broadcastmeldung diese Klienten zu erreichen. Dabei wird versucht nur im Bereich der Reservezeit zu senden. Da die Hauptframes isochron sind, kann die Reservezeit, die sich am Ende eines Frames befindet, abgeschätzt werden. Der Klient, der diese Broadcastnachricht empfängt, sendet in seinem erlaubten Zeitschlitz eine Nachricht an den Server. Dadurch erhält der Server die Information über die Position des Klienten, der nicht direkt in seiner Reichweite ist. Dieser Anwendungsfall tritt nur auf, wenn innerhalb des Einsatzgebietes Bereiche existieren, die keinerlei Funkabdeckung haben. Nach Möglichkeit sollten diese Bereiche, wenn sie erkannt werden, durch eine Anpassung der Funkzellen ebenfalls mit einer Funkversorgung ausgestattet sein, da der Funkkontakt über einen anderen Klienten nur den Notfall darstellen sollte.

⁶⁹Anhand der Verbindungsmatrix kann der Klient entschieden haben, dass an seiner aktuellen Position eine Verbindung in eine andere Zelle sinnvoller ist.

4.5 Aufbau, Wirkungsweise und Bewertung der Datenerfassung im verteilten mobilen Steuerungssystem

4.5.1 Beurteilung der Positionsbestimmungsverfahren hinsichtlich des Einsatzzweckes

Im Bezug auf den Einsatz im System „Mobile Technik“ sind die Einsatzparameter durch den Anforderungskatalog umrissen. Prinzipiell ist der Einsatz von Koppelnavigationsverfahren (Dead Reckoning [142]) auf Basis eines relativen Messverfahrens denkbar und wird auch häufig in aktuellen mobilen Systemen verwendet. Allerdings ist die Fehlerfortpflanzung ein Problem, dessen Lösung besondere technische Ansprüche stellt. Bodengebundene Fahrzeuge unterliegen stärkeren Störeinflüssen⁷⁰ als Flugzeuge, bei denen Störungen klassifiziert und mathematisch beherrscht werden können. Koppelnavigationssysteme, besonders auf Basis von Trägheitsnavigation, werden daher im Flugverkehr seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt. Für den Einsatz in einem mobilen verteilten Steuerungssystem ist eine absolutes Messverfahren von Vorteil, da die Transformation zwischen den Bezugssystemen der einzelnen Komponenten entfällt und so Ungenauigkeiten bzw. Fehler vermieden werden können. Relative Systeme sind aber als Unterstützungssysteme in der Fahrzeugnavigation weit verbreitet und werden zusätzlich zu absoluten Messsystemen verwendet. Sie verbessern die Zuverlässigkeit und zeitliche Auflösung der Gesamtsysteme, da sie für kurze Zeiträume, in denen die absoluten Messverfahren nicht verfügbar sind⁷¹, die Navigationslösung unterstützen. Da die relativen Verfahren nur zusätzlich zu einem absoluten Messsystem sinnvoll sind, sollen für die Bewertung nur absolute Verfahren herangezogen werden. Relative Verfahren können gegebenenfalls, falls im jeweiligen Kostenrahmen möglich, zusätzlich vorgesehen werden.

⁷⁰Durch Reibung, Schlupf, Fahrbahnfehler usw.

⁷¹Bei der häufig realisierten Kombination mit GPS sind das beispielsweise die Zeiten in denen das GPS keinen Empfang hat oder noch an einer Navigationslösung arbeitet.

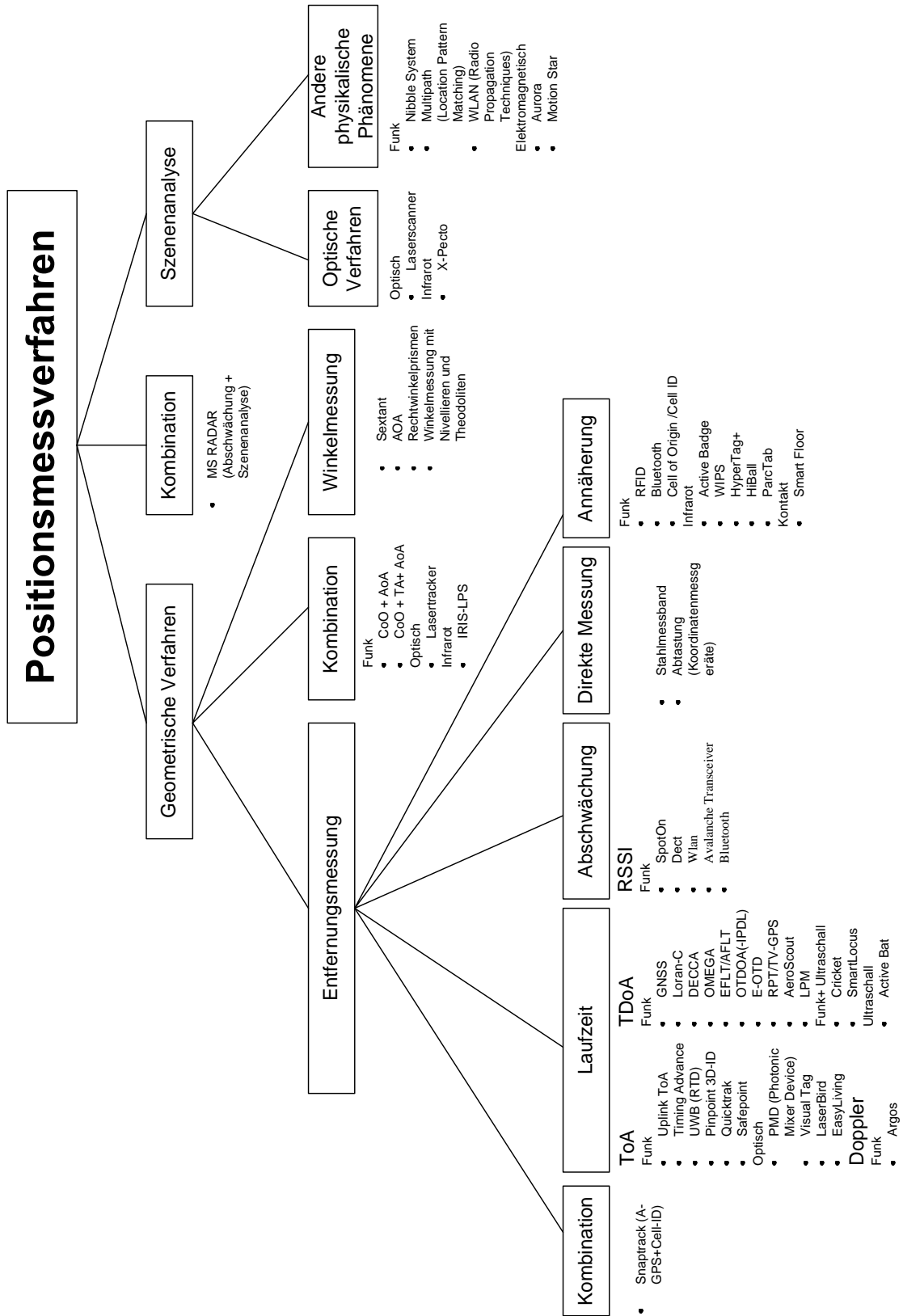


Abbildung 4.17: Übersicht Positionsmessverfahren

Absolute Positionsmessverfahren können grundsätzlich unterteilt werden in:

- Geometrische Systeme
- Szenenanalyse Systeme

Die Systeme auf Basis von Szenenanalyse bestimmen ihre Position anhand von Vergleichen des aktuellen Sensorabbildes⁷² mit einem bekannten Abbildvorrat. Die Grundlage jeglichen Szenenanalyseverfahrens ist ein bekanntes Umgebungsszenario. Vor Einsatz eines solchen Szenarios muss daher das Einsatzgebiet hinsichtlich des zu vergleichenden Sensorabbildes vermessen werden. Dazu werden mit einem absoluten Messverfahren für eine Vielzahl⁷³ von Messpunkten die Positionen bestimmt und die dazugehörigen Sensorgrößen gespeichert. Um die Eindeutigkeit zu gewährleisten, sehen verschiedene Systeme zur Szenenanalyse den Einsatz von aktiven oder passiven Baken vor. Diese Baken erzeugen im Sensor ein eindeutiges Signal und können dazu dienen, Positionen mit ähnlichen Sensorgrößen (ähnliches Umgebungsszenario) durch ihren Sensoreinfluss eindeutig zu unterscheiden. Für den Einsatz in Tagebauen oder Minen werden Verfahren auf Basis der Szenenanalyse in geringem Umfang eingesetzt⁷⁴. Die große Veränderlichkeit des Geländes erschwert die Nutzung der Systeme, da sich die hinterlegten Vergleichswerte ändern und neue Messungen durchgeführt werden müssten. Die Systeme kommen daher nur in den wenig veränderlichen Bereichen⁷⁵ eines Tagebaues zum Einsatz. Für einen Gesamteinsatz sind Systeme auf Basis der Szenenanalyse, aufgrund der nötigen Vorarbeiten und der geringen Flexibilität, nicht geeignet. Geometrische Verfahren zur absoluten Positionsbestimmung basieren auf:

Entfernungsmessung Ermittlung der Entfernung zwischen der, mit ihrer Position unbekanntem, Komponente und einer oder mehrerer Stationen mit bekannten Positionen⁷⁶.

Winkelmessung Ermittlung des Winkels, unter dem sich eine gerade Linie zwischen der unbekanntem Komponente und der Station mit bekannter Position bilden lässt.

Kombination Kombination beider Prinzipien.

Die Bestimmung der Entfernung bzw. des Winkels wird mit Hilfe verschiedenster Verfahren und physikalischer Prinzipien realisiert. Die Einsatzbedingungen für ein Positionsbestimmungssystem in Tagebauen und Minen begrenzen aber die nutzbaren Prinzipien. So sind kontakt erfordernde Verfahren aufgrund der großen räumlichen Ausdehnung des Einsatzgebietes, ebenso wie direkte Messungen, nicht einsetzbar. Der Einsatz unter extremsten klimatischen Bedingungen erschwert den Einsatz von optischen Verfahren. Laserbasierte Verfahren können durch Witterungseinflüsse wie Nebel oder Niederschläge beeinflusst werden. Verfahren mit Infrarotempfängern werden durch Sonneneinstrahlung verfälscht⁷⁷ bzw. erfordern eine deutliche Erhöhung der abgestrahlten Leistung. Verfahren auf Basis von Ultraschall erreichen nicht die gewünschte Reichweite bzw. erfordern eine Vielzahl von Systemen, um den gesamten Einsatzbereich abzudecken. Einzig funkbasierte Systeme bieten sowohl die Abdeckung des nötigen Arbeitsraums, als auch die geforderte Robustheit gegenüber Witterungseinflüssen. Die Abbildung 4.17 zeigt die grundlegenden Prinzipien der Positionsbestimmung. Die Tabelle 4.3 listet daraus die Verfahren auf, die für eine funkbasierte Lösung in Frage kommen und stellt wesentliche Eigenschaften gegenüber:

⁷²Optische Verfahren sind besonders verbreitet, aber auch andere physikalische Sensorgrößen werden zum Szenenvergleich verwendet [143, 144, 145]

⁷³Je größer die Anzahl der vermessenen Punkte, desto größer ist später die Auflösung der Positionsbestimmung.

⁷⁴Besonders Systeme zum autonomen Fahren in Minen setzen zur Positionsbestimmung zusätzlich auf Szenenanalyse, die durch Baken gestützt wird und damit den Fahrweg absichern.

⁷⁵Fahrwege, Beladepplätze oder Service- und Hilfsbereiche

⁷⁶Kontaktbehaftete Verfahren sollen hierbei als Sonderfall betrachtet werden, da sie ihrer Positionsinformation für den Fall *Entfernung* = 0 generieren.

⁷⁷Durch geeignete Modulationsverfahren können diese Effekte kompensiert werden.

	Laufzeit	Abschwächung	Annäherung	Kombination	Winkelmessung
Bekannte Lösung	GNSS	WLAN-RSSI	RFID, CoO	Annäherung + RSSI	AoA
Technischer Aufwand	Hoch Sehr präzise Zeitmessung nötig	Mittel RSSI leicht im Empfänger zu realisieren. Bei mehreren Sendern Modulation benötigt.	Gering Es wird nur bestimmt, ob ein Kontakt hergestellt wurde oder nicht.	Höher als bei den einzelnen Prinzipien.	Hoch Es werden richtungsempfindliche Sender oder Empfänger benötigt.
Fehleranfälligkeit	Mittel Es wird eine zeitliche Synchronisation der Stationen benötigt.	Hoch Das theoretisch vorhergesagte Kanalverhalten wird durch viele Störfaktoren beeinflusst.	Gering	Hoch Durch Kombination von Technologien entstehen neue potentielle Fehlerquellen.	Mittel Mit größer werdender Entfernung vom Empfänger wird eine immer genauere Winkelauflösung benötigt.
Genauigkeitsbereich realisierter Verfahren	< 1cm bis 300m	> 1m bis 10m	5m bis 10km (abhängig von der Zellengröße)	Gleich oder besser als die einzelnen Techniken	> 1m
Vorteile	Laufzeitmessung leicht zu realisieren.	Signalstärkemessung ist im Rahmen von Kommunikationvorgängen leicht mitzubestimmen.	Einfache Auswertung.	Die Vorteile verschiedener Verfahren ergänzen die Positionsbestimmung	
Nachteile	Geringste Abweichungen bei der Laufzeitmessung führen zu großen Positionseffern	Kanalverhalten muss sehr genau bekannt sein.	Hohe Positionsauflösung erfordert eine Vielzahl von Zellen	Kombination mehrerer Verfahren erhöht Kosten und Fehleranfälligkeit	Winkelbestimmung technisch schwieriger zu realisieren, als Laufzeit- oder Signalstärkemessungen.

Tabelle 4.3: Vergleich ausgewählter Positionsmessverfahren

Die Positionsbestimmung auf Basis von Annäherung ist eine technisch leicht zu realisierende und kostengünstige Variante, die Position eines Objektes zu bestimmen. Für eine Positionsüberwachung eines kompletten Einsatzgebietes ist das Prinzip nicht konzipiert, da die notwendige Infrastruktur, die für eine hohe Positionsgranularität notwendig ist, den Vorteil der einfachen Realisierung ad absurdum führt. Für einen Einsatz in Tagebauen ist diese Technologie daher, aufgrund der nötigen Infrastrukturmaßnahmen für die große Einsatzfläche, nicht geeignet. Funkbasierte Kommunikationssysteme besitzen oft die Funktionalität der Signalstärkemessung, um beispielsweise die Sendeleistung zu steuern oder Aussagen über die Dienstgüte zu ermöglichen. Basierend auf diesen technischen Grundlagen und der Kenntnis des theoretischen Signalverhaltens bei Funkausbreitung ist es möglich eine Entfernungsbestimmung durchzuführen. Der Nachteil dieses technisch einfach zu realisierenden Verfahrens ist die geringe Störfestigkeit der Positionsbestimmung. Eine Vielzahl von Störeinflüssen (Mehrwegausbreitung, Abschattung etc.) führt dazu, dass die gemessene Signalstärke deutlich von der theoretisch bestimmten Vorhersage abweicht und damit eine ungenaue Position ermittelt wird. Darüber hinaus muss das Einsatzgebiet von mehreren Funksendern⁷⁸ abgedeckt werden, um aus den ermittelten Entfernungen eine Position bestimmen zu können. Die Dimensionen des Einsatzgebietes erschweren eine komplette Funkabdeckung mit mehreren Sendern. Bei großen Entfernungen zwischen Sender und Empfänger wird die Signalstärke durch die Störungen stark verfälscht. Die Positionsbestimmung aus der Messung der Empfangsfeldstärke ist daher für den großflächigen Einsatz in Tagebauen insgesamt zu störanfällig. Die Positionsbestimmung durch Messung des Einfallswinkels der empfangenen Signale ist eine seit langem bekannte und technisch sicher beherrschbare Methode. Im Gegensatz zu Signalstärkemessungen sind Winkelmessungen bei Kommunikationssystemen jedoch nicht Standard. Daher erfordert der Einsatz dieser Methode zusätzliche richtungsempfindliche Empfangshardware. Anhand der geometrischen Beziehungen ist leicht ersichtlich, dass bei steigender Entfernung zwischen Sender und Empfänger die Richtungsauflösung steigen muss, um die Genauigkeit der Positionsbestimmung zu garantieren. Für ein so großes Einsatzgebiet bedeutete das wiederum einen großen Infrastrukturaufwand oder den Einsatz von sehr empfindlichen und daher teuren Empfängern. Die Messung der Laufzeit von Signalen zwischen Sender und Empfänger ist eine verbreitete Methode zur Entfernungsmessung. Aus der Bestimmung von vier Entfernungen kann die eindeutige 3-dimensionale Position eines Objektes bestimmt werden. Funkwellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus, daher stellt die Laufzeitmessung bei Funksystemen hohe Anforderungen an das Zeitmesssystem. Darüber hinaus ist es wichtig, dass die Empfänger hochgenau synchronisiert sind, damit die Laufzeitunterschiede bestimmt werden können. Für die Abdeckung des Einsatzgebietes mit Funkempfängern gelten die gleichen Forderungen wie bei Empfangswinkelmessungen. Allerdings ist die Zeitmessung letztendlich weniger aufwändig als die Winkelmessung. Diese technologischen Vorteile führten zu einer Vielzahl von kommerziell erhältlichen Systemen. Angefangen von Systemen mit eigener Infrastruktur über Systeme, die in bestehende Mobilfunknetze integriert wurden, bis hin zu Systemen die eine weltweite Positionsbestimmung mittels Entfernungsmessung zu Satelliten bieten.

Systeme zur Positionsbestimmung auf Basis von Laufzeitmessungen stellen die beste Lösung für die Bestimmung der Position von mobilen Komponenten in Tagebauen und Minen unter den gegebenen Rahmenbedingungen dar.

Es sollte darüber hinaus auf passive Systeme zurückgegriffen werden. Bei diesen Systemen bestimmt die mobile Komponente anhand der empfangenen Signale ihre Position. Es können daher beliebig viele mobile Objekte⁷⁹ im System ihre Position bestimmen. Im umgekehrten Fall,

⁷⁸Oder von Empfängern im Falle der invertierten Variante, bei der das mobile Gerät Signale aussendet und die stationären Anlagen die Empfangsstärke bestimmen.

⁷⁹Unter der Voraussetzung, dass die mobilen Objekte ihren Funkempfang nicht gegenseitig stören.

bei aktiven Systemen, ist die Teilnehmerzahl begrenzt, da die steigende Anzahl von Sendern, ab einer bestimmten systemabhängigen Grenze, die Empfänger überlastet. Je nach technischer Ausprägung der einzelnen Positionsmessprinzipien ist eine Kombination von verschiedenen Messverfahren sinnvoll. So kann beispielsweise eine begrenzte Richtungsempfindlichkeit durch zusätzliche Laufzeitmessungen ausgeglichen werden und ein besseres Positionsergebnis liefern. Die Empfehlung muss daher lauten:

Egal welches Messverfahren angewendet wird, ist immer zu untersuchen, ob eine Kombination mit anderen Verfahren eine Verbesserung der Positionsergebnisse bewirken kann und ob die erzielbare Positionsverbesserung den dafür notwendigen Aufwand rechtfertigt.

4.5.2 Zeiterfassungsprinzipien für den Einsatz im Steuerungssystem

Die Bedeutung einer globalen einheitlichen Zeit für das mobile verteilte Steuerungssystem ist in den vorherigen Kapiteln dargestellt worden. Im Hinblick auf eine Realisierung stellt sich die Frage nach verfügbaren Prinzipien, um das System mit einer einheitlichen globalen Zeit zu versorgen. Die Generierung und Erhaltung einer gemeinsamen Zeitbasis in verteilten Systemen kann generell nur durch Kommunikationsvorgänge verwirklicht werden, ob die Kommunikation dabei innerhalb des Systems oder extern⁸⁰ stattfindet hängt von der Realisierung ab. Grundsätzlich können folgende Systeme unterschieden werden:

- Ereignisbasierte Systeme (implizite Systemzeit)
- Zyklische Systeme (implizite Systemzeit)
- Zeitbasierte Systeme (explizite Systemzeit)

4.5.2.1 Ereignisbasierte Systeme (implizite Systemzeit)

Bei diesen Systemen wird eine gemeinsame Zeitbasis durch die systeminterne Übertragung von Nachrichten mit ereignisbasierten Kommunikationsprotokollen erreicht. Aufgrund des Empfangs definierter Ereignisse werden Aktionen ausgelöst. Für konzeptionelle Betrachtungen kann damit eine gemeinsame Zeitbasis⁸¹ angenommen werden. Die synchrone Nutzung von mehreren Knoten erfordert dabei aber ein Kommunikationssystem, das parallele Nachrichtenübertragung⁸² erlaubt, da ansonsten die zeitliche Abweichungen zwischen den Knoten durch den seriellen Versand der Ereignisnachrichten stark ansteigt.

$$\Delta t = \sum_{i=1}^m (t_{n_i}) - t_{n_1} \quad (4.25)$$

Δt	Abweichung zwischen den Knoten
t_{n_1}	Nachrichtenlaufzeit zum Knoten
m	Anzahl der zu synchronisierenden Knoten

Bei sehr schnellem seriellen Versand kann von einem „quasi“ parallelen Nachrichtenversand gesprochen werden, da die Nachrichtenübertragung im Vergleich zur Zeitkonstante des Systems vernachlässigbar ist.

⁸⁰Externe Verfahren sind unabhängig von im System verwendeten Kommunikationskanälen und werden durch Drittanbieter realisiert.)

⁸¹auch wenn explizit keine Systemzeit generiert wird

⁸²z.B.: durch den Versand von Broadcast/Multicast -Nachrichten an alle beteiligten, zu synchronisierenden Knoten.

$$\sum_{i=1}^m (t_{n_i}) - t_{n_1} \ll t_{System} \quad (4.26)$$

t_{System} *Zeitkonstante des synchronisierten Systems*

Die minimal erreichbare Abweichung zwischen einzelnen Knoten bei parallelem Nachrichtenversand entspricht der Differenz der Nachrichtenlaufzeiten.

$$\Delta t = t_{n_{max}} - t_{n_{min}} \quad (4.27)$$

Δt *Abweichung zwischen den Knoten*
 $t_{n_{min}}$ *minimale Nachrichtenlaufzeit aller Knoten*
 $t_{n_{max}}$ *maximale Nachrichtenlaufzeit aller Knoten*

Mittels Schätzverfahren kann eine durchschnittliche Nachrichtenlaufzeit abgeleitet werden, um deren Betrag dann der Nachrichtenversand des Servers korrigiert wird. Damit wird die absolute Abweichung zu einem gewünschten Startzeitpunkt minimiert⁸³.

4.5.2.2 Zyklische Systeme (implizite Systemzeit)

Diese Systeme erhalten ihre Zeitbasis aufgrund periodischer Informationen die mit einem zyklischen Protokoll übermittelt werden. Der Zyklus der Übertragung bestimmt damit die Zeitaufösung des Systems. Koordinierte Aktionen zwischen Knoten sind nur mit dieser zeitlichen Granularität möglich. Gegenüber dem ereignisbasierten Ansatz wird mehr Kommunikationsbandbreite für die zyklische Übertragung benötigt, allerdings sind auch komplexere Abläufe beherrschbar. Des Weiteren können Aussagen über das Zeitverhalten garantiert werden, da durch das zyklische Verhalten Nachrichtenlaufzeiten bestimmt werden können.

4.5.2.3 Zeitbasierte Systeme (explizite Systemzeit)

Diese Systeme halten eine eigenständige Uhr im verteilten Knoten vor. Für zeitkritische Vorgänge oder Aktionen wird auf die interne Uhr zurückgegriffen, daher ist man auch nicht mehr von einem Kommunikationsprotokoll abhängig. Der Aufwand für die Realisierung ist verständlicherweise bei diesem Prinzip am größten. Um Aufwand und Kosten zu sparen, werden für die Knoten nur einfache Uhren verwendet, die, innerhalb eines für das System signifikant langen Zeitraums, eine gerade noch vertretbare Genauigkeit liefern. Spätestens nach Ablauf dieses Zeitraumes müssen die internen Uhren wieder mit der globalen Systemzeit synchronisiert werden. Für die Synchronisation von Uhren in verteilten Systemen sind verschiedene Verfahren geläufig:

Interne Synchronisationsverfahren Für die systeminterne Zeitsynchronisation in verteilten Netzen wurde in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von Verfahren vorgeschlagen und auch standardisiert. Herausragende Bedeutung erlangte der NTP/SNTP Protokollstandard, der allerdings in seiner ursprünglichen Form schon aus dem Jahr 1985⁸⁴ stammt. Darüber hinaus wurde mit der IEEE-1588⁸⁵ ein Standard entwickelt, der den Anforderungen zukünftiger Entwicklungen genügen

⁸³Dabei ist für die jeweilige Aktion zu untersuchen, ob ein Start der Aktion durch einzelne Knoten vor einem festen Zeitpunkt zulässig ist. Knoten mit kurzen Nachrichtenlaufzeiten starten aufgrund der Durchschnittsbildung vor einem prognostizierten Startzeitpunkt.

⁸⁴Die Entwicklung des Standards verdeutlichen die veröffentlichten RFCs [116, 117, 118, 119, 120, 121].

⁸⁵Definition des Standards in [112]

soll. Abseits dieser für stationäre verteilte Systeme entwickelten Methoden kennt die Literatur [146] spezielle Verfahren für den Einsatz in drahtlosen verteilten Systemen. Die grundsätzlichen Nachteile der internen Synchronisation⁸⁶ bleiben aber auch so weiterhin bestehen.

SNTP/NTP Das Protokoll Network Time Protokoll (NTP) ist für den Betrieb in großen hierarchischen Netzwerken ausgelegt. Selbst über das Internet ist mit diesem Verfahren eine Genauigkeit von wenigen Millisekunden erreichbar.

IEEE1588 Der Entwurf des PTP zielte bewusst auf eine Steigerung der Genauigkeit der Synchronisation im Vergleich zum NTP ab. Für kleine Netzwerke ohne hierarchische Ebenen⁸⁷ eignet sich dieses Verfahren hervorragend, so dass Genauigkeiten von $1\mu s$ erreicht werden können. Für den mobilen Einsatz sind beide Verfahren nicht zu empfehlen, auch wenn verschiedene Untersuchungen [147] darauf hinweisen, dass die Protokolle drahtlos prinzipiell funktionieren. Die Protokolle setzen symmetrische oder zumindest wenig veränderliche Verzögerungszeiten voraus, die bei einem mobilen drahtlosen Einsatz so nicht gegeben sind.

Externe Synchronisation Die Synchronisation der Uhren des verteilten Systems wird bei diesen Verfahren über externe Systeme vorgenommen. In kabelbasierten, verteilten Systemen wird dafür beispielsweise eine zusätzliche Signalleitung installiert, über die dann entsprechende Synchronisationssignale gesendet werden. Für mobile Systeme ist dieses Verfahren nicht praktikabel. Eine drahtlose Synchronisationsverbindung müsste dieselben Parameter bezüglich Reichweite und Kosten, wie das Hauptkommunikationsmedium bieten. Das ist nur in den wenigsten Fällen möglich. Die Alternative stellen Systeme dar, die von Drittanbietern bereitgestellt werden. Dazu zählen:

Zeitzeichensender (z.B.: DCF77) Die Nutzung von Zeitzeichenempfängern ist eine kostengünstige Variante, um verteilte Knoten zeitlich zu synchronisieren. Im Empfangsbereich eines Senders kann das Signal durch einfache Empfänger ausgewertet werden. Langwellensender haben den Vorteil, dass sie auch innerhalb von Gebäuden empfangen werden können. Für den weltweiten Einsatz sind diese Systeme nicht geeignet, da die Senderreichweite begrenzt ist. Eine weitere Einschränkung der Verfügbarkeit ist durch die Wetterabhängigkeit des Senders gegeben. Die Signale können durch Wettereinflüsse gestört werden. Bei Gewitter im Bereich des Senders wird aus Sicherheitsgründen die Aussendung sogar komplett eingestellt, so dass das System nicht verfügbar ist.

GPS + NTP Für die Positionsbestimmung wird beim GPS die Trilateration verwendet. Grundlage dieses Verfahrens sind Entfernungsmessungen zwischen dem Empfänger und den GPS-Satelliten. Da die Messung per Laufzeitbestimmung vorgenommen wird, ist eine hochpräzise⁸⁸ Zeitsynchronisation zwischen Empfänger und Satelliten wesentlich. Mit der dem Empfänger bekannten GPS-Zeit⁸⁹ können andere Geräte synchronisiert werden [148]. Dabei wird die Zeitinformation, die mit dem NMEA-0183 Protokoll ausgelesen werden kann, genutzt. Die Zeitinformation⁹⁰ wird im verteilten System dann mit Hilfe von Synchronisationsverfahren⁹¹ übertragen. Damit wird also lediglich ein internes Synchronisationsverfahren mit der UTC synchronisiert.

GPS für jeden Knoten Um sich die interne Kommunikation der Synchronisationsverfahren zu sparen, ist es denkbar und unter den vorliegenden Rahmenbedingungen auch praktikabel, jeden

⁸⁶Verbrauch von Knotenrechenzeit und Bandbreite

⁸⁷Möglichst keine Switchs und Hubs innerhalb des zu synchronisierenden Netzwerkes, weil dafür keine zuverlässigen Zeitverzögerungswerte bestimmt werden können

⁸⁸Gangabweichung von deutlich unter $1\mu s$

⁸⁹Ein Zeitsystem, das von der UTC vom 6. Jan. 1980 abgeleitet wurde.

⁹⁰In vielen Frames des NMEA-0183 Protokolls in Form der UTC gesendet.

⁹¹Häufig mittels NTP.

mobilen Knoten mit einem GPS-Empfänger auszustatten. Damit können Knoten, auch die, die keinen direkten Funkkontakt zueinander haben, auf dieselbe Zeitbasis zurückgreifen. Gegen dieses Verfahren spricht, dass jeder Knoten einen eigenen GPS-Empfänger und einen Antennenstandort mit direkter Sicht zum Himmel benötigt.

Mobilfunksysteme (z.B.: 2G, 3G) Im Gegensatz zu Zeitzeichensendern und GPS ist das Mobilfunknetz nicht primär für Zeitsynchronisation vorgesehen. Da bei vielen Mobilfunkstandards auch TDMA-Variationen verwendet werden, sind synchronisierte Zeiten essentiell. Prinzipiell ist es damit vorstellbar die Zeitinformation vom mobilen Empfänger abzugreifen. Kommerziell wird eine solche Variante aber bisher noch nicht angeboten. Die Vergleichsparameter sind daher aus den allgemeinen GSM-Systemparametern abgeleitet bzw. abgeschätzt.

Sonstige Systeme Es existiert eine Vielzahl von funkbasierten Systemen (RDS, AMDS⁹², TV, 2-Wege-Satellitenübertragung etc.), die direkt oder indirekt Zeitinformationen übertragen. Es ist prinzipiell vorstellbar, über die jeweiligen Empfangsgeräte, diese Zeitinformation auszu-lesen und zu nutzen. Die anfallenden Kosten richten sich dabei nach dem Empfängerpreisen und eventuellen Verbindungskosten. Voraussetzung für die Nutzung ist aber immer, dass man sich im Empfangsbereich des jeweiligen Systems befindet. Die möglichen Genauigkeiten reichen, abhängig vom System, von Millisekunden, bis in den Mikrosekundenbereich.

Für die Beurteilung der Parameter der externen Synchronisationsverfahren soll Tabelle 4.4 dienen.

	GPS	DCF77 ⁹³	GSM ⁹⁴
Reichweite	Weltweit empfangbar	2000km um Mainflingen bei Frankfurt/Main	In mit GSM-Netz abgedeckten Gebieten
Systemkosten	Teure und aufwendige Empfänger	Günstige Empfänger	Teure Empfänger
Zuverlässigkeit	Durch verwendete Frequenz stabil gegen Wetter- und andere Störeinflüsse, aber geringe Sendeleistung	Bei Gewitter wird der Sender außer Betrieb genommen Durch niedrige Frequenz anfällig gegen Störungen	Hohe Sendeleistung bedingt gute Empfangsbedingungen
Aktualisierung	1Hz	1/60Hz	> 1Hz
Erreichbare Genauigkeit	±340ns mit SPS und ±200ns mit PPS	±2ms	±100µs ⁹⁵
	Standort hat keinen Einfluss auf die Genauigkeit (da der Standort bekannt ist, wird er mit berücksichtigt)	Unterschiedliche Standorte liefern aufgrund der Nachrichtenlaufzeiten des Funksignals unterschiedliche Zeiten	Standort hat minimalen Einfluss auf die Genauigkeit (Laufzeit der Zeitsignale)
Empfang	Nur außerhalb ⁹⁶ von Gebäuden ⁹⁷	Empfang auch in Gebäuden möglich	Empfang auch in Gebäuden möglich

Tabelle 4.4: Beurteilung externer Zeitsynchronisationssysteme

⁹² Amplitudenmoduliertes Datensystem, ein RDS ähnliches System für das Lang-, Mittel- und Kurzwellenband

4.5.2.4 Beurteilung der Zeiterfassungsverfahren hinsichtlich des Einsatzes in mobilen verteilten Steuerungssystemen

Zur Bewertung der einzelnen Verfahren sind die Rahmenbedingungen des Einsatzfalles von Bedeutung. Für mobile verteilte Steuerungssysteme sind die Aspekte Störanfälligkeit, Genauigkeit, Verhalten im Fehlerfall, Bandbreitenbedarf und Flexibilität von besonderer Bedeutung.

⁹³DCF77 sei hier stellvertretend für ähnliche funkbasierte Zeitzeichenempfangssysteme genannt

⁹⁴GSM sei hier stellvertretend für alle 2G Mobilfunknetze und -systeme genannt

⁹⁵Bei GSM beträgt die Sendezeit für ein Bit effektiv $3,692 \mu s$ [149], daraus lässt sich ein System mit einer Genauigkeit von etwa $\pm 100 \mu s$ konzipieren.

⁹⁶Vier Satelliten für vollständige Zeitsynchronisation nötig. Bei weniger Satelliten kann die Zeit nur auf etwa $\pm 1 ms$ genau bestimmt werden, da ohne Positionsinformation die Laufzeit zwischen Satellit und Empfänger nicht exakt berücksichtigt werden kann.

⁹⁷Neuste GPS-Empfänger bieten mit $-160 dBm$ eine Empfangsempfindlichkeit, die unter günstigen Umständen einen Indoor-Empfang erlaubt.

	Ereignisbasiertes System	Zyklisches System	Externe Synchronisation	Interne Synchronisation
Erreichbare Genauigkeit	$t_{N_{max}} - t_{N_{min}}$ (parallele Kommunikation)	$t_{N_{max}} - t_{N_{min}}$ (parallele Kommunikation)	$E * (1 - 1/n)$ E Schwankung der Nachrichtenlaufzeit ⁹⁸	$E * (1 - 1/n)$ E Schwankung der Nachrichtenlaufzeit
Bei Ausfall der Kommunikation	$t_{Ausfall}$ (Abweichung = Zeitdauer des Ausfalls)	$t_{Ausfall}$ (Abweichung = Zeitdauer des Ausfalls)	$t_{Ausfall} * Zeitdrift$	$t_{Ausfall} * Zeitdrift$
Flexibilität für auszuführende Aktionen	Start bei Ereignis	Start bei beliebigem Zyklus n (auch $n + x$)	Beliebig (max. mit Granularität des Zeitsystems)	Beliebig (max. mit Granularität des Zeitsystems)
Benötigte Kommunikationsbandbreite	++	-	+	-
	(nur Ereignisse werden übertragen)	(jeder Zyklus erfordert Kommunikation)	(Bandbreite wird über externes Kommunikationssystem bereitgestellt)	(ständige Synchronisation nötig)
Kosten	++	+	-	-
			(interne Uhr und externe Geräte zur Synchronisation nötig)	(interne Uhr nötig)
Anfälligkeit (welche Systeme sind involviert und könnten Fehler verursachen)	Nur Kommunikationssystem (dann aber Totalausfall)	Nur Kommunikationssystem (dann aber Totalausfall)	Zusätzliches System und Kommunikation und interne Uhr	Kommunikation und interne Uhr

Tabelle 4.5: Beurteilung von Zeitsynchronisationsprinzipien

Die Kommunikation in mobilen Systemen ist in einem ungleich höheren Maß von Störungen und Fehlern betroffen als bei stationären verteilten Systemen. Die Bitfehlerraten der Funkkommunikation liegen bei gleichem algorithmischen Aufwand um Größenordnungen über denen der kabelgebundenen Kommunikation. Damit einhergehend sind Zeitsysteme auf Basis von zyklischen oder Ereignisübertragungen stärker von Ausfällen und damit Unsynchronität der Abläufe betroffen. Vergleichbare zeitbasierte Systeme haben den Vorteil, dass bei einem Ausfall der Kommunikation nur die Synchronisation ausfällt. Die eigentliche Zeitbasis läuft mit der zwar geringeren, aber nutzbaren Genauigkeit der internen Uhr weiter. Für Prozesse bei denen ein Ausfall eines Knoten nicht akzeptabel ist, sind die beiden Systemkonzepte ohne interne Uhr ungeeignet. Mit einem zeitbasierten System erkaufte man sich die Sicherheit gegen Totalausfall⁹⁹ mit höheren Systemkosten und größeren Zeitabweichungen¹⁰⁰ zwischen den Knoten. Für zeitbasierte Systeme mit externer Synchronisation sprechen die möglichen Einsparungen bei der Kommunikationsbandbreite und Knotenrechenzeit. Dem gegenüber stehen Kosten für das externe Verfahren der Synchronisation, so dass sich diese Verfahren nur in Systemen mit sehr begrenzten Bandbreiten rentieren. Zudem bedeuten weitere technische Geräte immer eine Vergrößerung der Fehler-/Ausfallwahrscheinlichkeit. Für den Einsatz im System „Mobile Technik“ wird die Verwendung eines externen Synchronisationsverfahrens vorgeschlagen, weil die mobile Kommunikation aufgrund der geforderten Reichweite stark in der Bandbreite beschränkt ist. Das eingesetzte Mobilfunksystem bestimmt maßgeblich die Systemparameter der Anwendung. Daher ist die mögliche Einsparung an Bandbreite von besonderer Bedeutung für alle Bereiche des Systems. Die zusätzlichen Kosten für ein externes Synchronisationsverfahren können durch die Auswahl des geeigneten Verfahrens begrenzt werden.

4.5.3 Messwerterfassung als grundlegender Bestandteil des Systems

Die dritte Säule der Datenerfassung des Systems „Mobile Technik“, neben der Positionsbestimmung und Zeiterfassung, ist die maschinen- und betriebsabhängige Datenerfassung. Neben der Bedeutung der Zeit- und Positionsdaten als Hilfsgrößen für die Steuerung des Systems sind diese Größen auch im Rahmen der Erfassung von Maschinen- (MDE), Qualitäts- (QDE) und von Betriebsdaten (BDE) von Bedeutung.

4.5.3.1 Maschinendatenerfassung im Kontext des FMS

Die MDE im FMS „Mobile Technik“ umfasst alle Größen, die einen Einfluss auf den Transportprozess haben. Das beinhaltet den größten Teil der Fahrzeugparameter, beispielsweise Geschwindigkeit, Motortemperatur und Öldruck. Die in Kapitel 2.1.3 beschriebenen Truckinformationssysteme werden von den Fahrzeugherstellern integriert, um die MDE zu realisieren. Insbesondere werden die gesammelten und manuell ausgelesenen Maschinendaten für die vorbeugende Wartung bzw. für die Unterstützung im Fehlerfall verwendet. Die Truckinformationssysteme verfügen über standardisierte¹⁰¹ oder zumindest herstellereigene Schnittstellen mit deren Hilfe das System „Mobile Technik“ auf die Maschinendaten zugreifen kann. Für den Fall, dass ein Truckinformationssystem fehlt muss, das Systems „Mobile Technik“ auf die Sensoren selbst per CAN-Bus zugreifen und die benötigten Daten abfragen. Die aufwändigste Variante¹⁰² ist der Einsatz eigener Sensoren.

⁹⁸Beweis siehe Ludelius und Lynch, Information and Control, Vol. 62, 1984

⁹⁹Totalausfall bezüglich des rechtzeitigen Starts einer verteilten Aktion.

¹⁰⁰aufgrund der Zeitdrift bei Ausfall der Synchronisation

¹⁰¹Beispielweise der FMS-Standard [50, 150]

¹⁰²Falls kein Zugriff auf bordeigene Systeme bzw. den CAN-Bus aus Sicherheitsgründen oder durch Restriktionen des Herstellers möglich ist

4.5.3.2 Qualitätsdatenerfassung im Kontext des FMS

Die primären Aufgaben eines FMS in Tageben und Minen liegen in der optimalen Nutzung der vorhandenen Fahrzeugflotte. Eine Qualitätsbeeinflussung tritt im Regelfall dabei nicht auf¹⁰³. Qualitätsrelevante Daten können nicht direkt auf den Fahrzeugen gemessen werden. Sie müssten entweder durch zusätzliche Sensoren bereitgestellt oder aus vorhandenen Messstellen über indirekte Beziehungen abgeleitet werden.

4.5.3.3 Betriebsdatenerfassung im Kontext des FMS

Die BDE liefert wichtige Daten zum Umfang und zeitlicher Realisierung der Produktionsvorgänge. Im Falle des FMS eines Tagebaues sind das u.a. Transportmengen, Zykluszeiten und Be- und Entladungsvorgänge. Die Betriebsdaten werden dabei im Zusammenspiel mehrerer Systemkomponenten erfasst. So kann die genaue Transportmenge sowohl bei der Beladung durch den Bagger/Lader, beim Transport durch Wägung oder bei der Entladung bestimmt werden, falls das Fahrzeug selbst über keine Messeinrichtung verfügt. Eine einheitliche Betriebsdatenerfassung mit dem vorgestellten System stellt einen erheblichen Fortschritt dar, da aktuelle Betriebsdaten manuell bzw. über verschiedene Systeme verteilt, erfasst werden. Die kontinuierliche Erfassung der Betriebsdaten der mobilen Technik ist ein umfangreiches Werkzeug für übergeordnete Aufgabenbereiche wie beispielsweise die Auftragsverwaltung, die mit detaillierten online Betriebsdaten jederzeit den Stand des jeweiligen Auftrags nachvollziehen kann.

4.5.3.4 Beurteilung der Messdatenerfassung des Mobilen Systems

In den allermeisten Tagebauen und Minen kommen inhomogene Fahrzeugflotten zum Einsatz. Die Fahrzeuge verschiedener Hersteller und Fahrzeuggenerationen bilden dabei den Grundstock des FMS. Eine einheitliche MDE und BDE ist in diesem Fahrzeugumfeld schwierig zu realisieren. Vielmehr eignet sich eine individuelle Anpassung der Datenerfassung an das jeweilige Fahrzeug. Bei modernen Fahrzeugen mit definierten Schnittstellen werden so umfassender Daten erhoben, als bei Fahrzeugen die nur wenige Messstellen besitzen.

Anhand des notwendigen Aufwands für die Datenerfassung und der Bedeutung der Information für das Gesamtsystem muss abgeschätzt werden, welche Daten einheitlich bei allen Fahrzeugen zwingend erfasst werden.

Die Bedeutung der umfassenden online Maschinendatenerfassung ist aus anderen Industriebereichen bekannt und zeigt sich durch die Vielzahl von Lösungen und Einsatzgebieten. Im Bereich der mobilen Technik wird von den Fahrzeugherstellern seit Jahren der Einsatz von MDE-Systemen forciert. Neueste Systeme erlauben dabei, durch den Einsatz von standardisierten Schnittstellen, eine online MDE auch in einem heterogenen Fahrzeugumfeld. Die Betriebsdatenerfassung ist trotz vergleichbarer Bedeutung im Gegensatz zur MDE nicht so umfassend automatisiert. In diesem Bereich herrscht eine vergleichsweise hohe manuelle offline Datenerfassung vor. Eine online BDE ist nur im Zusammenspiel verschiedener Systemkomponenten realisierbar. Daher existieren auch nur Speziallösungen, die einzelne Aspekte bzw. Teilbereiche der BDE automatisieren.

¹⁰³Einzig durch fehlerhafte Be- oder Entladeaufträge oder Durchführungsfehler könnte es zur Vermischung von Massen und damit zu einer Qualitätsverschlechterung kommen.

4.6 Datenübertragung als Bindeglied des MVSS

4.6.1 Allgemeine Analyse der Parameter von Mobilfunksystemen

Die drahtlose Kommunikation ist die wesentliche Grundlage, die den Aufbau eines mobilen, verteilten Systems überhaupt erst ermöglicht. Das Augenmerk der Analyse von Mobilfunksystemen liegt in der Eingrenzung der Vielzahl der verfügbaren Lösungen in Hinblick auf eine spätere technische Umsetzung des Gesamtsystems. Ganz allgemein lassen sich folgende Aussagen treffen.

- Die Kosten für eine Mobilfunklösung hängen nur mittelbar mit der technischen Komplexität einer Lösung zusammen, wichtiger ist die installierte bzw. prognostizierte Stückzahl von Geräten. Kostengünstige Massenfertigung und starker Wettbewerb der Gerätehersteller führt bei großen Stückzahlen zu günstigeren Systemen. Es ist daher durchaus möglich, dass eine komplexere Technologie durch die genannten Einflüsse bei großen Stückzahlen für den einzelnen Endnutzer günstiger ist, als die einfache und damit vermeintlich billigere Technik. Insgesamt bezieht eine Kostenbetrachtung, neben den Beschaffungskosten, zusätzlich Verbindungs- und Unterhaltskosten sowie zulassungsbedingte Abgaben mit ein.
- Egal welche herausragenden Ankündigungen die Systemhersteller auch präsentieren, letztendlich basieren alle Lösungen auf den gleichen physikalischen Zusammenhängen, so dass eine neue Lösung stets „nur“ eine verbesserte Ausnutzung der natürlichen Gegebenheiten bzw. ein optimierte Anpassung an Rahmenbedingungen darstellt.
- Die Parameter Reichweite und Übertragungsrate sind diametral, d.h. eine Vergrößerung der Reichweite bedingt bei gleichen Randbedingungen eine Verringerung der möglichen Übertragungsrate. Allgemein gilt, dass eine höhere Funkfrequenz bei gleicher Sendeleistung eine größere Bandbreite aber geringere Reichweite¹⁰⁴ als ein System mit niedriger Funkfrequenz bietet.
- Die Funklösung, die für alle Einsatzfälle optimal ist, existiert nicht. Jede gewählte Funklösung stellt einen Kompromiss dar, der unter den gegebenen Randbedingungen, die besten Ergebnisse verspricht. Änderungen an den Rahmenbedingungen oder Verschiebungen in der Priorisierung der Parameter können daher ständig dazu führen, dass eine andere Funklösung besser geeignet ist.

Neben den physikalischen und wirtschaftlichen Parametern spielt ein politischer Faktor eine weitere wichtige Rolle bei der Auswahl eines Funksystems. Da Funkfrequenzen eine wertvolle und stark begrenzte Ressource darstellen, obliegt es den Regierungen der Staaten für eine Regulierung der Funknutzung auf ihrem Staatsgebiet zu sorgen. Aus diesem Anspruch ergeben sich, aufgrund der Komplexität der Thematik, für jedes Land verschiedene Zulassungsbedingungen für Funksysteme. Im Rahmen der globalen Entwicklung bestehen erste Bemühungen für eine Angleichung der Zulassungsbedingungen. Die größten Schritte und Erfolge auf diesem Gebiet erreichte dabei bisher die Europäische Union mit der Harmonisierung von Funkfrequenzen. Die Schwierigkeiten bei diesen Bemühungen werden am besten veranschaulicht, indem man sich die Komplexität des Frequenznutzungsplans der deutschen Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post [151] oder des US Frequency Allocations [10] betrachtet.

¹⁰⁴Die theoretische Reichweite kann über die Freiraumdämpfung A_F einer elektromagnetischen Welle berechnet werden. $A_F = 20 * \lg(4 * \pi * d / \lambda) \text{ dB}$

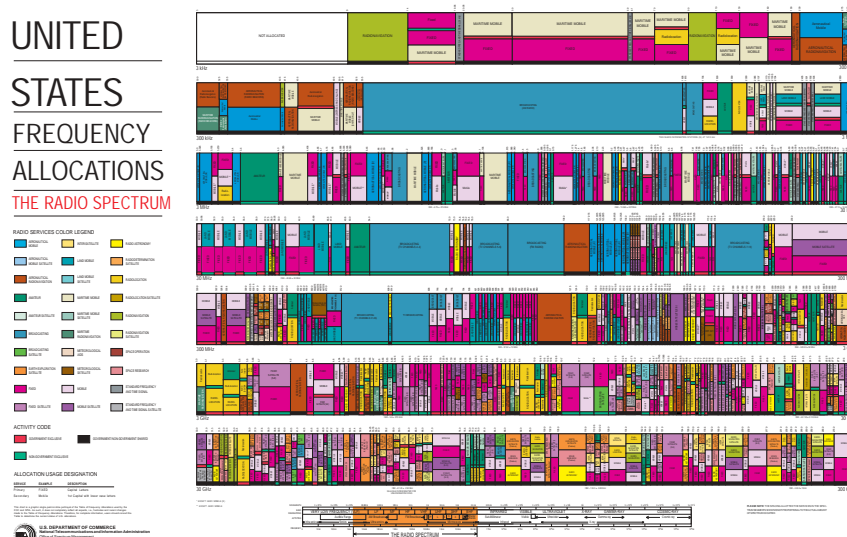


Abbildung 4.18: US Frequency Allocations [10]

4.6.2 Vergleich von Mobilfunksystemen und der sich ergebenden Systemparameter

Die unübersehbare Vielzahl von Mobilfunksystemen macht einen umfassenden Vergleich aller Technologien und Systeme unmöglich. Die Abbildung 4.18 zeigt exemplarisch die Schwierigkeiten eines solchen Vorhabens. Der Frequenznutzungsplan ist weltweit, in allen Ländern, durch seine Komplexität geprägt. In diesem Umfeld haben es selbst Technologien, die in ihrem Frequenzband eine technische Revolution darstellen, schwer sich weltweit durchzusetzen. Aber erst mit einer großen Stückzahl werden Systeme, abseits von Speziallösungen, wirtschaftlich sinnvoll nutzbar. Um eine geeignete Technologie für das System „Mobile Technik“ zu finden, sollen zumindest die wesentlichsten Funkstandards beleuchtet werden. Zuerst soll dafür eine grobe Einteilung der Systeme anhand der abgedeckten Einsatzgebiete vorgenommen werden. Schon diese Einteilung bereitet Schwierigkeiten, da die verschiedenen Hersteller ständig bemüht sind, die Einsatzbandbreite ihrer Systeme zu erweitern und sich damit über verschiedene, spezielle Anpassungen die Einsatzgebiete der Technologien in andere Bereiche hinein verschieben.

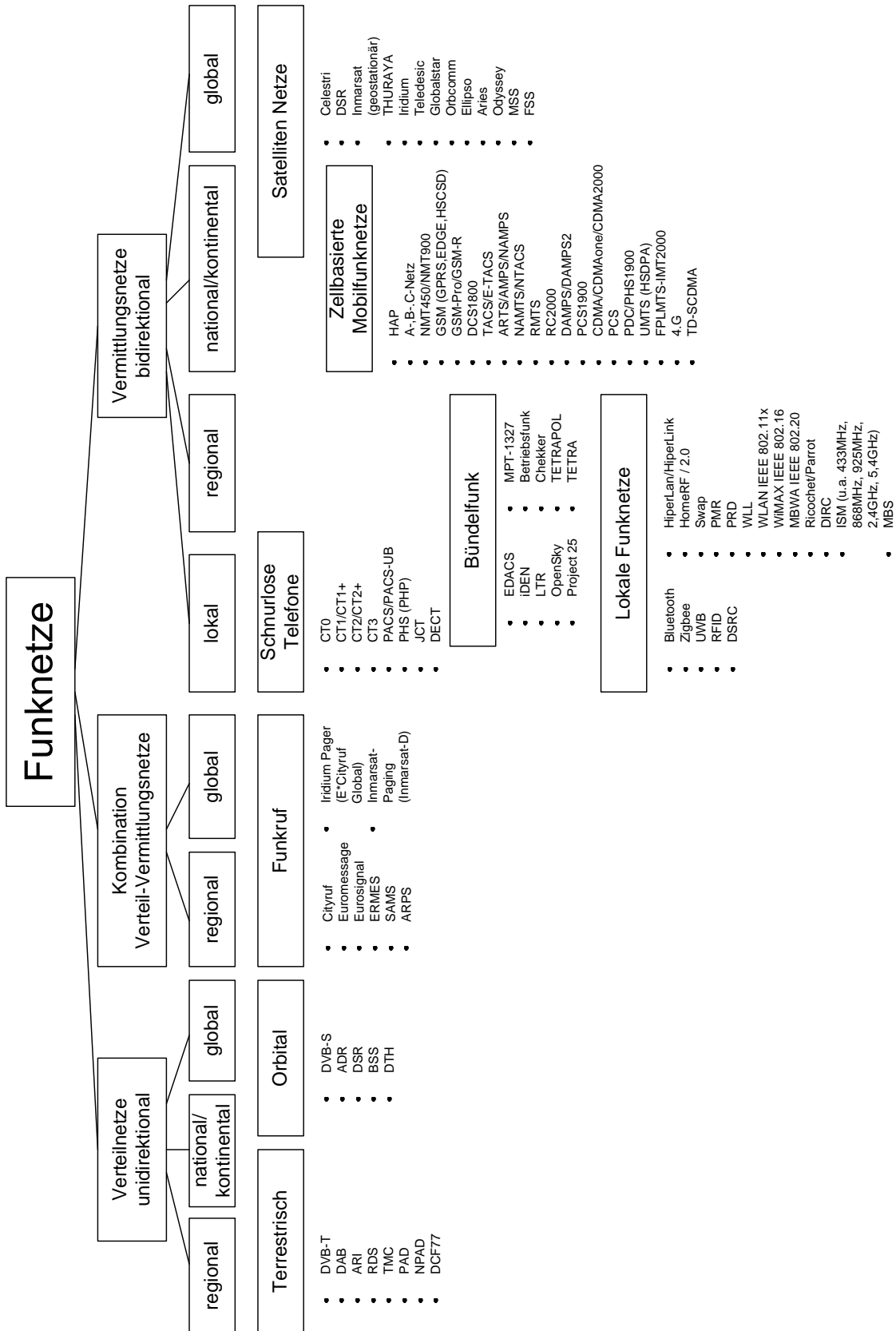


Abbildung 4.19: Übersicht Mobilfunksysteme

Für einen Einsatz im System „Mobile Technik“ eignet sich nur ein bidirektionales Funksystem, da sowohl Daten erfasst, als auch Steuerungsanweisungen übermittelt werden sollen. Bei der Abdeckung des Funksystems reichen bereits Systeme mit lokaler Abdeckung, da begrenzte Reichweite durch den zellularen Aufbau ausgeglichen werden kann. Wichtiger bezüglich des Funksystems ist allerdings die weltweite Verfügbarkeit, da das Einsatzgebiet des Systems „Mobile Technik“ nicht näher spezifiziert ist und daher weltweit einsetzbar sein muss. Für den weltweiten Einsatz bedeutsam ist die Unterscheidung in Systeme mit betriebseigener Infrastruktur und Systeme mit Infrastruktur, die durch Fremdfirmen bereitgestellt wird. In anbetracht der entfernten Lage der Einsatzgebiete von Ballungszentren und der gewünschten, möglichst kostenlosen Funkverbindung ist kein Mobilfunksystem bekannt, das unter den genannten Rahmenbedingungen von einem Drittanbieter betrieben wird. Einzig Satellitensysteme erlauben eine Kommunikation, die durch Fremdfirmen bereitgestellt wird, auch in entlegensten Regionen der Erde. Die extrem teure Infrastruktur refinanzieren diese Firmen durch entsprechend hohe Verbindungsgebühren. Insgesamt ergibt sich so für ein System, das ganz wesentlich auf ständiger Onlinedatenübertragung basiert, ein Kostenfaktor, der letztendlich zur Unwirtschaftlichkeit führt. Für Havariefälle und den Notbetrieb wäre, bei entsprechend geringen Systemkosten, eine Lösung auf Basis von Satellitenkommunikation vorstellbar. Aus Kostengründen scheiden professionelle, zellbasierte Mobilfunk- und Satellitensysteme für den regulären Einsatz aus. Bei der Auswahl des Funkssystems ist daher ein System mit eigener Infrastruktur zu wählen. Aus der Vielzahl der Systeme mit eigener Infrastruktur stellt Tabelle 4.7 einige weit verbreitete oder in der Entwicklung befindliche, zukünftige Systeme vergleichend dar.

Funksystem	proprietäre ISM-Band Lösung	802.11	Dect	RFID	802.15.4
Störfestigkeit	-	o	+	+	+
Kosten	-	o	o	++	+
Reichweite	++	+	+	-	o
Datendurchsatz	+	++	+	-	-
Einsatz weltweit	+	++	-	o	+
Mobilität	++	+	+	o	-
Teilnehmeranzahl	o	-	o	++	++
Verfügbarkeit	+	++	+	o	-
Geschwindigkeit	< 200km/h	70km/h	20km/h	< 10km/h	< 10km/h

Tabelle 4.6: Bewertung Mobilfunkssysteme Teil 1

Der Vergleich zeigt Systeme aus den Bereichen WPAN¹⁰⁵, WLAN¹⁰⁶ und WMAN¹⁰⁷. Die WPAN Systeme (RFID, 802.15.4 - Zigbee, 802.15.3a - UWB, 802.15.1 - Bluetooth) überzeugen vor allem durch hohe Datenraten, große Teilnehmeranzahlen und geringe Systemkosten. Nachteilig wirken sich die geringen Reichweiten, die geringen möglichen Teilnehmergegeschwindigkeiten und die schlechte Eignung für mobile Anwendungen aus. Die Systeme des WLAN Bereichs¹⁰⁸ sind als Massenprodukte billig zu beziehen. Die geringen Kosten und die Ausgereiftheit der Produkte sind die wesentlichen Vorteile dieser Systeme. Demgegenüber stehen stärkere Störungen, durch die große Zahl von eingesetzten Systemen und die weite Verbreitung der Technik. Die Technologien für den WMAN-Bereich befinden sich im wesentlichen noch in der Erforschung- bzw. Standardisierungs-

¹⁰⁵Wireless Personal Area Network

¹⁰⁶Wireless Area Network

¹⁰⁷Wireless Metropolitan Area Network

¹⁰⁸Der Standard 802.11 wird allgemein als WLAN bezeichnet. Für die Einteilung der Systeme nach ihrer Reichweite werden auch andere Standards unter der Bezeichnung WLAN gruppiert

Funksystem	802.15.3a	802.15.1	802.16	802.20	Tetra
Störfestigkeit	o	++	o	o	++
Kosten	o	o	-	-	-
Reichweite	-	-	++	++	++
Datendurchsatz	++	+	++	++	-
Einsatz weltweit	o	++	+	+	o
Mobilität	o	o	+	++	++
Teilnehmeranzahl	+	o	+	+	+
Verfügbarkeit	- (2005 - 2006)	++	- (2006 - 2007)	- (2007 - 2009)	+
Geschwindigkeit	< 10 ^{km/h}	< 10 ^{km/h}	120 – 150 ^{km/h}	250 ^{km/h}	200 ^{km/h}

Tabelle 4.7: Bewertung Mobilfunksysteme Teil 2

phase. Erste Produkte sind daher erst in den nächsten Jahren verfügbar. Einzig PMR-Systeme¹⁰⁹ sind in der Praxis bereits nutzbar. Durch das größere abzudeckende Gebiet ist aber insgesamt mit deutlich höheren Systemkosten zu kalkulieren. Die Vorteile sind die sehr hohe Datenrate¹¹⁰ und die große Reichweite bei gleichzeitiger Mobilität.

Für eine aktuelle Realisierung des Systemkonzeptes wird ein System auf WLAN bzw. ISM - Basis im 2,4 -GHz- Band empfohlen. Diese Systeme bieten den besten Kompromiss zwischen möglicher Datenrate, erzielbarer Reichweite und weltweitem Einsatz. Die Standardisierung der Systeme deckt ein breites Einsatzgebiet ab und die ausgereifte Technik erlaubt den Fokus auf die wesentlichen Punkte der Konzeptrealisierung. Für mobile Anwendungen ist allerdings zu beachten, dass die mobile Rechenleistung begrenzt ist und daher möglicherweise Abstriche in der Umsetzung der Protokolle zu beachten sind. Aber selbst vereinfachte Protokolle bieten noch die gewünschte Funktionalität unter beherrschbaren Rahmenbedingungen.

4.6.3 Ansätze für mobilfunkspezifische Datenübertragungsstrategien

Das Ziel von mobilfunkspezifischen Datenübertragungsstrategien ist es, für verschiedene Funktechnologien Ansätze zu liefern, um trotz unterschiedlicher Funksystemeigenschaften im Ergebnis gleiche Systemparameter für das Steuerungssystem zu erreichen. Die Unterschiede zwischen verschiedenen Funktechnologien lassen sich für den Systembetreiber am einfachsten auf der Kosten Seite bemerken. Um eine gewünschte oder evtl. vorhandene Funkinfrastruktur aus Kostensicht zu bewerten, muss eine Aufteilung der Gesamtkosten in Anschaffungs-, Betriebs- und Verbindungskosten vorgenommen werden. Bei hohen Anschaffungs- oder Betriebskosten ist ein Gesamtsystem so auszulegen, dass die maximale Gebietsabdeckung mit einer Funkzelle genutzt wird. Damit wird die Gesamtzahl der Funkzellen minimiert und die Infrastrukturkosten niedrig gehalten. Bei kostengünstigen Systemen sollte, für eine erhöhte Sicherheit und Zuverlässigkeit während des Betriebes, eher die Ausdehnung der Funkzellen weniger groß gewählt werden. Ein weiterer wichtiger Faktor sind die laufenden Kosten, die sich direkt aus der Systemkommunikation ergeben. Idealerweise sollte ein System verwendet werden, das keine Verbindungskosten generiert. Bei entsprechenden Kosten sollten die Mess- und Positionsübertragungen dahingehend optimiert werden, dass bestehende Verbindungen immer vollständig ausgenutzt werden¹¹¹. Darüber hinaus sind die Messstellen zu überprüfen, um entscheiden zu können, welche Messwerte online übertragen werden müssen und welche Messdaten auch zu einem späteren Zeitpunkt, evtl. mit einem anderen kostenfreien

¹⁰⁹TETRA bzw. auch Tetrapol

¹¹⁰Ausnahme wiederum die PMR-Systeme

¹¹¹Komplette Ausnutzung der vorhandenen Datenübertragungsrate und der Übertragungszeit.

System, ausgelesen werden können. Eine ähnliche Vorgehensweise empfiehlt sich auch für Systeme, die eine begrenzte Datenrate besitzen und darum nicht alle Messdaten online übertragen können. Im gegenteiligen Fall, mit ausreichend großer Datenrate, kann der umgekehrte Weg beschritten und so viele Messdaten wie möglich online übertragen werden. Neben möglichen Applikationen, die auf dieser Onlinedatenbasis aufbauen, erleichtert diese Vorgehensweise auch die Bewahrung der Konsistenz der Daten, da nicht zwischen Online- und Offlinedaten unterschieden und synchronisiert werden muss. Für Systeme, die eine vergleichsweise lange Zeit benötigen um eine Verbindung aufzubauen¹¹², ist es empfehlenswert, die Verbindung ständig aufrechtzuerhalten¹¹³. Damit ist es im Nutzungsfall schneller möglich, Daten zu übertragen. Die Vielzahl weiterer Systemparameter lässt sich in ihrer Wirkung überwiegend auf einen Einfluss auf die Datenrate reduzieren. Unterschiede in diesen Parametern können daher mit Anpassung im Übertragungsvolumen, nach den genannten Entscheidungsrichtlinien, ausgeglichen werden.

¹¹²Diese Aussage trifft nur auf Verbindungsorientierte Systeme zu, moderne Systeme setzen zunehmend auf paketorientierte Übertragung bei der dieser Punkt entfällt.

¹¹³Vorausgesetzt es entstehen keine Kosten für die Verbindung.

5 Implementierung

5.1 Beschreibung des Systems - Mobile Technik

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der Firma ABB GmbH Cottbus wurde das Projekt „Mobile Technik“ an der Professur für Prozessautomation des Instituts für Automatisierungstechnik der TU Bergakademie Freiberg realisiert. Das primäre Ziel der Zusammenarbeit war die Integration der nichtstationären Technik in das Automatisierungssystem von Tagebauen und Minen. Die im Rahmen der Arbeit vorgestellten Konzepte wurden dafür in eine kombinierte Hard- und Softwarelösung umgesetzt.

5.1.1 Aufbau des Systems

Auf Grundlage der Steuerungskonzeption und der Bewertungen der Funk-, Lokalisierungs- und Zeiterfassungsprinzipien kann die notwendige Grobstruktur des Systems abgeleitet werden. Generell wird der Aufbau des Systems in vier Hauptbereiche untergliedert. Dies sind:

- Vor-Ort-Datenerfassung,
- Datenverarbeitung,
- Datenübertragung und
- Datenvisualisierung/-archivierung.

Die mobile Technik¹ wird für die Vor-Ort-Datenerfassung mit einem Hardwareklienten ausgestattet. Prinzipiell umfasst die Hardware ein Positionsbestimmungssystem, ein Mobilfunksystem und auf das Fahrzeug abgestimmte Prozessdatenerfassungseinrichtungen. Darüber hinaus steht eine leistungsfähige Recheneinheit für die Datenverarbeitung zur Verfügung. Die technische Realisierung spiegelt dabei die Anforderungen für den Einsatz unter den extremen klimatischen Bedingungen in Tagebauen und Minen wieder. Für spezielle Einsatzfälle sind „ThinClients“ vorgesehen. Diese Hardwaresysteme besitzen einen eingeschränkten Funktionsumfang und können beispielsweise nur die Position erfassen. Für quasi stationäre Anlagen, bei denen keine weiteren Informationen von Interesse sind, kann dieser reduzierte Hardwareaufbau Kosten und Energie² sparen. Die mobile Komponente, egal welcher Hardwareausstattung, wird durch die funkbasierte Datenübertragung in den Systemverbund integriert. Zur Sicherstellung der Funktion wird das gesamte Einsatzgelände mit Funktionszellen überdeckt. Diese Zellen setzen sich aus einem zentralen Server mit Funksendeanlage und den verbundenen mobilen Einheiten zusammen. Das Kommunikationskonzept stellt dabei die Funktionsfähigkeit beim Übergang von mobilen Einheiten zwischen benachbarten Zellen sicher. Die übertragenen Daten werden anschließend in einer zentralen Datenbank hinterlegt. Die Visualisierungs- und Steuerungskomponenten greifen auf die Datenbank zu und verwenden damit automatisch dasselbe konsistente Systemabbild. Aufbauend auf die Datenbank sind auch Dienste, wie der Fernzugriff per Internet und die Archivierungskonzepte, leicht zu realisieren und an die eigenen Wünsche anzupassen.

¹Der Begriff „mobile Technik“ steht stellvertretend für alle Fahrzeuge oder Geräte, die mit einem Hardwareklienten ausgerüstet werden können, unabhängig von ihrer eigenen Mobilität, so dass auch stationäre Einrichtungen, die mit einem Hardwareklienten ausgestattet sind als „mobile Technik“ bezeichnet werden.

²Falls das Gerät nur über eingeschränkte Energieressourcen verfügt.

Systemgrenzen Die Vor-Ort-Datenerfassung ist perspektivisch auf die Speicherung aller relevanten und per Fahrzeugfeldbus³ erfassbaren Maschinen- und Prozessdaten ausgelegt. Die Datenübertragung limitiert die Anzahl und den Umfang der Onlinedatenübertragungen. Die Limitierung bewirkt, dass zu entscheiden ist, welche Messwerte online übertragen und welche Werte lokal zwischengespeichert werden. Die Auswertung bzw. Nutzung der lokal gespeicherten Daten muss dann auf anderem Wege erfolgen. Für die dynamischen Änderungen an der Systemgröße bzw. des zu übertragenden Datenvolumens können Mechanismen des Systems genutzt werden. Dabei gelten folgende Zusammenhänge:

Anzahl Fahrzeuge ↑ ↔ *Anzahl der online übertragbaren Daten* ↓

Anzahl Fahrzeuge ↑ ↔ *Aktualisierungsrate der Daten* ↓

Anzahl Funktionszellen ↑ ↔ *Aktualisierungsrate der Daten* ↑

Anzahl Funktionszellen ↑ ↔ *Anzahl der online übertragbaren Daten* ↑

Die Datenverarbeitung und -archivierung ist jederzeit in der Lage, das prognostizierte Datenaufkommen zu empfangen und entsprechend zu verarbeiten. Die Anpassung an vorhandene tagebau-technische, informationsverarbeitende Systeme kann auf Basis der zentralen Datenbank vorgenommen werden.

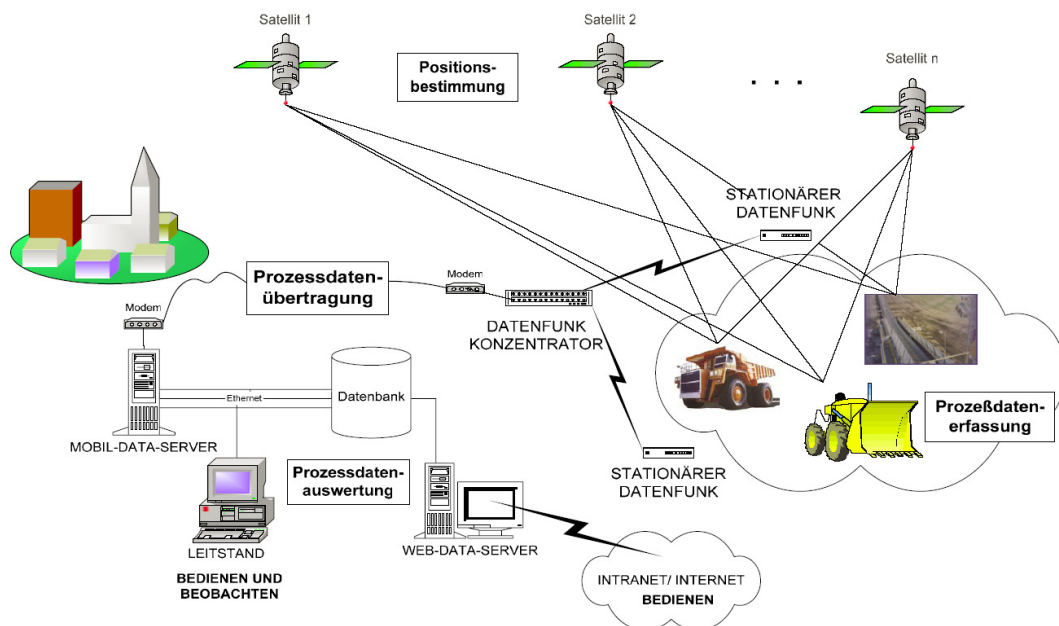


Abbildung 5.1: Architekturkonzept

³Zusätzlich ist die Datenerfassung per analogen und digitalen Eingängen vorgesehen. Sie sind aber in ihrer Anzahl begrenzt und damit nur als Zusatzvariante gegenüber der Erfassung per fahrzeugeigenem Bussystem anzusehen.

5.1.2 Datenerfassung

Die Datenerfassung im System „Mobile Technik“ umfasst die

- Prozessdatenerfassung,
- Positionsbestimmung,
- Zeiterfassung,
- Maschinendatenerfassung,
- Nutzereingabenerfassung

der mobilen Fahrzeuge.

Zur Maschinen- und Prozessdatenerfassung wird ein Microcontrollerboard verwendet. Im Zuge der Projektierung muss dabei entschieden werden, in welcher Art und Weise die gewünschten Prozessdaten von den mobilen Geräten gewonnen werden können. Ein Großteil der Fahrzeuge verfügt über interne Sensoren, die die gewünschten Informationen erfassen. Diese vorhandene Sensorinfrastruktur muss in geeigneter Weise an das Microcontrollerboard angebunden werden. Dafür steht die CAN-Bus Anbindung oder der Zugriff auf die Sensordaten über digitale bzw. analoge Schnittstellen des Microcontrollerboards zur Verfügung.

5.1.2.1 Positionsbestimmung - GPS

Die aktuelle Position der mobilen Komponente wird mit Hilfe eines Satellitennavigationssystems (auf Basis von SPS-GPS) bestimmt. Die Erfassung der Position kann dabei mit einer maximalen Rate von 1Hz erfolgen. Für die geforderte Genauigkeit, auch bezüglich der Geschwindigkeit der mobilen Einheiten, ist diese Erfassungsrate ausreichend. Das vorgestellte Gesamtkonzept fordert die Realisierung einer globalen Systemzeit. Die exakte zeitliche Einordnung von Maschinen-, Prozess- und Positionsdaten wird mit Zeitstempeln der internen Echtzeituhr des Microcontrollerboards realisiert. Daher ist eine global einheitliche Zeit essentiell. Um eine gleiche Systemzeitbasis zu erreichen, kann das GPS benutzt werden. Die Synchronisation der einzelnen Uhren erfolgt mit Hilfe der GPS-Empfänger. Die einzelnen Empfänger synchronisieren sich jeweils auf die GPS Satellitenzeit und bilden damit ein synchronisiertes Gesamtsystem. Besonders eignet sich dazu die globale Zeit (UTC - Universal Time Coordinated), die das GPS liefert. Dieses hochpräzise Zeitsignal ($\leq \pm 1\mu s$) können alle mobilen Teilnehmer über ihr GPS Gerät separat empfangen. Für verschiedene Hardwareversionen muss allerdings experimentell bestimmt werden, wie lange die Verarbeitung der GPS-Daten dauert. Diese Verzögerungszeit muss zur übermittelten GPS-Zeit hinzugerechnet werden. Da die Abläufe im Microcontroller streng deterministisch sind und der GPS-Empfang die höchste Prioritätsstufe bei der Interruptbearbeitung hat, sind die ermittelten Zeiten repräsentativ und gelten für alle Geräte gleicher Bauart. Damit entfällt die aufwändige und bandbreitenverbrauchende interne Synchronisation der mobilen Komponenten untereinander. Die Genauigkeit der per GPS bestimmten Position wird ganz wesentlich durch die Anzahl der sichtbaren Satelliten beeinflusst. Daher kann es in Randbereichen von Tagebauen und in sehr tiefen Minen durch Abschattungen zu einer ungenauen Positionsbestimmung kommen. Durch Überwachung von Kenngrößen, die das GPS Gerät liefert, können solche schwierigen Einsatzfälle erkannt werden. Sollten die erreichbaren Genauigkeiten für den jeweiligen Einsatzfall nicht ausreichend sein, ist vorgesehen, durch den Einsatz von DGPS die Genauigkeit zu erhöhen. Die notwendigen Änderungen am Empfänger sind im Entwurf bereits eingeplant, so dass nur ein geeignetes Korrektursignal über die Funkschnittstelle bereitgestellt werden muss. Da die Höhenkoordinate bei GPS Einsatz prinzipbedingt ungenauer als die x-y Koordinaten ist, wurde im System eine Höhenbestimmung per Barometer realisiert.

5.1.2.2 Höhenbestimmung - Barometer mit automatischer Driftkorrektur

Zur Verbesserung der Genauigkeit der Höhenkoordinate wird zusätzlich die barometrische Höhenmessung angewendet. Dabei wird der aktuelle Luftdruck an der Position des mobilen Objektes gemessen. Mit der internationalen Höhenformel kann aus dem gemessenen Druck die aktuelle Höhe berechnet werden. Die internationale Höhenformel basiert auf der Annahme einer theoretischen Atmosphäre. Dabei werden die Wetterzustände als über das Jahr statistisch verteilt angenommen. Der langjährige Durchschnitt entspricht dabei genau der theoretischen Atmosphäre. Dennoch kann es langjährige lokale Abweichungen von diesem Modell geben⁴. Weiterhin wird in der Annahme von einer homogenen Schichtung der Luftmassen ausgegangen und ein mittlerer Temperaturgradient festgelegt. Unberücksichtigt bleibt dabei u.a. auch die Feuchtigkeit der Luftmassen, was in gewissen Dimensionen zu Fehlern führen kann (durch die Driftkorrektur kann dieser Fehler größtenteils ausgeglichen werden). Die Änderungen des Luftdruckes bei einer Höhenänderung sind nur minimal⁵. Durch den Einfluss des Wetters⁶ ergeben sich deutliche Luftdruckschwankungen. Dies führt zu Fehlern in der Höhenbestimmung von mehr als 100m. Üblicherweise werden Höhenmesser deshalb an einem bekannten Höhenpunkt auf den herrschenden Druck abgeglichen oder es wird der aktuelle Luftdruck auf Meereshöhe in das System⁷ eingespeist [152]. Nach einem Abgleich driftet das Barometer wieder infolge der Wetteränderung ab. Da jedes mobile Gerät mit einem Barometer ausgestattet ist, führt die Drift zu einer Vielzahl unterschiedlicher Höhenwerte. Für das System „Mobile Technik“ ist daher eine automatische Driftkorrektur vorgesehen. Für die Wetterkorrektur einer Luftdruckmessung existiert eine Vielzahl von Verfahren, die auch durch verschiedene Patentschriften geschützt sind [153, 154, 155, 156]. Die automatische, dauerhafte Wetterdriftkorrektur in einem mobilen System wird allerdings nicht beschrieben. Die automatische direkte und indirekte Driftkorrektur wird erstmalig in einer realen Anwendung umgesetzt⁸.

$$h(p_0, T_0, p) = \frac{T_0}{-\gamma} * \left(1 - \left(\frac{-g_0 * M_L}{R_{star} * \gamma} \right) \sqrt{\frac{p}{p_0}} \right) \quad (5.1)$$

p_0	Normaldruck auf Meereshöhe
p	gemessener Druck
γ	Temperaturgradient der Atmosphäre
R_{star}	universelle Gaskonstante
g_0	Gravitationsbeschleunigung
M_L	relative Molekülmasse trockener Luft

Ein Referenzbarometer misst an einem vermessenen Punkt ständig den aktuellen Luftdruck. Aus der Differenz der barometrisch bestimmten Höhe und der Höhe des vermessenen Punktes lässt sich die aktuelle Abweichung der barometrischen Höhenmessung berechnen. Die indirekte Höhenwertkorrektur besteht darin, die Höhenangaben, die von den mobilen Komponenten übermittelt

⁴u.a. durch geographische Ursachen (z.B.: Einfluss der Alpen)

⁵Auf Meereshöhenniveau bedeutet eine Höhenänderung von 100m etwa eine Luftdruckänderung von 11,5 mbar.

⁶z.B.: Wechsel zwischen Tief- und Hochdruckgebieten.

⁷Beim Landeanflug werden die Höhenmesser von Flugzeugen mit dem am Flugplatz herrschenden Luftdruck abgeglichen.

⁸US Standard Atmosphäre basiert auf folgenden Annahmen:

- Druck bei Normal Null (Meershöhe) = 101325 Pa = 1013.25 mbar
- Temperatur bei Normal Null (Meershöhe) = 288.15 K = 15.00 °C
- Temperaturgradient = 6.5 K / 1000 m
- Spezifische Gaskonstante $R = R^*/M_0$ $R = 287.052J/(K * kg)$

werden, mit dem Korrekturwert zu verrechnen und eine korrigierte Höhe in der zentralen Datenbank abzulegen. Der Server kennt damit ständig die aktuelle korrekte Höhe der Fahrzeuge. Bei der indirekten Korrektur werden die Fahrzeuge allerdings nicht über ihren Höhenfehler informiert. Für Anwendungen die auch für die mobilen Geräte die exakte Höhe benötigen wird die direkte Höhenwertkorrektur verwendet. Dazu wird der Fehlerwert, mit der Funkinfrastruktur an die mobilen Klienten übermittelt. Mit diesem Fehlerwert kalibrieren die mobilen Geräte automatisch ihr internes Barometer. Diese Methode wird als direkte Driftkorrektur bezeichnet. Für die automatische Druckmessung wird ein digitales Barometer verwendet. Mit Hilfe des piezoresistiven Effektes wird der statische Druck bestimmt. Der piezoresistive Effekt basiert auf einer Widerstandsänderung, die durch Verformung eines entsprechenden Kristalls auftritt. Im Gegensatz zum piezoelektrischen Effekt lassen sich damit statische Verformungen erkennen. Über eine Brückenschaltung wird die Widerstandsänderung gemessen und weiterverarbeitet. Neben dem Druckwert wird auch die Temperatur bestimmt. Die Änderung der Temperatur führt zu einer Änderung des Widerstandes und damit zur Verfälschung der druckbedingten Widerstandsänderung. Die Abweichungen, die daraus entstehen, müssen durch eine Temperaturkompensation ausgeglichen werden. Der Hersteller der Sensoren bietet dazu üblicherweise eine Kompensationsformel an, die er an die Charakteristik seines Sensors angepasst hat. Die Berechnung und Korrektur der Höhenwerte aus dem Luftdruck werden vom Mikrocontroller durchgeführt. Der allgemeine Aufbau der mobilen Hardware ist in Abbildung 5.2 dargestellt. Die Anbindung bzw. Nutzung des GPS und des Barometers wurde bereits vorgestellt. Darüber hinaus stellt die Peripherie die Verbindungsmöglichkeiten zur Sensor- und Maschinendatenerfassung dar. Die Interaktion mit dem Fahrzeugbediener erfolgt über die Nutzerschnittstelle. Die dargestellten Speichervarianten sind im Rahmen der Inbetriebnahme anhand der geforderten Systemparameter zu dimensionieren.

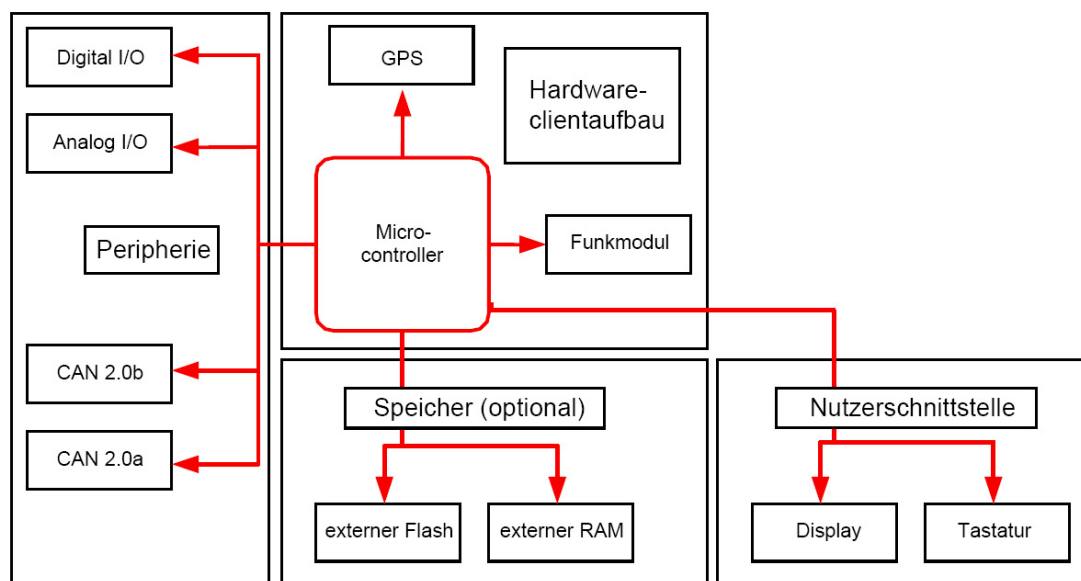


Abbildung 5.2: Prinzipieller Aufbau des Hardwareklienten MT-02

5.1.2.3 Datenerfassung

Die erfassten Prozessdaten werden zum Erfassungszeitpunkt mit einem Zeit- und einem Positionstempel verknüpft. Diese Zuordnung erlaubt spätere Auswertungen mit verlässlichen Angaben zu Erfassungsposition und -zeit. Die Art der erfassten Prozessdaten ist für das Systemkonzept von sekundärer Bedeutung. Da das eingesetzte Microcontrollerboard sehr flexibel ist und über die

notwendigen Verarbeitungskapazitäten verfügt, ist eher das Gesamtdatenvolumen als die Ausprägung einzelner Daten von Bedeutung. Im Fahrzeugbau hat sich der CAN-Bus als Standard für die Datenübertragung durchgesetzt. Daher wird die Datenerfassungshardware auf die Erfassung von CAN-Datentelegrammen ausgelegt. Im Rahmen der Systeminstallation und Betriebnahme werden die Softwarekomponenten an die verwertbaren Sensorsignale angepasst. Dabei ist es auch notwendig die CAN-Telegramme zu analysieren und über deren Nutzung zu entscheiden. Anschließend wird das grundlegende Datenübertragungsverhalten bezüglich Übertragungsvolumen und Aktualisierungsraten festgelegt⁹.

5.1.2.4 Nutzerschnittstelle

Die Nutzerschnittstelle stellt in erster Linie eine Ergänzung zu den üblichen Kommunikationswegen zwischen Dispatchern und Fahrern/Bedienern dar. Die begrenzte Datenrate der Funkdatenübertragung erlaubt konzeptionell keine Verbesserung der Kommunikation¹⁰. Allerdings werden die Kommunikationsvorgänge im Rahmen des allgemeinen Systemkonzeptes in der zentralen Datenbank archiviert, so dass in Zweifelsfällen eine Analyse der gesendeten Kommunikation möglich ist. Eingehende Informationen werden auf dem Display der mobilen Hardware dargestellt. Alternativ sind auch optische oder akustische Hinweis- bzw. Warngeräte vorgesehen. In Verbindung mit der Positionsüberwachung der Fahrzeuge können dem Fahrer damit wichtige Hinweise gegeben werden. In der Zentrale werden ankommende Nachrichten in geeigneter Weise in die Dispatcherapplikation eingespielt und zusammen mit der ausgelösten Reaktion des Bedieners archiviert. Für die Erstellung eigener Nachrichten ist die Hardwarebox mit einer Eingabemöglichkeit ausgestattet. Im Rahmen des allgemeinen Kommunikationsregimes werden die Nachrichten zeitnah an die Zentrale weitergeleitet.

5.1.3 Datenverarbeitung und -zwischenspeicherung

Die erfassten Maschinen- und Prozessdaten werden vom Microcontrollerboard verarbeitet und per Funk an den zentralen Zellenrechner gesendet. Die Rechenleistung des Microcontrollers reicht aus, um eine Filterung von Messdaten bereits vor Ort durchzuführen. Aufgrund des Grundprinzips von Funkdatenübertragungen kann es aber vorkommen, dass keine Übertragung möglich ist (Funkschatten, außerhalb der Reichweite, Funkkanal bereits belegt etc.). Daher ist eine Zwischenspeicherung der aktuellen Messdaten im mobilen Gerät unbedingt notwendig. Größe und Art des Zwischenspeichers hängen stark von den Einsatzanforderungen ab. Für die längerfristige Messdatenspeicherung ist zusätzlich zum RAM ein Flash-EPROM integriert. Damit können wichtige Messdaten auch bei kurzfristigem Ausfall der Spannungsversorgung gerettet werden.

5.1.4 Datenübertragung

Für die Implementierung der Funkübertragung ist die Funkinfrastruktur von grundlegender Bedeutung. Dabei ist zwischen externer¹¹ und betriebseigener Infrastruktur zu unterscheiden. Die externe Infrastruktur wird durch einen Fremdanbieter gestellt und verursacht daher in jedem Fall Kommunikationskosten. Die betriebseigene Funkinfrastruktur muss mit nicht unerheblichem Kostenaufwand erst installiert werden, hat aber im laufenden Betrieb deutliche Kostenvorteile zu bieten. Die Entscheidung für eine bestimmte Funktechnologie hängt von den Einsatzparametern ab. Allgemein kann gelten:

⁹Eine spätere dynamische Anpassung der beiden Werte ist aber unabhängig davon jederzeit möglich.

¹⁰Es ist keine Audio- oder gar Videoübertragung realisierbar.

¹¹z.B. ein GSM- oder UMTS-Netz

$$\begin{aligned} \text{Reichweite der Funklösung} \uparrow &\leftrightarrow \text{Datenübertragungsrate} \downarrow^{12} \\ \text{Sendefrequenz des Funkstandards} \uparrow &\leftrightarrow \text{Reichweite der Funklösung} \downarrow \end{aligned}$$

Für die Funkdatenübertragung existiert eine Vielzahl von verschiedensten Systemen von Fremdanbietern, ebenso wie Lösungen für den betriebseigenen Einsatz. Im System „Mobile Technik“ ist die Nutzung einer eigenen Funkinfrastruktur vorgesehen. Für ein System, das weltweit einsetzbar sein soll, ist die Auswahl eines weltweit verfügbaren Fremdanbieters für die Funkinfrastruktur nur sehr schwer möglich. Darüber hinaus konzentrieren sich die kommerziellen Anbieter üblicherweise auf Gebiete, die die größten Umsätze versprechen und das sind selten die Gebiete in denen sich die Einsatzregion des Systems befindet. Bei der Verwendung einer eigenen Funkinstallation ist zu beachten, dass sich die Zulassungsbedingungen für Funkverfahren zwischen unterschiedlichen Regionen der Erde unterscheiden können¹³. Die große flächenmäßige Abmessung der Tagbaubetriebe erfordert, unabhängig vom eingesetzten Funksystem, den Aufbau eines zellularen Funkssystems. Die Zellenstruktur des Funksystems wird dabei auch für die Steuerungsfunktionalität übernommen. Damit werden analog zu den Funkzellen Funktionszellen (FZ) gebildet. Sie bestehen aus einem zentralen Server der mit der gewählten Funktechnologie ausgestattet ist und weiterhin aus den mobilen Klienten, die sich im Empfangsbereich dieser Zelle aufhalten. Die Größe einer Funktionszelle wird durch die Reichweite und den Umfang der Datenübertragung bestimmt. Durch den geeigneten Entwurf und die Aufteilung der Funktionszellen muss sichergestellt werden, dass folgende Bedingung zu jedem Zeitpunkt erfüllt ist:

$$\begin{aligned} \text{Funktionszelle} &= f(\text{Reichweite}, \text{Truckanzahl}, \text{Datenaufkommen}) \\ 1 &> \frac{\sum_{j=1}^{Ta} \left(\sum_{i=1}^{Ma_j} Mw_i \right)_j}{d * t_z} \end{aligned} \quad (5.2)$$

Ta	Anzahl mobiler Einheiten in der Funktionszelle
Ma_j	Anzahl der Messstellen der jeweiligen mobilen Einheit
Mw_i	Grösse des aktuellen Messwerts der jeweiligen mobilen Einheit
d	Datendurchsatz der Übertragungsstrecke
t_z	Zykluszeit der Messdatenerfassung

Bei einer dynamischen Anpassung der Zykluszeit, wie in Kapitel 4.3.2.4 beschrieben, ist die Formel 5.2 für jeden konstanten Teilzyklus anzuwenden. Die dynamische Anpassung der Zykluszeit erfordert die genaue Kenntnis der Parameter des Funksystems. Deswegen ist gerade in diesem Systemknoten ein Höchstmaß an Modularität und Flexibilität unerlässlich. Einerseits muss für jedes Einsatzland die Funktechnologie an bestehende Gesetze angepasst werden. Auf der anderen Seite erfordert der jeweilige Einsatz eine Abschätzung der benötigten Datenübertragungsraten, der Entfernungen, die durch das Funksystem überwunden werden sollen und der Kosten, die dadurch entstehen. Anhand dieser Werte muss dann das jeweils optimale Funksystem¹⁴ ausgewählt werden. Die in einer Funktionszelle gesammelten Informationen übermittelt der Zellenrechner an

¹²Für Funkstandards, die besonders hochwertige Modulationsverfahren verwenden, kann diese Aussage nur bedingt gelten.

¹³Die Festlegung der Zulassungsbedingungen für Funkssysteme unterliegen den jeweiligen Staaten und daher können sich die Bedingungen für dieselben Funkssysteme in zwei Staaten deutlich unterscheiden [10, 157].

¹⁴Das optimale Funkssystem erfüllt sowohl die Forderungen der Formel 5.2, als auch die betriebswirtschaftlichen Einsatzanforderungen wie Investitions- und Kommunikationskosten.

den zentralen Leitstand und die Systemdatenbank. Dazu dient entweder eine kabelgebundene¹⁵ Datenübertragungsstrecke oder eine Richtfunkverbindung.

5.1.5 Datenauswertung und -visualisierung

Die per Funk übertragenen Messdaten werden von einem Zellenrechner aufbereitet. Anschließend werden die Messdaten in einer SQL-fähigen Datenbank abgespeichert. Idealerweise wird dafür die vorhandene Datenbankinstallation des Tagebaubetreibers verwendet, um eine einheitliche Basis zu nutzen. Alle Auswertungsroutinen greifen nur auf diese Datenbank zu. Damit wird sichergestellt, dass alle Routinen dieselbe Datenbasis verwenden und von den gleichen Messdaten ausgehen. Welche Auswertungen mit den Mess- und Positionsdaten vorgenommen werden, hängt stark vom jeweiligen Einsatzfall ab. Mit den Positionsdaten und dem Geschwindigkeitsverlauf lässt sich beispielsweise eine Wegstreckenoptimierung im Tagebau vornehmen. Die gespeicherten Daten werden mit einer Applikation in der Zentrale visualisiert. Diese Leitstandssoftware liefert dem Nutzer eine Übersichtskarte mit dem Einsatzgebiet und allen aktiven Fahrzeugen. Zu den einzelnen Fahrzeugen können jederzeit Mess- und Positionsdaten abgefragt werden. Die Alarmmeldungen werden in einer Alarmzeile dargestellt und müssen vom Bediener quittiert werden. Nachrichten und Anweisungen an einzelne mobile Geräte können per Eingabemaske erstellt und gesendet werden.

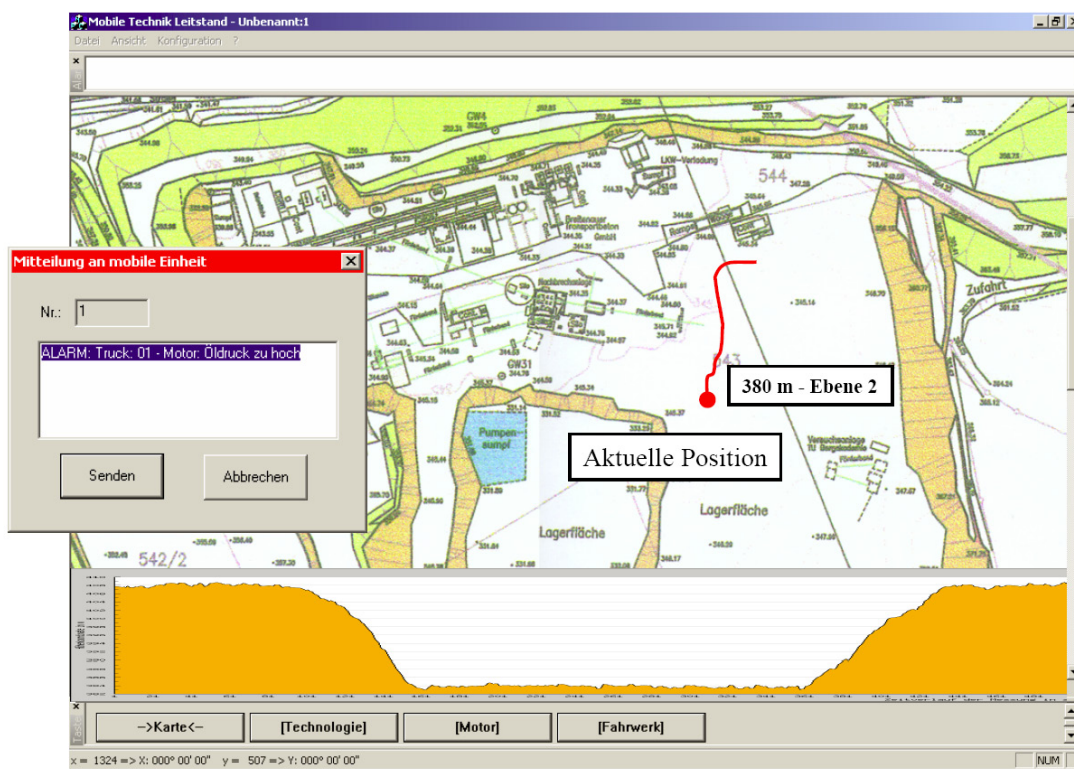


Abbildung 5.3: Beispiel für eine Visualisierungssoftware

¹⁵Einige Tagebaue besitzen ein Glasfaserringnetz, das um das gesamte Tagebaugelände geführt ist und allen Datenverkehr überträgt. Dabei werden Audio, Video und Messdaten über dieselbe Leitung übertragen und die jeweiligen Protokolle getunnelt [158].

5.2 Teilrealisierung mit dem RMC der Siemens AG

5.2.1 Aufbau einer Versuchsanlage mit dem RMC3000 System

Zur Ermittlung der Funktionalität und zum Verständnis der verwendeten Konzepte wurde an der TU Bergakademie Freiberg eine Versuchsanlage auf Basis des RMC-Systems der Firma Siemens AG aufgebaut. Die RMC Lösung spiegelt den aktuellen Stand der Flottenfernbeeinflussung und -überwachung in der Logistikbranche wieder. Basierend auf einer GPS-Positionsortung und einer GSM-Datenübertragung sind diese Systeme 10.000-fach im Einsatz¹⁶. Das Augenmerk der Testrealisierung mit dem RMC-System lag auf der Untersuchung der Frage, inwieweit die erstellten Konzepte mit der vorhandenen und erprobten Technik umzusetzen wären. Die Versuchsanlage beinhaltet im wesentlichen drei Bestandteile. Einerseits waren das die mobilen Einheiten in Form von RMC3000 Geräten, weiterhin der GSM-Übertragungsweg, realisiert durch die Nutzung von Siemens M20 GSM-Modulen und das RMC-Basisleitsystem, basierend auf der Siemenssoftware WinCC. Für den Versuchsaufbau wurden zwei RMC Geräte in Fahrzeuge eingebaut. Zum einen in ein Fahrzeug, das sich lokal bewegte und damit einen direkten Eingriff erlaubte¹⁷ und zum anderen in ein entferntes Fahrzeug, das nur durch Softwareparameter per Remotezugriff beeinflusst werden konnte. Jedes dieser Geräte verfügte über eine eigene GSM-Rufnummer und konnte damit individuell angesprochen werden. Der Serverrechner wurde im Institut für Automatisierungstechnik der TU Bergakademie Freiberg platziert. Das RMC-System sieht für den Server zwei GSM-Module vor. Da bei einer laufenden GSM-Verbindung die beiden beteiligten Teilnehmer blockiert sind, wird für mögliche Alarmmeldungen ein eigener Anrufkanal und damit ein eigenes Modem bereitgehalten. Die Nummern für den Anruf- und den Datenkanal sind in den RMC-Geräten hinterlegt und können dynamisch per Remoteanweisung auch geändert werden. Damit ist auch ein Providerwechsel im laufenden Betrieb möglich¹⁸. Die Installation des auf WinCC basierenden Leitstandes stellt keine gesonderten Anforderungen an die Hardware- bzw. Softwareumgebung.

5.2.2 Erweiterung der RMC-Lösung um ein Funksystem der Firma Cattron-Theimeg

Die GSM-Abdeckung entlegener Regionen ist nicht sichergestellt. Damit ist für das geplante primäre Einsatzgebiet die Funkdatenübertragung nicht 100% gewährleistet. Aus diesem Grund wurde in einer zweiten Realisierungsstufe ein anderes Funksystem angeschlossen. Da die bestehende Hardware nicht verändert werden sollte, wurde die zusätzliche Funkhardware der Firma Theimeg Elektronikgeräte GmbH & Co. über eine externe Schnittstelle angeschlossen. Die externe Funklösung basiert auf der Nutzung von Betriebsfunkfrequenzen und ist im Bereich der Steuerung von Kränen und Hebeeinrichtungen seit langer Zeit erfolgreich im Einsatz. Insgesamt zeigte sich, dass der Anschluss an das RMC über die serielle Schnittstelle kein vollständiger Ersatz für das GSM System sein konnte. Zum einen lag das an der fehlenden Integration der Funklösung in das Softwareregime. Darüber hinaus war die Hardwareeinbindung nicht für eine industrielle Nutzung geeignet.

5.2.3 Schwächen der Realisierung mit dem RMC-System

Die RMC-Lösung konnte im Rahmen der vom Hersteller empfohlenen und optimierten Anwendungsfälle überzeugen. Die Fernortung und -überwachung von mobilen Geräten im öffentlichen Verkehrsraum funktionierte reibungslos. Hinsichtlich des Einsatzes für ein System zur Automatisierung von mobiler Technik ergaben sich aber deutliche Einschränkungen.

¹⁶Auf ähnlichen technischen Komponenten basiert auch das Toll Collect System, dass mit 500.000 in Fahrzeugen verbauten Einheiten am 1.1.2005 startete.

¹⁷u.a. für Modifikationen an den Messdatenanschlüssen und den Versorgungsleitungen bzw. Antennen

¹⁸Die SIM-Karten der mobilen Einheiten müssen allerdings ausgetauscht werden.

3D - Positionsbestimmung Die Positionsbestimmung und -darstellung im RMC-System erfolgt nur für zwei Dimensionen. Für kartenbasierten Betrieb ist dieser Modus ausreichend. Durch Modifikationen an der Erfassungs- und Übertragungseinstellung war es möglich die Höhenkoordinate zu bestimmen. Sie wird vom RMC mit dem GPS ermittelt. Die Genauigkeit erreichte aber nicht die notwendigen Werte. Eine separate Höhenbestimmung und anschließende Übermittlung über die analogen oder digitalen Eingänge verringert die Anzahl der nutzbaren Eingänge und wurde daher ebenfalls wieder verworfen.

Ständige Onlineverbindung Die GSM Funkübertragung sieht keine ständige Onlineverbindung zu den Fahrzeugen vor. Einerseits wäre diese Betriebsart durch die Verbindungskosten zu teuer und auf der anderen Seite würde der ständige Zugriff die Funktionalität der RMC-Geräte blockieren¹⁹. Der Fernzugriff beschränkt sich vom Konzept her auf das kabellose Auslesen des Datenspeichers und auf das Einspielen von Konfigurationsdaten und Firmwareupdates.

Zeitregime Aus dem Übertragungsverhalten ist ersichtlich, dass das mit dem RMC realisierbare Zeitregime nicht den gestellten Anforderungen gewachsen ist. Die prinzipiell mit dem GPS erfassbare exakte Zeit konnte mit der aktuellen Hardware nicht gesondert genutzt werden. Darüber hinaus ist der GSM-Verbindungsaufbau mit nichtdeterministischen Verzögerungen behaftet.

Flexibles Funksystem Das größte Hindernis für den Einsatz des RMC-Systems ist die Nutzung der GSM-Funkübertragung. Der Versuch des Anschlusses eines anderen Funksystems zeigte die Schwierigkeit deutlich auf. Die mobile Datenübertragung ist der integrale Bestandteil des RMC-System und daher ist jede diesbezügliche Änderung zumindest sehr unflexibel bis gar nicht, mit den verfügbaren Informationen bzw. Mitteln, zu realisieren.

Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Anpassung an neue Einsatzfelder wurde der Ansatz zur Nutzung des RMC-Systems verworfen. Seitens der Siemens AG wurden die Bemühungen von Anfang an interessiert verfolgt und durch Unterstützung im technischen Bereich gefördert. Die Nutzung des RMC für andere Anwendungsfelder wurde auch an der RWTH Aachen untersucht. Dabei entstand die Lösung „ruDi“ [159, 160, 161, 162, 163] für den Einsatz zur Diagnose und Instandhaltung von Schienenfahrzeugen. Insgesamt blieben die Entwicklungen aber stückzahlenmäßig hinter den Erwartungen von Siemens zurück, so dass zu Beginn des Jahres 2002 die Produktion des RMC-Systems abgekündigt wurde. Damit entfiel die Grundlage für die Nutzung des RMC als Basis für eine Umsetzung des Konzeptes zur Automatisierung der mobilen Technik in Tagebauen und Minen.

5.3 Realisierung von Teilaspekten im System „Mobile Technik“

Im Rahmen des Projektes „Mobile Technik“ wurde die, im vorangegangenen Kapitel beschriebene, Implementierung des Gesamtkonzeptes in einer Prototypenreihe realisiert²⁰. Insgesamt wurden ein Prototyp mit der Bezeichnung MT01 und drei Prototypen der nachfolgenden Version MT02 entworfen und gefertigt²¹. Die Realisierung beschränkte sich auf die Nachbildung einer Funktionszelle. Dabei wurden der Zellenrechner und der Zentralrechner mit der Datenbank kombiniert. Prinzipiell ergeben sich aus dieser Vereinfachung aber keine Nachteile hinsichtlich des Erkenntnisgewinns mit der Prototypenserie²². Die microcontrollerbasierte mobile Hardwarekomponente wurde am Institut für Automatisierungstechnik entworfen, gefertigt und programmiert. Für den Entwurf der

¹⁹Während einer aktiven Verbindung werden keine aktuellen Alarmer oder Positionsdaten verschickt.

²⁰Die Experimentelle Überprüfung des Konzeptes wurde mit Hilfe dieser Prototypen vorgenommen und wird in Kapitel 6 beschrieben

²¹Die Fertigung erfolgte durch die Mechatronische Werkstatt der TU Bergakademie Freiberg.

²²Einzig der Handover zwischen zwei Zellen konnte mit der Prototypenrealisierung nicht verwirklicht werden.

Hardware konnte eine Zusammenarbeit mit Herrn Anders²³ umgesetzt werden. Für die Serverseite wurde die entsprechende Funkhardware auf Basis eines OEM-Funkmoduls entworfen und gefertigt. Der Entwurf der Funkhardware wurde parallel zur Konzeption eines Praktikumsversuchs auf Basis der Funkmodule realisiert. Für beide Entwicklungen zeigt sich Herr Wagner²⁴ im Rahmen seiner Studienarbeit verantwortlich [11]. Die gesamte serverseitige Softwareapplikation wurde im Rahmen der Bakkalaureusarbeit von Herrn Henschel²⁵ realisiert [164].

5.3.1 Datenerfassung

Für die Datenerfassung wurden die Prototypen als microcontrollerbasierte Platinen ausgeführt. Die Platinen wurden zusammen mit jeweils einem Display und einer Tastatur in ein IP65-Gehäuse der Firma Bopla montiert. Der Einbau der Hardware in ein Fahrzeug wurde durch die Installation der GPS- und der Funkantenne, sowie durch den Anschluss an die Bordnetzspannung vorgenommen.

5.3.1.1 Prototypstudie mit Siemens MC SAB 80C167

Die erste Prototypstudie wurde mit dem Entwurf eines Gerätes auf Basis des „MC SAB 80C167“ Microcontrollers der Siemens AG verwirklicht. Dabei wurde aber schnell deutlich, dass der geforderte Funktionsumfang²⁶ nicht ohne externe Erweiterungen realisierbar war. Aufgrund von zusätzlichen Schwierigkeiten bei der Softwareerstellung wurde die zweite Prototypenrealisierung auf Basis des Renesas M16C/6N0 begonnen.

5.3.1.2 Prototyp mit Renesas M16C/6N0

Verschiedene Restriktionen in der Entwicklung und Erkenntnisse während der Testphase führten letztendlich zur Realisierung einer zweiten Prototypversion auf Basis des „M16C -M306NAFGTFP“ Microcontrollers der Firma Renesas²⁷. Besonders vorteilhaft sind die integrierten seriellen Schnittstellen, da durch sie, gegenüber dem Siemens Microcontroller, eine Reihe von externen Bauteilen eingespart werden konnten. Die Hauptbestandteile der Microcontrollerplatine sind in Abbildung 5.4 dargestellt.

GPS-Modul - GPS Das GPS-Modul der Firma Falcom wird über die RS232-Schnittstelle seriell angekoppelt.

Funk-Modul - Radio Das Funkmodul der Firma AeroComm wird ebenfalls per RS232-Schnittstelle seriell angebunden. Das Modul arbeitet im lizenzfreien 2,4GHz ISM-Frequenzband und ist auf große Reichweiten bei mittlerem Datendurchsatz ausgelegt. Die Kommunikation mit dem Funkmodul kann durch verschiedene vorgegebene Befehle beeinflusst werden. Dabei wird grundsätzlich zwischen Datenmodus und Konfigurationsmodus unterschieden. Die Umschaltung zwischen diesen Modi erfolgt durch die nicht standardgerechte Nutzung der RTS-Leitung. Bei einem logischen Low-Pegel an der RTS-Leitung werden die vom Microcontroller gesendeten Daten vom Funkmodul als Konfigurationsbefehle verwendet. Bei einem High-Pegel an der RTS-Leitung werden die Daten direkt vom Funkmodul über die Luftschnittstelle gesendet.

Barometer - Altimeter Zur Höhenbestimmung ist ein digitales Barometer integriert. Über ein serielles 3-Draht Interface kann das Barometer mit integriertem A-D Wandler angesprochen

²³Mitarbeiter an der Professur für Prozessautomation des Instituts für Automatisierungstechnik der TU Bergakademie Freiberg

²⁴Student an der TU Bergakademie Freiberg

²⁵Student an der TU Bergakademie Freiberg

²⁶Begrenzte Rechenleistung und für den Hardwareaufbau ungünstige Verteilung/Anzahl der Schnittstellen.

²⁷Die Firma Renesas ist nach eigenen Angaben der weltweit drittgrößte Hersteller von Halbleitern [165]. Im April 2003 ist sie aus der Kooperation von Hitachi, Ltd. und Mitsubishi Electric Corporation hervorgegangen.

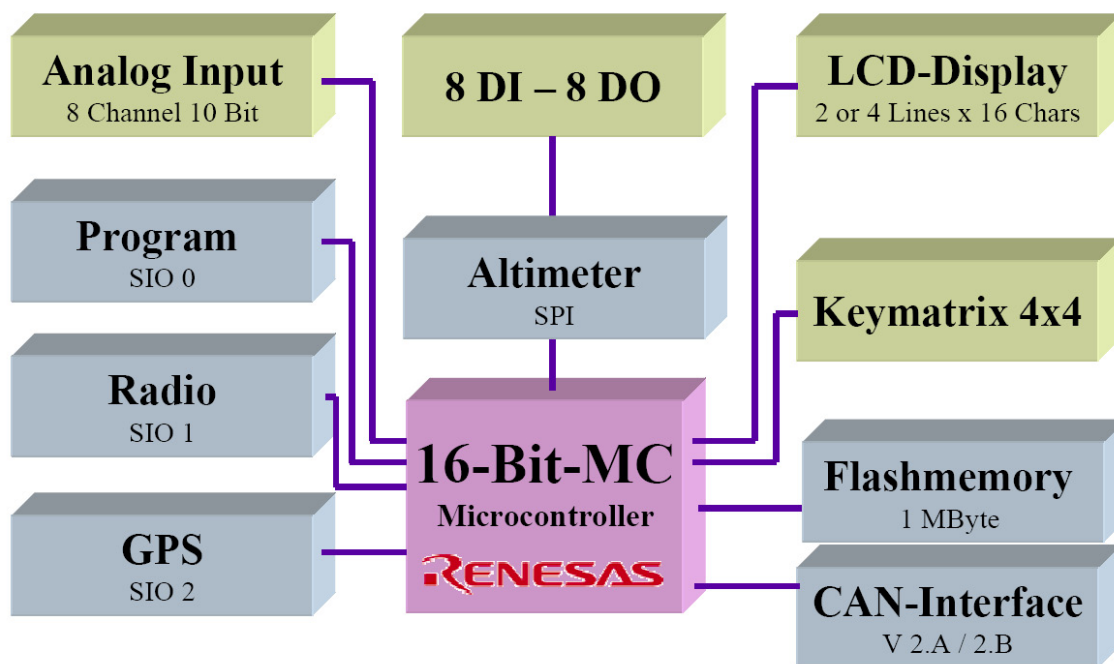


Abbildung 5.4: Hardwareaufbau des Prototypen MT-02

werden. Die zur Messung nötigen Berechnungen werden vom Microcontroller ausgeführt. Um die bestmöglichen Ergebnisse zu erreichen, wird die Temperaturkompensation mit einem Polynom zweiten Grades durchgeführt. Die für die Kompensation notwendige Temperaturmessung kann ebenfalls vom Barometermodul durchgeführt werden.

Programmierschnittstelle Über eine weitere serielle Schnittstelle kann der Microcontroller programmiert werden. Dazu muss er nach dem Reset in den Bootmodus versetzt werden (über einen Schiebeschalter am Gehäuse). Dadurch ist es im späteren Einsatz möglich, ohne Ausbau der Hardware, eine neue Firmware in ein Gerät einzuspielen. Ein Firmwareupdate, wie vorgesehen per Mobilfunk durchzuführen, ist nur für wenige Geräte sinnvoll²⁸. Deshalb wurde im Hardwareentwurf die Programmierschnittstelle weiterhin vorgesehen.

Flash-EEPROM Für die Zwischenspeicherung von Mess- und Positionsdaten ist ein Flash der Firma Atmel per serielltem 3-Draht Interface eingebunden. Die verwendete Speichergröße beträgt aktuell 1 Mbyte, mit einer Segmentgröße von 264 Byte. Der Speicher wird momentan nur für die Zwischenspeicherung von Messdaten verwendet. Die Menge des Speichers muss bei einer späteren Produktumsetzung deutlich vergrößert werden. Es existiert bereits ein Konzeptvorschlag für die Nutzung einer MultiMediaCard²⁹ (MMC), was eine Verringerung der Kosten und eine deutliche Steigerung der Speicherkapazität bedeuten würde.

CAN-Interface Der verwendete Microcontroller besitzt zwei eigenständige CAN-Schnittstellen. Damit benötigt die CAN-Anbindung, beim Hardwareentwurf, nur die Weiterführung der entsprechenden Pins vom Microcontroller an geeignete Steckverbinder. Die notwendigen Softwaregrundlagen sind in Form eines Softwaremoduls umgesetzt.

²⁸Der große Bandbreitenverbrauch bei einem Onlinefirmwareupdate verringert die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems.

²⁹Das notwendige serielle Interface wurde experimentell bereits erprobt und eignet sich durch seine einfache Handhabung und leichte Implementierbarkeit für die Verwendung als Speicherlösung.

Analoge Eingänge / A-D-Wandler / D-A-Wandler Bis zu 26 10-Bit A-D-Wandler und 2 8-bit D-A-Wandler können mit dem Microcontroller kontrolliert werden. Allerdings sind weniger Kanäle wirklich nutzbar, da eine Reihe von Portpins mehrfach belegt sind. In der aktuellen Hardwareversion sind acht Portleitungen für die A-D- Wandler in Benutzung. Es ist allerdings keine Anpassungs- bzw. Schutzschaltung integriert³⁰. Die Nutzung dieser Funktion muss deshalb mit Vorsicht geschehen, um Zerstörungen am Microcontroller zu vermeiden.

Digitale Eingänge /Ausgänge Für digitale Eingänge bzw. Ausgänge stehen bis zu 87 Ports zur Verfügung. Auch hier gilt, dass eine Vielzahl nicht nutzbar ist, da die entsprechenden Ports anderweitig benutzt werden. Für die Nutzung der digitalen Signale ist im Gehäuse eine extra Sub-D Buchse eingebaut, über die die Signale an den Microcontroller geführt werden können. Auf der Softwareseite ist die Überwachung der Eingänge per Interrupt möglich, muss aber individuell an die Erfordernisse angepasst werden.

LCD Für die Darstellung von Informationen der Zentrale ist in den Prototypen ein LCD integriert. Dabei ist allerdings zu beachten, dass das LCD nicht den geplanten Einsatzbereich bis - 40 ° C abdecken kann. Für eine Tieftemperaturversion der Hardwarelösung bieten sich andere Darstellungsformen beispielsweise mit LED an. Momentan werden Displays mit zwei Zeilen und jeweils 16 Zeichen verwendet. Neben der Darstellung von 7-bit ASCII Zeichen ist auch die Definition von bis zu vier eigenen Zeichen (5x7 Pixel) möglich und wurde im Softwarecode umgesetzt. Für die Darstellung von Umlauten ist eine Konvertierung implementiert³¹.

Tastatur Für die Eingabe von Nachrichten an die Zentrale und zur Bestätigung von Meldungen ist eine Tastatur im Gehäuse integriert. 16 unterschiedliche Zeichen können damit eingegeben werden. Die Bedeutung der Tasten kann per Software angepasst werden. Momentan findet ein Zahlentastaturlayout Verwendung.

5.3.1.3 Positionsbestimmung - GPS

Für die Positionsbestimmung per GPS wird ein JP3-OEM-Modul der Firma Falcom verwendet [166]. Das GPS-Modul wird per RS232-Schnittstelle mit dem Microcontroller verbunden. Für die Datenübermittlung wird das NMEA-0183³² Protokoll benutzt. Alternativ kann ein proprietäres Protokoll auf Basis des Zodiac GPS-Chips verwendet werden, um umfangreichere Informationen aus dem GPS-Modul auszulesen. In der Prototypenrealisierung wurde allerdings nur das NMEA-Protokoll realisiert, um eine leichte Austauschbarkeit des GPS-Moduls zu ermöglichen³³. So kann ohne Softwareanpassung ein anderes NMEA-fähiges GPS-Modul verwendet werden. Dies ist besonders wichtig für Einsatzfälle in denen die Fahrzeuge bereits anderweitig mit einem GPS ausgestattet sind. Anstatt ein weiteres GPS-Modul einzusetzen, kann die mobile Hardware über das NMEA-Protokoll die Daten des bereits installierten Systems nutzen. Die Übermittlung der Positionsdaten ist zyklisch konfiguriert, d.h. das OEM-Modul sendet einmal pro Sekunde seine Position an den Microcontroller. Per Interrupt wird die aktuelle Positionsmeldung erkannt und verarbeitet. Der Zeitpunkt der Positionsbestimmung kann aus dem NMEA-Positionstelegram ausgelesen werden,

³⁰Die Portpins sind mit einer Buchse verbunden und können so genutzt werden. Als Referenzspannung wird aktuell die Betriebsspannung des Microcontrollerboards verwendet, für genauere Messungen müsste eine geeignete Referenzspannung größerer Güte erzeugt und entsprechend angeschlossen werden.

³¹Der Zeichensatz des LCD stimmt nur mit dem Standard-ASCII-Zeichensatz überein, für Extended ASCII sind nur wenige Zeichen hinterlegt und müssen erst entsprechend angepasst werden.

³²Ursprünglich war das NMEA-0180 (National Marine Electronics Association) ein Protokoll, um den Datenaustausch zwischen Elektronik im maritimen Bereich zu vereinheitlichen. Inzwischen ist die Weiterentwicklung, das NMEA-0183 Protokoll, defacto Standard im Bereich der Positionsdatenübertragung von GPS-Empfängern. Die Protokollspezifikation kann in [167] nachgelesen werden.

³³Da in der Entwurf- und Testphase nicht genau bekannt war, von welchem Hersteller letztendlich die GPS-Module bezogen werden sollten, war die leichte Austauschbarkeit auch bezüglich eines gemeinsamen Protokolls wichtig.

somit steht für die Position ein exakter Zeitstempel zur Verfügung. Bei Bedarf können vom Microcontroller weitere Datentelegramme³⁴ azyklisch abgefragt werden.

5.3.1.4 Positionsbestimmung - Barometer

Für die Messung des aktuellen Luftdruckes wird ein Barometermodul der Firma Intersema verwendet. Das „MS5534A“ ist ein in SMD Bauweise ausgeführter piezoresistiver Sensor. Neben dem Druckwert wird automatisch ein Temperaturwert bestimmt, um eine korrekte Temperaturkompensation zu ermöglichen. Über ein 3-Drahtinterface können die 16-Bit Messwerte ausgelesen werden. Darüber hinaus enthält jedes Messmodul ab Werk bestimmte Koeffizienten, die durch den Hersteller hinterlegt wurden, um die Messgenauigkeit individuell für jedes Modul sicherzustellen³⁵. Die Druckmessung und damit die Höhenbestimmung sind rauschbehaftet, daher unterliegen die Messwerte gewissen Schwankungen. Zur Unterdrückung dieser Schwankungen wird die Messfrequenz erhöht und eine gleitende³⁶ Mittelwertbildung der Messung nachgeschaltet. Damit wird die Messdynamik nicht verschlechtert und dennoch kann die Aussagekraft der Messwerte verbessert werden.

$$y = y_{n-1} * (1 - a) + y_n * a \quad (5.3)$$

y	<i>geglätteter Wert</i>
y_n	<i>aktueller Messwert</i>
y_{n-1}	<i>historischer Wert von y</i>
a	<i>Dämpfungsfaktor</i>

Der geglättete Luftdruckwert wird für die Höhenberechnung verwendet. Die Wetterdriftkorrektur ist in der Prototypenlösung als indirekte Korrektur realisiert. D.h. die Höhenwerte werden nur in der Zentrale korrigiert. Die Darstellung der Höhe im Display des Fahrzeuges ist also fehlerbehaftet. Da aber der Fahrer seine visuellen Eindrücke nutzen kann, ist die fehlerhafte Höheninformation nicht gravierend.

5.3.2 Datenübertragung per Mobilfunk

Die Realisierung der Datenübertragung unterlag während der Prototypenrealisierung der größten Varianz. Im Laufe der Entwicklung wurden diverse Funkssysteme realisiert und getestet. Der Gradmesser zur Beurteilung einer Funktechnologie stellte dabei die Anforderungen hinsichtlich des späteren Einsatzgebietes dar. Für die Übersicht über die realisierten und getesteten Funklösungen lässt sich die vergleichende Eigenschaftstabelle 5.1 nutzen:

³⁴z.B. zur Bestimmung der Anzahl und der Identifikationsnummer der verwendeten Satelliten.

³⁵Die genaue Bedeutung der Koeffizienten und die technische Spezifikation kann in [168] nachgeschlagen werden.

³⁶Für ein Beispiel siehe [169]

	DFM10/ DFM868 [170]	Siemens MT20 [171]	Theimeg [172]	Aerocomm [173]
Frequenzband	ISM (433MHz bzw. 868MHz)	GSM	Betriebsfunk (400MHz-470MHz)	ISM (2,4GHz)
Einsatzgebiet	Europaweit	Weltweit ³⁷	Deutschland und einige europäischen Länder	Weltweit ³⁸
Zulassung	Zulassung der Geräte durch den Hersteller ³⁹	Zulassung der Geräte durch den Hersteller. Der Nutzer schließt mit einem Provider einen Vertrag über die Nutzung.	Der Nutzer bekommt eine Zulassung zur alleinigen Nutzung einer Frequenz für eine bestimmte Region	Zulassung der Geräte durch den Hersteller.
Empfängerinfrastruktur	Intern	Extern	Intern	Intern
Infrastrukturkosten	Muss durch den Nutzer installiert werden.	Wird durch den Provider bereitgestellt ⁴⁰	Muss durch den Nutzer installiert werden.	Muss durch den Nutzer installiert werden.
Gerätekosten	Gering	Keine Kosten ⁴¹	Sehr hoch	Hoch
Verbindungskosten	Gering	Hoch ⁴²	Sehr hoch.	Hoch
Reichweite	Keine Kosten	Laufende Kosten, abhängig vom geschlossenen Vertrag	Keine Kosten	Keine Kosten
Störungspotential	1,5km (getestet)	Bis zu 35km	1,5km (laut Hersteller)	3km (getestet)
Sendeleistung	Sehr hoch ⁴³	Nicht zu erwarten ⁴⁴	Keine, da eine exklusive Frequenz verwendet wird.	Hoch ⁴⁵
	10mW/100mW	Bis zu 2W	1W	Bis 200mW

Tabelle 5.1: Vergleich der getesteten Funklösungen

5.3.2.1 DFM10 / DFM868 - 433MHz

Die ISM-Bänder, die unter der Bezeichnung 433MHz und 868MHz vielfältig Einzug in den Industriebetrieb gefunden haben, wurden im Rahmen der Prototypenrealisierung als Funkübertragungsband ausgewählt. Aufgrund der guten Zusammenarbeit in früheren Projekten [174] bestand Kontakt zur Firma Digades GmbH. Aus dem Produktportfolio der Firma wurden die OEM-Funkmodule DFM10 [170] und DFM868 [175] ausgewählt. Das DFM10 arbeitet im 433MHz Band, das DFM868 im 868MHz Band. Beide Module werden über die serielle RS232-Schnittstelle angesprochen. Die Daten werden von den Modulen gepuffert und nach Sendung des ETX (03H) - Zeichens übertragen. Dabei wird von den Modulen eine automatische CRC-Prüfung vorgenommen. Für die Übertragung sind im 433MHz Band 28 Kanäle und im 868MHz Band neun Kanäle nutzbar. Die Umschaltung zwischen den Kanälen wird über eine Steuersequenz vorgenommen. Die Sequenz wird über die serielle Anbindung an die Module gesendet. Das hat den Nachteil, dass der zu sendende Datenstrom nach der Steuersequenz zu filtern ist, da sonst versehentlich der Kanal verstellt werden könnte. Die bei der Nutzung der Frequenzbänder zu beachtenden Duty Cycle werden nicht von den Modulen überwacht und müssen daher von der Anwendersoftware kontrolliert werden. Die Datenrate über die Funkstrecke ist bei beiden Modulen auf 4800Baud begrenzt. Der Vorteil beim Einsatz der Module ist die schnelle und einfache Verfügbarkeit einer stabilen Funkvernetzung. Die begrenzte Datenrate und die Störanfälligkeit bei gleichzeitig ungenügender maximaler Reichweite führen aber letztendlich dazu, dass diese Funklösung nicht für den endgültigen Prototypeneinsatz verwendet wurde.

5.3.2.2 Siemens MT20 - GSM

Zu Beginn des Projektes „Mobile Technik“ wurde die Realisierung der Steuerungskonzepte mit Hardware der Firma Siemens in Betracht gezogen. Speziell wurde dafür die RMC [175] Baureihe ausgewählt. In Kapitel 5.3 ist die Teilrealisierung mit dem RMC-System beschrieben. Die GSM-Verbindung wurde im RMC-System mit Siemens M20-Modulen verwirklicht. Nach Abschluss der Versuche mit dem RMC standen die M20-Module weiterhin zur Verfügung. Die Module verfügen über eine Standard RS232-Schnittstelle und können über AT-Kommandos verwendet werden. Der Auf- und Abbau von Verbindungen wird selbstständig durch das Modul erledigt und muss nur durch die entsprechenden Kommandos angestoßen werden. Die Implementierung der entsprechenden Anbindung und die Anpassung an die AT-Kommandos ließen sich daher problemlos realisieren. Der einfachen Handhabung standen die konzeptionellen Schwierigkeiten entgegen, die bereits im Kapitel 5.3 erwähnt wurden. Letztendlich lassen sich die GSM-Module eher als ergänzende Lösung integrieren, da der damit verbundene Aufwand nur gering ist. Falls die Netzabdeckung gegeben ist, kann mit den GSM-Modulen ein redundantes Notfallübertragungssystem eingerichtet werden, das bei Ausfall der primären Funklösung in Gang gesetzt werden kann. Für einen kurzzeitigen

³⁷Es werden weltweit verschiedene Frequenzbänder genutzt. Es existieren aber Geräte, die bis zu vier der verbreitetsten Frequenzen automatisch erkennen und nutzen können.

³⁸Es wird weltweit ein Frequenzband genutzt, allerdings sind die definierten Kanäle innerhalb des Frequenzbandes zwischen verschiedenen Ländern unterschiedlich.

³⁹Die Frequenzbereiche innerhalb des 433MHz bzw. 868MHz-Bandes mit einer zulässigen Sendeleistung von 500mW sind genehmigungspflichtig und müssen vom Nutzer beantragt werden.

⁴⁰Es ist zu untersuchen, ob im geplanten Einsatzgebiet die Abdeckung durch den gewählten Provider sichergestellt wird. Besonders in entlegenen, dünn besiedelten Regionen ist eine flächendeckende Funkversorgung nur selten gewährleistet.

⁴¹Die Infrastrukturkosten werden durch den Provider getragen.

⁴²Im Paket mit dem Abschluß eines Vertrages übernimmt der Provider einen Teil der Gerätekosten. Der Umfang der Kostenübernahme richtet sich nach den Parametern des abgeschlossenen Vertrages.

⁴³Durch die weite Verbreitung von ISM Anwendungen ist die Gefahr von Störungen durch Dritte relativ hoch.

⁴⁴Einzig bei sehr starker Belegung kommen GSM Systeme an ihre Grenzen und werden störanfällig.

⁴⁵Die zunehmende Verbreitung von WLAN und Bluetooth Produkten führt auch in diesem Frequenzband zur Vergrößerung der Störwahrscheinlichkeit, allerdings sind die Protokolle hinsichtlich des Störverhaltens optimiert.

Notbetrieb lassen sich auch die anfallenden Verbindungskosten tragen.

5.3.2.3 Theimeg - Betriebsfunk

Das Funksystem der Firma Cattron-Theimeg Europe GmbH & Co. KG wird seit Jahren erfolgreich, auch in sicherheitsrelevanten Bereichen eingesetzt. Für eine Testrealisierung stellte die Firma Theimeg dem Institut für Automatisierungstechnik, die in Abbildung 5.5 grau dargestellten Geräte leihweise zur Verfügung. Der Aufbau bestand aus einem mobilen Funkterminal MFT 8260, einer ortsfesten Funkeinheit und dem Datenfunkkonzentrator 8008 der an den PC angeschlossen wurde. Das mobile Funkterminal MFT 8260 verfügt über ein Display und eine Folientastatur sowie serielle Schnittstellen. Die Bedienung erfolgt über Masken, die am PC zusammengestellt, konfiguriert und anschließend an das mobile Terminal gesendet werden. Diese Mechanismen werden durch das Theimeg Betriebssystem koordiniert. Die große Flexibilität dieser Lösung kann schon nach kurzer Einarbeitungszeit genutzt werden. Für den Dauerbetrieb der Funklösung ist eine Lizenz für das 70cm-Band nötig.

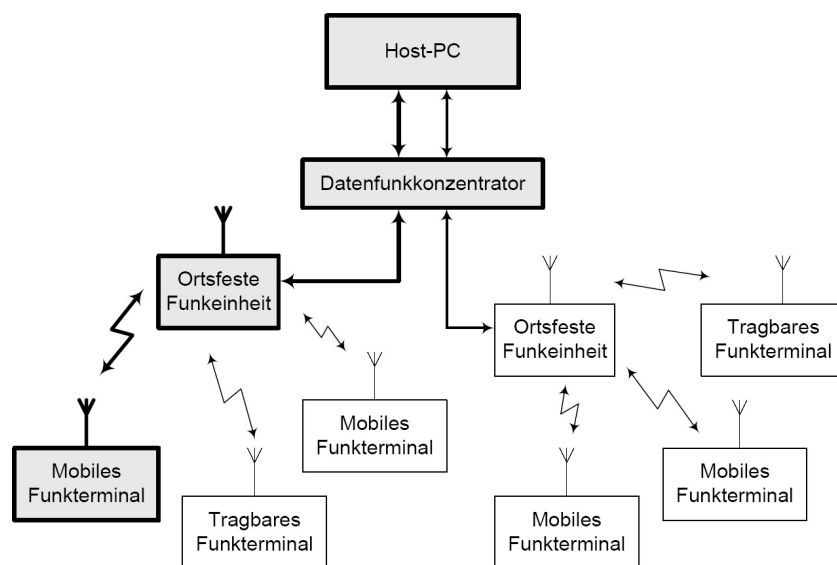


Abbildung 5.5: Prinzipieller und realisierter Aufbau eines Theimeg-Funksystems

Der Vorteil des Theimeg Systems ist die jahrelang erprobte und sehr robuste Hard- und Software, die allerdings deutlich teurer als alle anderen betrachteten Funklösungen ist. Dafür ist, durch die Teilung in ortsfeste Funkeinheit und Datenfunkkonzentrator, eine zellulare Struktur leicht zu realisieren. Die 200 möglichen Funkterminals pro Frequenz sind für die geplante Anwendung ebenfalls ausreichend, als Flaschenhals stellt sich aber die geringe maximale Datenrate von 9600-Baud heraus. Die prognostizierte Reichweite von 1500m konnte durch die Versuche mit dem Testaufbau bestätigt werden. Aus technischer Sicht ließe sich die Theimeg Funklösung gut für das geplante System verwenden. Demgegenüber steht allerdings der hohe Preis für die Anschaffung der notwendigen Technik.

5.3.2.4 Aerocomm - 2,4 GHz

Der Wunsch nach Nutzung eines weltweit anmelde- und lizenzfreien Funkbandes führt schließlich zur Auswahl des 2,4 GHz Bandes. Für die Funkdatenübertragung im 2,4GHz Band wurden OEM-Module⁴⁶ der Firma Aerocomm verwendet. Die Module nutzen die FHSS Übertragungstechnik

⁴⁶Siehe dazu [176]

und zeichnen sich durch die spezielle Ausrichtung auf Erzielung großer Übertragungreichweiten aus. Aktuell sind die Module AC4424-100 mit 100mW Sendeleistung für den Einsatz in Europa und AC4424-200 mit 200mW Sendeleistung für den Einsatz im Rest der Welt vorgesehen. Die industrietauglichen Platinen wurden in ein eigenes Gehäuse, das auch die nötige Ansteuerungshardware⁴⁷ enthielt, integriert. Die Funkeinheit wird dabei von der Hardwarebox mit Strom versorgt. Die Stromversorgung und die Datenleitung wurden in einem Kabel verwirklicht, um die Kabelanzahl gering zu halten. Die Kommunikation mit dem Funkmodul wird vom Microcontroller oder vom PC aus über die serielle Schnittstelle abgewickelt. Es wird dabei zwischen Daten- und Steuerinformationen unterschieden. Die Unterscheidung wird durch die Nutzung der RTS Leitung der seriellen Schnittstelle ermöglicht. Steuerbefehle werden nur akzeptiert, wenn RTS auf Low gesetzt ist. Bei RTS High werden die am Funkmodul ankommenden Daten an die Zieladresse gesendet. Für die Konfiguration der Module per PC wird vom Hersteller eine Software mitgeliefert. Mit „AC4424 Configuration/Test Utility“ kann der interne EPROM des Funkmoduls ausgelesen werden. Darüber hinaus kann die Geschwindigkeit der seriellen Kommunikation eingestellt werden. Im Prototypenbetrieb wurden alle Geschwindigkeiten auf 9600Baud festgelegt, um Inkompatibilitäten zu vermeiden. Insgesamt wurden fünf Funkmodule verwendet. Zwei Module aus einem Developer-Kit⁴⁸ und drei OEM-Module. Die drei OEM-Module wurden in jeweils ein Gehäuse integriert und einer MT02-Box zugeordnet. Die beiden Developer-Kit Module wurden für den Serverbetrieb umgerüstet, dabei wurde ein Modul mit einer geänderten Spannungsversorgung ausgestattet, um es für den mobilen Servereinsatz verwenden zu können. Das Servermodul wird im Broadcastmodus betrieben. Die Zieladresse der mobilen Funkeinheiten ist auf den Server eingestellt und kann dynamisch geändert werden⁴⁹. Die Vorteile der Aerocomm Lösung liegen bei der großen möglichen Reichweite bei gleichzeitig hoher Übertragungsrates. Durch die Standardisierung ist es möglich, ein Funksystem ohne Änderungen⁵⁰ weltweit einzusetzen. Damit entfallen teure länderspezifische Anpassungen. Die Ansteuerung der Module über die serielle Schnittstelle ist durch die Nutzung der RTS Leitung elegant gelöst und verursacht im Gegensatz zu den 433MHz Modulen keinen zusätzlichen Filteraufwand. Zu beachten ist, dass eine Störung in der Fresnelzone einen deutlichen Einbruch in den erzielbaren Reichweiten bewirkt. Daher ist für den Einsatz ein möglichst freies Sichtfeld notwendig. Da aber das Einsatzgebiet nur wenig bebaut ist und das Gelände eine definierte Form hat, kann bei entsprechender Standortplanung der Server die Funkabdeckung optimiert werden.

5.3.3 Datenverarbeitung, Datenvisualisierung/-archivierung

Die Datenverarbeitung, Datenvisualisierung und -archivierung wurde im Rahmen der Bakkalaureusarbeit von Herrn Henschel realisiert [164] und soll daher hier nur kurz der Vollständigkeit halber angerissen werden. Die Datenverarbeitung, der per Funksystem empfangenen Daten, wurde als komplettes Modul programmiert. Das Modul steuert die zyklische Abfrage der mobilen Einheiten, transformiert die Positionsdaten und korrigiert die barometrisch gemessenen Höhenwerte. Die verarbeiteten Daten werden als SQL-Anweisungen vom Modul ausgegeben⁵¹. Diese Daten können von beliebigen SQL-fähigen Datenbanken gespeichert werden. Das Visualisierungsmodul setzt auf die SQL-Daten auf. Die Visualisierung der Positions- und Messdaten unterteilt sich in zwei wesentliche Einheiten, das Kartenfenster und die Messdatenanzeige. Die Überwachung und Beeinflussung der mobilen Technik wird im Kartenfenster vorgenommen. Es werden die Positionen und Routen

⁴⁷Die Ansteuerungsplatine setzt die Signale der RS232 für das Modul um.

⁴⁸In diesem Kit waren zwei Module und jeweils eine Ansteuerungsplatine enthalten.

⁴⁹Wichtig bei einem Wechsel zwischen Funkzellen, da die einzelnen Server auf unterschiedlichen Frequenzen betrieben werden.

⁵⁰Abgesehen von den unterschiedlichen zulässigen Sendeleistungen.

⁵¹Um den Rahmen der Arbeit nicht zu sprengen, wurde auf die Einbindung spezieller Datenbanken verzichtet.

der mobilen Einheiten angezeigt, die Anweisungen an den Bediener generiert und die Alarmmeldungen quittiert. Die aktuelle und eine Anzahl vorheriger Positionen wird auf der Karte dargestellt. Neben dem Fahrzeug wird darüber hinaus die aktuelle Höhenkoordinate angezeigt. Die Anzeige der Messdaten ist mit dem Fahrzeug gekoppelt, das gerade ausgewählt wurde. Abhängig vom Gerättyp des Fahrzeuges und der aktuell ausgewählten Kategorie existieren unterschiedliche Darstellungsformen. Die Konfiguration der Messdatendarstellung erfolgt über eine Datenbanktabelle. Die Position und Instrumenttyp der Anzeigeelemente werden aus der Datenbank gelesen. Das erlaubt eine leichte Anpassung der Darstellung an Nutzervorgaben. Bei der zyklischen Aktualisierung wird zu jedem Sensor der letzte Messwert angezeigt.

6 Experimente

6.1 Experimente zur Optimierung des Kommunikationssystems

6.1.1 DFM10 / DFM868

Reichweitentests mit zwei Modulen Die OEM-Funkmodule DFM10 und DFM868 der Firma Digades GmbH sind für den Einsatz in den ISM-Bändern 433MHz und 868MHz vorgesehen. Bei den Versuchen wurden die anmelde- und lizenzfreien Bereiche dieser Funkbänder benutzt. Die ersten Versuche bildeten Reichweitentests. Dafür wurden die Module mit einem Siemens SAB-C167 Microcontroller verbunden, der einen Datenstrom generierte und die empfangenen Daten auf einem Display darstellte. Da die Module nicht über ein RSSI verfügten, konnte nur bestimmt werden, ob eine Verbindung zustande kam oder nicht. Über die Güte der Verbindung konnte keine Aussage getroffen werden.

Kompatibilitätstests mit vier Modulen Neben den Reichweitentests wurde das Verhalten der Module in heterogener Umgebung getestet. Dazu wurden mehrere Module in den Räumen des Institutes für Automatisierungstechnik aufgebaut. Die Module wurden jeweils an einen Rechner angeschlossen, der den empfangenen Datenverkehr aufzeichnete und auch das Senden von Daten erlaubte. Dazu konnte über das Rechnernetzwerk ein entsprechender Befehl an den jeweiligen Rechner¹ gesendet werden. Über diese Versuchsanordnung war es möglich, verschiedene Sender- und Empfängerkombinationen zu realisieren. Es zeigte sich schnell, dass gleichzeitiges Senden, auch auf verschiedenen Kanälen, einen stark störenden Einfluss hatte. Der Broadcastbetrieb der Module erlaubte den schnellen Aufbau einer Funkinfrastruktur, die allerdings für einen effektiven Betrieb zusätzlich eine Verwaltung der Sendeberechtigungen und -zeiten zum störungsfreien Betrieb benötigte.

Fazit Die Versuche lieferten als Ergebnis, dass das Geländeprofil einen starken Einfluss auf die erzielbare Reichweite besitzt. Es ist daher nicht möglich eine exakte erzielbare Reichweite anzugeben. Die Bandbreite der ermittelten Reichweiten lag zwischen 150m und 1000m. Die Funklösung erwies sich als relativ unempfindlich gegenüber kleinen Hindernissen in der Fresnelzone. Die unterschiedlichen Sendefrequenzen (433MHz und 868MHz) lieferten keine unterschiedliche Reichweite. Die Ursache liegt darin, dass das DFM868 mit einer höheren Sendeleistung arbeitet und so die Nachteile der höheren Frequenz wieder ausgleicht. Insgesamt bestanden keine Unterschiede in der Bedienung und Nutzung zwischen den Modulbaureihen. Für einen möglichen Einsatz ist das DFM868 zu nutzen, da bei vergleichbaren sonstigen Eigenschaften das 868MHz Frequenzband gegenüber dem 433MHz Band weniger genutzt und damit weniger durch Fremdeinflüsse gestört wird. Die Anzahl möglicher Teilnehmer ist durch die geringe Datenübertragungsrate begrenzt. Bei den Versuchen zeigte sich auch, dass Module, die auf anderen Kanälen des Frequenzbandes sendeten, einen starken Störeinfluss auf die Module ausübten. Ein Dauersender auf einem der Kanäle konnte so die gesamte Kommunikation zwischen den Modulen verhindern. Negativ fiel darüber hinaus auf, dass die Klartextübertragung von Dritten ohne Schwierigkeiten verfolgt werden konnte.

¹In der Realisierung wurde dazu ein PHP-Webserver verwendet, der, die an der seriellen Schnittstelle angeschlossenen, Module mit Daten versorgte.

6.1.2 Siemens MT20 - GSM

Im Lieferumfang des RMC Systems der Firma Siemens befanden sich MT20-Module. Diese Geräte sind für den Einsatz in der Leitzentrale vorgesehen. Die Module beinhalten eine GSM-Einheit und einen seriellen Anschluss. Über den seriellen Anschluss können die Geräte von einem PC per AT-Kommandos gesteuert werden. Normalerweise übernimmt die entsprechende WinCC Anwendung die Steuerung dieser Module, für Versuchszwecke können die Module auch als „standalone“ Lösung eingesetzt werden. Der Anschluss und die Ansteuerung der Module für Versuchszwecke bereitet keine Probleme. Die Reichweite dieser GSM-basierten Funklösung musste nicht bestimmt werden, da durch die Netzinfrastruktur die Reichweite vorgegeben wird. Überall dort wo eine ausreichende Netzabdeckung gegeben ist, kann auch eine Kommunikationsverbindung zwischen den Modulen aufgebaut werden. Die Tests beschränkten sich daher auf das Handling der Module. Dabei zeigte sich, dass die AT-Kommandos ein mächtiges Werkzeug darstellen und alle Anforderungen bezüglich Flexibilität und Funktionsumfang erfüllen. Der Aufbau einer Verbindung dauerte hingegen je nach Versuch unterschiedlich lang. Dabei traten durchaus auch Zeiten von mehreren Sekunden auf. Für zeitkritische Anwendungen kann dieser unbekannte Zeitfaktor beseitigt werden, indem eine dauerhafte Verbindung bestehen bleibt. Allerdings belegt dieses Vorgehen die Module, so dass keine weiteren Klienten mit diesen Modulen betrieben werden können². Der größte Nachteil ist aber, dass die dauerhafte Verbindung ständig Kosten verursacht. Die MT20-Module sind reine GSM-Module und damit entfällt die Möglichkeit, wie bei GPRS Modellen möglich, eine Abrechnung nach der übertragenen Datenmenge vorzunehmen. Insgesamt ist mit den MT20-Modulen eine sehr einfache und schnelle Vernetzung möglich, die allerdings anmelde- und gebührenpflichtig ist.

6.1.3 Theimeg - Bündelfunk

Reichweitentest mit dem Theimeg-System Mit den von Theimeg zur Verfügung gestellten Geräten wurde ein Testaufbau realisiert. Die mobile Funkeinheit MFT8260 wurde zusammen mit der nötigen Stromversorgung in Form eines KFZ-Akkumulators auf eine mobile Plattform installiert. Die ortsfeste Funkeinheit und der Datenfunkkonzentrator wurden an einen PC angeschlossen und mit einem Testprogramm gestartet. Dieses Testprogramm sendet in definierten Intervallen Telegramme an die mobile Einheit und analysiert die Antworttelegramme. Die mobile Plattform wurde auf dem Gelände der Bergakademie Freiberg bewegt. Die Daten des Testprogramms zeigten dabei für alle Messpunkte stabilere Verbindungen mit dem Theimeg System, als die, mit der 433-MHz Technik unter gleichen Rahmenbedingungen realisierten, Verbindungen. Bei den Tests konnte unter optimalen Bedingungen eine Reichweite von 1500m, wie vom Hersteller angegeben, bestätigt werden. Die stabilere Verbindung und die größere Reichweite resultiert aus der verwendeten Funkfrequenz im 70cm-Band, die anmeldepflichtig ist. Durch die Anmeldepflicht und die damit einhergehende Regulierung der Frequenzbereiche durch die RegTP sind Störungen durch Dritte nahezu auszuschließen. Dieser Vorteil ist aber zugleich im Hinblick auf das spätere Einsatzgebiet der begrenzende Faktor. Da das 70-cm Band nicht weltweit einheitlich standardisiert ist, müsste für jedes Einsatzland eine gesonderte Zulassung (sofern überhaupt möglich) beantragt werden. Ein Vorteil aus technischer Sicht im Vergleich zum 433 MHz Band ist die größere zugelassene Sendeleistung³.

Tests zum Update der Masken Neben den Tests der rein physikalischen Parameter des Funksystems wurde auch das Handling experimentell untersucht. Das Funksystem arbeitet mit Masken für die Anzeige von Daten auf den mobilen Einheiten. Diese Masken werden von der zentralen Einheit

²Aus diesem Grund ist im RMC System für Alarmmeldungen ein zusätzliches Funkmodul vorgesehen, um zu verhindern, dass ein Alarm aufgrund einer besetzten Verbindung nicht an den Leitstand gemeldet werden kann.

³Bei den verwendeten Geräten bis zu 300mW HF-Ausgangsleistung, international bis zu 1W [177]

an die mobilen Geräte verschickt, vor Ort interpretiert und mit den jeweiligen individuellen Möglichkeiten dargestellt. Die Gestaltung eigener Masken konnte dabei leider nicht getestet werden, da die geliehenen Geräte diese Funktionalität nicht zuließen. Von Theimeg wurde aber bestätigt, dass entsprechend freigeschaltete Geräte verfügbar wären. Die Tests beschränkten sich auf die Nutzung von vorhandenen Masken. Es wurden verschiedene Anwendungsszenarien nachgestellt. Selbst bei einer Unterbrechung der Funkübertragung während der Maskenübermittlung funktioniert das System mit einer Art Fallback-Mechanismus einwandfrei. Die fehlerhaft übertragenen Masken wurden bei erneuter Funkverbindung selbstständig mit übertragen. In der Zwischenzeit wurden lokal vorhandene Hilfsmasken als Überbrückung dargestellt. Die Testanlage verfügte über einen nicht dokumentierten internen Puffer. Bestimmte Datenpakete wurden immer erst nach der Eingabe einer größeren Anzahl von Zeichen verschickt. Eine Nutzung für zeitkritische Übertragungen konnte damit nicht sichergestellt werden, da keine maximale Übertragungszeit aufgrund der Verzögerung durch den Puffer angegeben werden konnte.

Fazit Der Vorteil dieser Funklösung liegt in der Robustheit und Ausgereiftheit des Gesamtsystems. Die jahrelange Einsatzpraxis hat ein durchdachtes Produkt entstehen lassen, dass alle Anforderungen erfüllt. Von Nachteil ist jedoch die Verwendung einer anmeldepflichtigen Funkfrequenz. Die dabei anfallenden jährlichen Kosten für die einzelnen Geräte ließen sich tragen, schwerer wiegen die Probleme, die bei einem weltweiten Einsatz mit den unterschiedlichsten Zulassungsbedingungen unweigerlich auftreten würden. Neben der Zulassungssituation erscheint die Nutzung des Systems für zeitnahe Onlinezugriffe schwierig, da der interne Puffer ein variables Totzeitglied darstellt. Die Versuche das Theimegsystem mit dem RMC-System zu kombinieren, um die GSM-Funklösung des RMC zu ersetzen, scheiterten aufgrund der fehlenden Schnittstellen beider Systeme. Das Theimegsystem bietet als einzige frei verwendbare Schnittstelle die 3964R⁴ an. Nach Aussage von Siemens⁵ ist die Ankopplung eines anderen Funksystems mit der vorhandenen Software nicht möglich. Die Entwicklung einer offenen Betriebssystemvariante wurde Ende 2001 eingestellt. Damit entfiel die Möglichkeit das RMC und das Theimegsystem zu koppeln und so ein System zu schaffen, das keine externe Funkinfrastruktur benötigte und daher für einen weltweiten Einsatz⁶ prädestiniert wäre.

6.1.4 AeroComm

Die Funklösung der amerikanischen Firma AeroComm für den Betrieb im 2,4 GHz-Band wurde in Form eines Developer Kits und drei OEM-Modulen für Testszwecke eingesetzt. Das Developer Kit bestand aus zwei Funkmodulen mit Anschaltplatine und Spannungsversorgung. In einer ersten Testphase wurden die kompletten Module jeweils an einen PC angeschlossen und mit der mitgelieferten AeroComm Software betrieben. Dabei wurden sowohl der normale Übertragungs- als auch der Konfigurationsmodus ausgiebig getestet. Im zweiten Schritt wurde das Funksystem an ein Mikrokontrollerboard angeschlossen und ein vom Mikrokontroller generierter Datenstrom zum stationären PC übertragen. Dabei zeigte sich, dass die Funklösung in der Anlaufphase relativ leicht den korrekten Ablauf verließ, wenn zum falschen Zeitpunkt ein Telegramm übertragen wurde. Dieses Verhalten trat insbesondere dann auf, wenn ein Modul als Server im Broadcastmodus funkte und das zweite Modul als Klient mit direkter Adressierung arbeitete. Da diese Konfiguration genau der späteren Einsatzcharakteristik entsprach, wurde ein Anlaufsszenario entworfen und getestet, das die Schwierigkeiten umging. Dazu ist es wichtig, dass zuerst die Klienten in Betrieb genommen werden und sichergestellt ist, dass sie nicht senden. Danach kann der Server gestartet werden und eine erste Broadcastmeldung absetzen. Anschließend ist das System hochgefahren und kann problemlos genutzt werden.

⁴3964R ist ein von Siemens entwickeltes Protokoll zur seriellen Punkt-zu-Punkt Kopplung mit einer SPS [178]

⁵Telefonate vom 09.07.2001 mit dem Siemensvertrieb.

⁶Immer unter Beachtung der möglicherweise schwierigen Zulassungsbedingungen in einigen Ländern.

Reichweitentest auf dem Gelände der Bergakademie Freiberg Nach der ersten Erprobung der Funkmodule konnte auf die Nutzung der AeroComm Software verzichtet werden. Mit einer am Institut entwickelten Software war es möglich jeden Parameter des Funkmoduls einzeln zu beeinflussen. In verschiedenen Versuchen wurde die Reichweite der AeroComm Funklösung getestet. Dabei wurde genau wie bei den Reichweitentest mit den anderen Funksystemen vorgegangen. Es zeigte sich, dass mit der Funklösung eine deutlich größere Reichweite als mit allen bisher getesteten Systemen zu erzielen war, allerdings reagierte das System deutlich stärker auf Hindernisse und Störungen im Funkfeld. Besonders Hindernisse, die nahe am Sender postiert waren, führten zu einer häufigen Unterbrechung der Verbindungen. Die Abschirmung durch Gebäudeteile machte sich durch eine drastische Reichweitenreduzierung bemerkbar. Im Hinblick auf das spätere Einsatzgebiet waren die Ergebnisse aber nicht entmutigend, da auch in Tagebauen und Minen von geringer Bebauung ausgegangen werden kann.

Reichweitentest in Freiberg, im Ortsteil Zug Da die räumlichen Möglichkeiten für Tests auf dem Gelände der Bergakademie Freiberg begrenzt waren, wurden weitere Reichweitentests in Freiberg, Ortsteil Zug durchgeführt. Dazu wurde der Sender auf einem erhöhten Standort angebracht, um dem späteren Einsatzparametern nahe zu kommen. Mit der mobilen Einheit wurde das Gelände um den Senderstandort abgefahren und an verschiedenen Positionen wurde eine Verbindung zum Server aufgebaut. Durch die örtlichen Gegebenheiten bedingt, konnten nicht alle wichtig erscheinenden Punkte ausgetestet werden. Es zeigte sich aber, dass mit dem Funksystem große Reichweiten erzielbar sind. Die maximale Entfernung bis zum Server, die einen erfolgreichen Verbindungsaufbau zuließ, betrug über 3000m. Es zeigte sich aber auch bei diesen Tests, dass Hindernisse, sowohl in Form von Gebäuden als auch in Form von Bäumen, einen starken negativen Einfluss auf die Funkreichweite besitzen.

Fazit Die Funklösung von AeroComm stellt die beste der getesteten Funklösungen dar. Die Reichweite des Systems ist abgesehen von der GSM Lösung, die aufgrund von konzeptionellen Gründen keine Verwendung finden kann, die größte der verglichenen Systeme. Ebenso setzt die Störsicherheit und Fehlerkorrektur neue Maßstäbe. Die Empfindlichkeit gegenüber Hindernissen im Funkfeld kann mit Blick auf die Einsatzforderungen als gerade noch tragbar aufgenommen werden. Es ist jedoch notwendig, vor Einsatz eines Systems auf Basis der AeroComm Funklösung, die Reichweitenabdeckung am Einsatzort zu testen, da keine verbindliche Aussage zu möglichen Reichweiten getroffen werden kann. Die genaue Ausdehnung der Funkzellen lässt sich nur zusammen mit den örtlichen Gegebenheiten ermitteln und gegebenenfalls durch Umorganisation der Funktionszellen und der Serverstandorte verbessern.

6.2 Experimente zur Positionsbestimmung

6.2.1 GPS-Einsatz

Die im Konzept festgelegte Positionsbestimmung per GPS wurde mit OEM-GPS-Modulen der Firma Falcom realisiert. Die Module wurden mit einem PC über die serielle Schnittstelle verbunden. Dabei waren die Module so konfiguriert, dass sie über das NMEA-Protokoll mit 1Hz Positionsdaten an den PC sendeten. Die zu den Modulen gelieferte aktive KFZ-GPS-Antenne wurde über eine Stab-Konstruktion ein Meter außerhalb eines Zimmers des Instituts für Automatisierungstechnik platziert. Dieser Aufbau wurde als Dauermessung mehrere Tage lang betrieben. Aufgrund der Satellitenbewegung ergibt sich auch bei einem stationären Empfänger eine ständige Veränderung der Verteilung der Satelliten am Himmel (Satellitengeometrie). Diese Veränderung bewirkt eine Schwankung der Genauigkeit der Positionsbestimmung. Erschwerend kam bei diesem Versuchsauf-

bau die Tatsache hinzu, dass, durch die Positionierung der Antenne nur knapp vor dem Gebäude, der halbe Horizont aus Empfängersicht durch das Gebäude selbst verdeckt war. Damit wurde die Anzahl der empfangbaren Satelliten reduziert und die geometrische Verteilung der empfangbaren Signale ungünstig beeinflusst. Es zeigte sich, dass die Positionsbestimmung für die Zeiträume in denen nur wenige Satelliten verfügbar waren, deutlich⁷ größere Positionsabweichungen generierte. Um die Empfangssituation als Ursache für die großen Abweichungen sicher belegen zu können, wurde für den nächsten Dauerversuch ein Standort gesucht, der einen umfassenden freien Zugang zum Himmel gestattete. Letztendlich wurde der Versuchsaufbau auf dem Dach eines Hauses in Freiberg, Ortsteil Zug, demselben Standort der auch für die Reichweitentests benutzt wurde, platziert. Eine erste 72h Dauermessung lieferte bezüglich der Empfangssituation und der zeitlichen Stabilität hervorragende Werte. Aufgrund eines Fehlers im System der Messwertübertragung wurden aber unkorrekte Werte für die Position selbst ermittelt. Das führte dazu, dass im Ergebnis eine Schwankung der Position über den gesamten Messzeitraum von wenigen Zentimetern ermittelt wurde. Ein erneuter Versuch mit korrigiertem System lieferte eine Positionsgenauigkeit in der x-y-Ebene von $\pm 10m$ für 98% der Messwerte. Durch den Einsatz von aktiven Antennen der Firma Trimble, die auch für den Einsatz im industriellen Umfeld besser geeignet sind, konnte die Genauigkeit sogar auf $\pm 5m$ für 98% der Messwerte gesteigert werden. Im Gegensatz zu den horizontalen Messwerten schwankten die errechneten Höhenwerte um $\pm 20m$. Diese Genauigkeit entsprach damit nicht den Anforderungen, die durch das Konzept gestellt wurden.

6.2.2 Barometermessungen

Aufgrund der unzureichenden Höhenpräzision des GPS-Empfängers wurde eine barometrische Höhenbestimmung im Konzept vorgesehen. Für die Testreihen wurde eine Platine mit einem digitalen Barometermodul der Firma Intersema Sensoric aufgebaut. Das Modul arbeitet mit piezoresistiven Effekt und besitzt darüber hinaus einen integrierten AD-Wandler. Die Auflösung des Messmoduls beträgt 0,1mbar. Damit ist auf Meereshöhe eine maximale theoretische Höhenauflösung von etwa 1m erzielbar. Für die Messungen wurde das Barometermodul mit einem Microcontroller verbunden, der die Temperaturkompensation und die Höhenumrechnung durchführte. Insgesamt wurde eine Höhenmessung pro Sekunde⁸ durchgeführt. Die sechs Tage währende Dauermessung mit einem Barometer zeigte, dass der Höhenfehler durch Druckänderungen, aufgrund von Wettereinflüssen, jegliche Druckänderung durch eine Positionsänderung deutlich überlagern. Innerhalb der Dauermessung traten durch die Wettereinflüsse Höhenänderungen von $\pm 100m$ auf. Diese Änderungen treten nicht plötzlich auf sondern gehen mit der Entwicklung des Wetters einher. Für die Korrektur der Wettereinflüsse ist im Konzept eine Referenzstation vorgesehen. Aus diesem Grund wurde die nächste Dauermessung mit zwei Barometermodulen durchgeführt. Es wurde nicht mehr der absolute Wert als Kriterium bestimmt, sondern die Differenz zwischen den Modulen. Die 24h Messung zeigte eine maximale Abweichung zwischen den beiden Modulen von $\pm 10m$. Diese Differenz ergibt sich aus den Eigenschaften der Module, die ein großes zufälliges Rauschen zeigen. Zwei unmittelbar aufeinander folgende Messungen mit einem Barometermodul ergeben deutlich unterschiedliche Messwerte, so dass der Hersteller eine gleitende Mittelwertbildung vorschlägt. Mit einer implementierten Mittelwertbildung⁹ wurde eine weitere sechs Tage Dauermessung durchgeführt. Dabei betrug die maximale Abweichung zwischen den Modulen $\pm 7m$. Um eine Aussage zum Einfluss des späteren Einbaus treffen zu können, wurde ein Modul in das endgültige Gehäuse eingebaut und ein Modul wurde ohne Gehäuse betrieben. Als Ergebnis der drei Tage Dauermessung ergab sich, dass das geschlossene Gehäuse eine verzögerte Reaktion auf Druckschwankungen bewirkte. Als

⁷ Abweichungen von $\pm 100m$ waren dabei keine Seltenheit.

⁸ Dieser Wert wurde verwendet, um die gleiche Messhäufigkeit wie das GPS-System, das mit 1Hz arbeitet, zu erreichen.

⁹ Der „Low Pass Factor“ betrug für diese Messung 0,2.

Konsequenz davon sollte die Referenzstation in ein ähnliches Gehäuse eingesetzt werden, wie die mobilen Barometer, um eine Verfälschung der Höhenbestimmung zu vermeiden. Um den Einfluss des Rauschens der Module zu verringern, wurde eine stärkere Filterung vorgesehen. Damit die Dynamik der Höhenmessung nicht unter dieser Maßnahme leidet wurde der Messtakt verzehnfacht. Das bedeutet, dass alle 100ms ein Druckwert ermittelt wurde. Die aufwändige Berechnung der Höhenwerte aus den Druckwerten wurde weiterhin nur einmal pro Sekunde mit dem gemittelten Druckwert durchgeführt. Die 24 Stunden Dauermessung mit dem erhöhten Messtakt ergab eine Abweichung der Höhenwerte von $\pm 2m$. Um das Rauschen der Module weiter zu verringern, empfiehlt der Hersteller die Nutzung einer sehr stabilen Spannungsversorgung für die Module. Für das Referenzbarometer ist das sicherlich technisch kein Problem. Im mobilen Einsatz allerdings ist eine stabile Referenzspannung nur durch erhebliche zusätzlichen Kosten und einen größeren Raumaufwand zu erreichen. Der mögliche Nutzen steht dabei in keinem Verhältnis zu den zu erwartenden Kosten.

6.3 Experimentelle Untersuchungen zur Zeitsynchronisierung

Für die experimentellen Untersuchungen zur Zeitsynchronisierung wurden zwei Falcom JP3-GPS-Module über die seriellen Schnittstellen an einen PC angeschlossen. Die GPS-Module wurden so konfiguriert, dass sie einen GGA-String nach dem NMEA-0183 Protokoll über die serielle Schnittstelle mit 1Hz ausgaben. Im GGA-String ist die GPS-Systemzeit im Klartext enthalten. Der GPS-Empfänger synchronisiert sich auf die GPS-Systemzeit mit einer Abweichung von unter einer μs . Im GGA-String wird die Zeit auf Millisekunden genau angegeben. Die Zeitangabe im GGA-String entspricht dem Zeitpunkt der Generierung der Nachricht. Der Empfangszeitpunkt der Strings auf dem Rechner wurde durch einen Zeitstempel markiert. Die zeitliche Auflösung dieses Zeitstempels lag ebenfalls bei $1ms$. Eine höhere zeitliche Auflösung würde aufgrund der PC-Software Architektur (in diesem Falle ein Windows Betriebssystem ohne Echtzeiterweiterung) keine Genauigkeitssteigerung ermöglichen. Die Auswertung der Messung erfolgte über die Bestimmung der Differenz zwischen den Empfangszeitpunkten der beiden Module. Es zeigte sich, dass mit der gewählten zeitlichen Auflösung keine Schwankung in der Differenz der beiden Module nachgewiesen werden konnte. Die für das NMEA Protokoll der Falcom GPS-Module festgelegte Übertragungsrate von 4800Baud und die Eigenschaften des Windowssystems begrenzten die Aussagekraft dieser Versuche. Daraufhin wurde eine zweite Versuchsreihe gestartet. Da die Übertragung mit dem NMEA-Protokoll nur eine zeitliche Auflösung von $0,21ms^{10}$ erlaubt, wurde für die weiteren Versuche der PPS (Puls per second) Ausgang der Module benutzt. Über diesen Pin kann ein Signal mit 1Hz abgegriffen werden. Die Synchronität dieses Signals zur GPS-Zeit wird vom Hersteller mit $\pm 1\mu s$ angegeben. Die PPS-Ausgänge der beiden Signale wurden mit Eingängen eines M16C Microcontrollers verbunden. Die Programmierung des Microcontrollers wurde so gestaltet, dass eine steigende Flanke an einem der beiden Eingänge einen hochpriorigen Interrupt auslöste. Innerhalb der Interrupt-ServiceRoutine wurde der Stand eines laufenden Timers abgefragt und gespeichert. Die Differenz der beiden Empfangszeiten wurde anschließend per serieller Übertragung an einen PC gesendet.

Fazit Mit den zur Verfügung stehenden Geräten konnte die Synchronität zwischen zwei GPS-Empfängern nur unzureichend genau überprüft werden. Die Interrupt Response Time des Microcontrollers setzt sich zusammen aus der Zeit für den Abschluss der vorherigen Anweisung und der Ausführungszeit der Interrupt Sequenz. Die Interrupt Sequenz benötigt nach Datenblattangaben des Herstellers¹¹ zwischen 18 und 22 Maschinenzyklen. Zusammen mit der zeitlichen Charakteristik der Eingänge und der Abarbeitungszeit der Differenzbildung in der Interrupt-ServiceRoutine

¹⁰Bei 4800 Baud beträgt die Dauer eines Bits genau $0,2083ms$.

¹¹Siehe dazu [179]

ergab sich für einen mit 16MHz getakteten Microcontroller eine Verarbeitungszeit von mehr als $1\mu s$. Da aber eine Differenz zwischen den Eingängen gebildet wurde, kam nur die Schwankung dieser Verarbeitungszeiten zum tragen. Schwankungen entstehen aufgrund der Unterschiede der noch abzuarbeitenden Instruktionen. Insgesamt liegen die Schwankungen im Bereich von wenigen Maschinenzyklen und damit bei maximal $400ns$. Die Auflösung des internen Timers beträgt bei 16MHz 500.000 Schritte pro Sekunde. Damit kann die Differenz zwischen den beiden Empfängersignalen nur mit einer Auflösung von $2\mu s$ bestimmt werden. Daher konnte letztendlich keine messtechnische Überprüfung der Herstellerangabe bezüglich der Genauigkeit des PPS-Signals vorgenommen werden. Die Messungen zeigten, dass die Differenz der beiden Empfangszeitpunkte nur Schwankungen aufwies, die durch Effekte ¹² im Microcontroller erklären ließ und nicht durch eine Unsynchronität der GPS-Empfänger verursacht wurde.

6.4 Experimente mit dem System RMC der Firma Siemens

6.4.1 Stationärer Test auf dem Gelände der TU Bergakademie Freiberg

Der in Kapitel 5.2 beschriebene Testaufbau wurde am Institut für Automatisierungstechnik eingesetzt. Nach der erforderlichen Konfiguration der Bestandteile wurde das System in zwei getrennten Räumen aufgestellt. Das RMC wurde mit Testsignalen versorgt, die ein ABB-Leitsystem generierte. Damit konnte die Funktionalität der analogen und digitalen Eingänge getestet werden. Weiterhin wurde der integrierte Datenlogger mit diesen Testsignalen gefüllt und dann über das Basisleitsystem ausgelesen. Die Datenübertragung erfolgte über das T-D1 Mobilfunknetz. Auf dem Gelände der TU Bergakademie Freiberg war die Netzversorgung gut gewährleistet. Gelegentliche Verbindungsschwierigkeiten in das GSM-Netz konnte das Gesamtsystem überbrücken. Das RMC speicherte dabei die jeweiligen Daten zwischen und unterbrochene Datenübertragungen wurden vom Leitsystem erneut gestartet.

Fazit Das getestete Gesamtsystem eignet sich für Anwendungen in Gebieten mit guter GSM-Netzabdeckung. Besonders für Positions- und Alarmüberwachung lässt sich das System einsetzen. Für eine dauerhafte Maschinendatenüberwachung ist die verwendete kostenpflichtige (nach Zeittakt abgerechnete) Funktechnik nicht geeignet. Erst mit dem Einsatz von Mobilfunksystemen der dritten Generation, die volumenbezogen abgerechnet werden¹³, lässt sich eine solche Maschinenüberwachung effektiv durchführen. Das RMC-Gerät genügt mit seiner Auslegung auch härtesten industriellen Anforderungen. Die Software läuft stabil, allerdings sind die Informationen zu jeweiligen Fehlerursachen (keine Funkverbindung zum RMC-Gerät) prinzipbedingt sehr gering. Ein weiterer Kritikpunkt ist der umständliche Export von Mess- und Positionsdaten in andere Anwendungen.

6.4.2 Mobiler Test im Privatfahrzeug von Prof.P.Löber

Nach den erfolgreichen stationären Tests wurde das RMC in den Kofferraum des privaten PKW von Herrn Prof.P.Löber eingebaut. Dabei wurde das Gerät an das Boardnetz angeschlossen und zusätzlich mit einem Temperatursensor ausgerüstet. Über das Basisleitsystem konnte jederzeit die aktuelle Position und Temperatur im Fahrzeug ausgelesen werden. Die GPS und GSM Antennen wurden auf der Hutablage befestigt und hatten so mit geringstem Aufwand den bestmöglichen

¹²u.a. Auslösung des Interrupts zu verschiedenen Zeitpunkten der Befehlsabarbeitung.

¹³Mit GPRS in Ansätzen auch im GSM-Netz möglich.

Empfang. Insgesamt wurde das RMC über den Zeitraum:

Einsatzzeitraum: 01.03.2001 - 23.05.2001

im Fahrzeug betrieben und nach Ablauf der Versuche wieder ausgebaut und für den Einsatz im Tagebau Schleenhain vorbereitet.

Fazit Auch diesen erweiterten Test absolvierte das RMC-System ohne Schwierigkeiten. Der Betrieb im öffentlichen Verkehrsraum wurde durch die gute Funknetzabdeckung erleichtert. Es gab nur minimale Schwierigkeiten beim Aufbau der Funkverbindung, die sich aber durch einfache Wiederholung der Anmeldeprozedur beheben ließen. Auch bei längeren Stillstandszeiten hatte das aktive RMC keinen negativen Einfluss auf die Fahrzeugbatterie. Die Auswertung der Positionsdaten zeigte aber, dass bei den Geschwindigkeiten, die auf Bundeslandstrassen gefahren werden, der Positionsabfragezyklus zu lang ist. Die Abfrage erfolgt nur alle 30 Sekunden. Dieser Zyklus ist fest programmiert und kann nicht verändert werden. Durch diesen langen Zyklus kann es vorkommen, dass die genau gefahrene Strecke nicht nachvollzogen werden kann, da in der Anwendung „Map & Guide“ die einzelnen Positionsmeldungen nur durch Geraden verbunden werden.

6.4.3 Einsatzprüfung des RMC-Systems im Tagebau Schleenhain

Für die weitere Prüfung der Einsatzfähigkeit des Systems wurde ein Feldversuch bei der Mitteldeutschen Braunkohlengesellschaft mbH (MIBRAG) durchgeführt. Dazu wurde in einen Komatsu-Truck ein RMC3000 eingebaut. Dabei handelte es sich um dasselbe Gerät, welches bereits an der TU BAF zum Einsatz kam. Der Test erstreckte sich im wesentlichen über den Zeitraum:

Einsatzzeitraum: 28.06.2001 - 24.08.2001

Nach dem 24.08.2001 lieferte das Gerät keine Positionsdaten mehr. Da Positionsdaten nur bei eingeschalteter Zündung gesendet werden, kann davon ausgegangen werden, dass seit dem 24.08.01 der Truck nicht mehr in Betrieb war. Ein Onlinezugriff war auch nach diesem Zeitpunkt noch problemlos möglich. Seit dem 18.09.2001 verliefen die Onlinezugriffe ebenfalls negativ¹⁴, da seit dieser Zeit das RMC-System außer Betrieb gesetzt wurde.

Im genannten Zeitraum erfolgte der Zugriff auf das RMC bzw. die Datenübermittlung auf zwei Arten.

SMS-Positionsmeldungen -Unidirektionale Übertragung

Eine SMS Positionsmeldung wird nur bei eingeschalteter Zündung übermittelt. Das RMC bucht sich selbstständig in das Mobilfunknetz ein und sendet eine SMS mit den GPS Koordinaten (ohne Höheninformation). Nach 30min Betriebszeit wird die nächste Positionsmeldung abgesetzt.

Online Datenfunkverbindung -Bidirektionale Übertragung

Beim Online Datenzugriff wurde von der Leitzentrale (für den Test war das ein PC in der TU Bergakademie Freiberg) eine GSM Verbindung aufgebaut und die am RMC anliegenden Daten konnten online beobachtet werden. Außerdem konnte der Datenspeicher des RMC ausgelesen werden. Da das Einsatzgebiet nicht vollständig mit dem D1-Netz abgedeckt war, traten drei Arten von Onlinezugriffen auf das RMC-Gerät auf:

- Keine Anwahl des RMC über GSM möglich (RMC außerhalb des D1-Netzes)
- Abbruch der Verbindung (RMC hat den Funkbereich des Netzes verlassen und die aktive Verbindung wurde unterbrochen)

¹⁴Es wurden nicht nur keine Positionsdaten geliefert. Es war vielmehr überhaupt keine Verbindung zum RMC mehr möglich.

- Datenübertragung möglich
 - Ohne Probleme
 - Nach mehrmaligen Anwahlversuchen

Fazit Das RMC-Gerät hat gezeigt, dass es für den industriellen Einsatz geeignet ist. Der Einbau ging ohne Probleme von statten. Die Antennen für GSM und GPS stellen allerdings eine Schwachstelle im System dar. Im vorliegenden Test gab es keine Schwierigkeiten, allerdings könnten bei längeren Einsätzen Probleme an den Standardantennen auftreten. Die Standardantennen sind in ihrer Auslegung nicht für härtere Umweltbedingungen ausgelegt. Daher sind spezielle Industrieversionen der Antennen für evtl. Einsätze vorzusehen. Im Tagebau Schleenhain ist die GSM-Netzabdeckung wesentlich ungünstiger als auf dem Gelände der TU Bergakademie Freiberg, was sich aus der Anzahl der potentiellen Kunden ergibt. Für den Netzbetreiber stellt das Tagebaugelände kein interessantes Einsatzgebiet dar, daher ist der Netzausbau auf ein Minimum beschränkt. Die einzigen Schwierigkeiten die sich daraus ergaben, waren Verbindungsprobleme zum Basissystem. Allerdings blieb die Konsistenz und Vollständigkeit der Messdaten gesichert. Nach erneuter GSM-Funkverbindung wurden die unterbrochenen Datenübertragungen erneut gestartet und erfolgreich beendet. Bei noch schlechterer Netzabdeckung kann es allerdings vorkommen, dass kein Datendownload ordnungsgemäß beendet werden kann. In diesen Fällen wäre es wünschenswert, unterbrochene Downloads fortsetzen zu können und nicht immer wieder von vorn starten zu müssen. Für eine größere Anzahl von RMC-Geräten (in der Standardlizenz sind max. 25 RMC vorgesehen) kann die prinzipielle Bedienung Schwierigkeiten bereiten. Das System ist im aktuellen Stand nur zur Überwachung und eventuellen Überprüfung ausgelegt. Sobald ein Problem auftritt, kann man das betroffene Gerät genauer untersuchen. Allerdings ist es nur ineffektiv möglich, alle RMC dauerhaft zu überwachen und Messdaten zu erfassen. Darüber hinaus ist das RMC-Gerät in seiner maximalen Ausbaustufe auf acht analoge und acht digitale Eingänge beschränkt. Eine größere Anzahl von Messstellen läßt sich nur über den CAN-BUS auswerten.

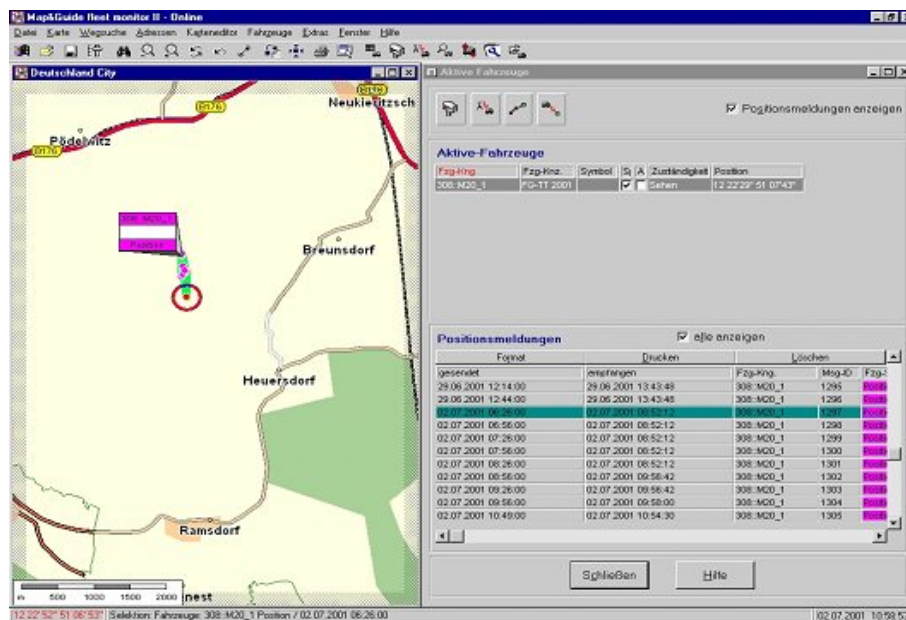


Abbildung 6.1: Darstellung der Fahrzeugposition im Programm Map & Guide

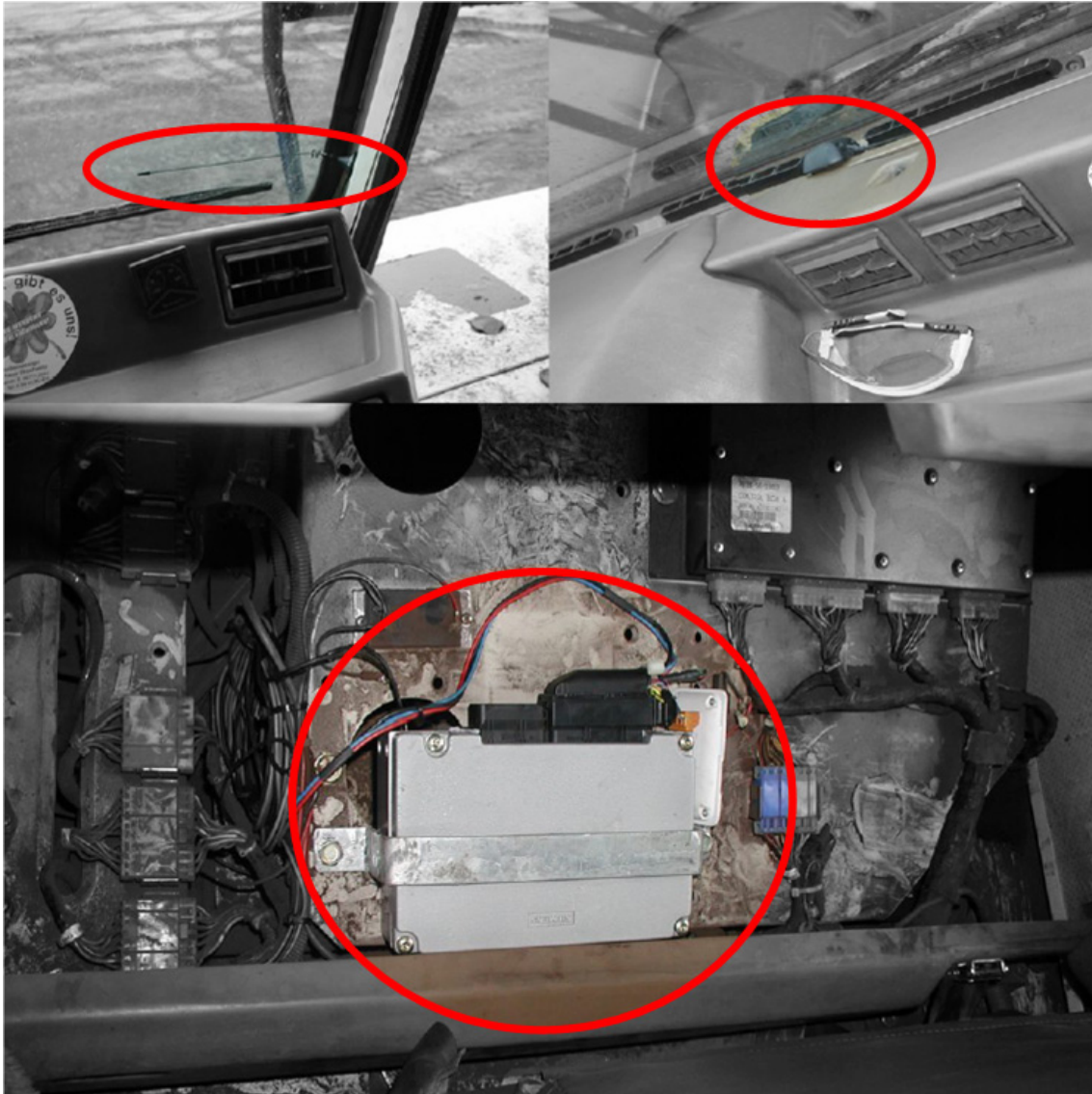


Abbildung 6.2: Einbau- und Antennenpositionen des RMC-Systems in einem Truck im Tagebau Schleenhain

6.5 Experimente mit dem System „Mobilen Technik“

Für die Systemtests wurden als Prototypenrealisierung des Systems „Mobile Technik“ drei mobile Einheiten und die entsprechenden Funkmodule¹⁵ (siehe Abbildung 6.3) gefertigt. Die Funktionalität und Zuverlässigkeit der Geräte wurde durch verschiedene Dauertests überprüft. In der ersten Phase wurde ein stationärer Versuchsaufbau gewählt. Neben diesen Dauertests wurden verschiedene Szenarien nachgestellt. Darin enthalten u.a. die Inbetriebnahme der einzelnen Geräte, simulierter Ausfall von einzelnen Geräten und Ausfall des Servers. Nach den stationären Tests wurden erste mobile Tests durchgeführt. Dazu wurden die drei mobilen Einheiten in ein Fahrzeug eingebaut. Die Stromversorgung erfolgte über das 12V-Bordnetz. Für die Befestigung der GPS- und Funkantennen wurde ein Dachquerträger umfunktioniert. In diesem Zusammenhang zeigte sich, dass das Funksystem den GPS-Empfang stört, wenn die Entfernung zwischen den Funkantennen und den GPS-Antennen zu gering war. Die für GPS verwendete Trägerfrequenz liegt bei 1575,42MHz und damit nicht direkt in dem vom Funksystem verwendeten 2,4GHz Band. Aber durch die hohe Sendeleistung des Funksystems treten Störungen in anderen Frequenzbereichen auf, die ausreichen, um den GPS-Empfang unmöglich zu machen. Die Störung führte dazu, dass das GPS-Modul keinen Satelliten erkannte und damit keine Positionslösung durchführen konnte. Da die verschiedensten Umgebungsbedingungen getestet werden sollten, wurde neben den drei mobilen Einheiten auch der Server im Fahrzeug installiert. Dadurch war es möglich den Aktionsradius zu vergrößern, da die Funkreichweite nicht mehr der begrenzende Faktor für das Testgebiet war. Mit dem so ausgestatteten Fahrzeug wurden verschiedene Messfahrten auf dem Gebiet der Stadt Freiberg durchgeführt.



Abbildung 6.3: Mobile Einheit und Funkmodul des Systems „Mobile Technik“ [11]

Nach dem erfolgreichen Abschluss der mobilen Tests war der nächste Schritt der Aufbau einer stationären Funkzelle mit Betrieb mobiler Einheiten. Der Standort für die Funkzelle und dabei insbesondere für den Funkserver wurde nicht nach funktechnischen Parametern bestimmt, sondern es wurde darauf geachtet, dass ein guter Zugang für Testzwecke bestand. Der Funkserver wurde in einem Raum des Institutes für Automatisierungstechnik aufgebaut. Anschließend wurden mit dem Fahrzeug, das wie beschrieben zwei mobile Einheiten enthielt (das dritte Gerät wurde als Referenzmessgerät in der Nähe des Servers aufgestellt), Messfahrten durchgeführt. Das Augenmerk der Versuche lag neben der Überprüfung der Funktion, in qualifizierten Aussagen zur Wiederholgenauigkeit der GPS-Messungen. So wurden auf dem Innenhof des Institutsgebäudes verschiedene

¹⁵Die Funkmodule entstanden im Entwurf und der Fertigung im Rahmen der Studienarbeit von T.Wagner [11].

Figuren mit dem Fahrzeug wiederholt abgefahren und die entsprechende Repräsentation in der Darstellung des Serverprogramms überprüft. Es zeigte sich dabei, dass die in den stationären Tests erreichten Genauigkeitswerte ebenfalls erzielt werden konnten. Einzig bei deutlichen Richtungsänderungen ($> 45^\circ$) zeigten die GPS-Module ein Überschwingen, ehe sie die neue Richtung korrekt darstellten. Dieses Verhalten rührt nach Herstellerangaben von den intern verwendeten Filtern und mathematischen Berechnungen her.

6.6 Bestimmung des Dauerbetriebsverhaltens

Nach erfolgreichen Tests mit der Funkzelle wurden Untersuchungen zur Überprüfung des Dauerbetriebsverhaltens aufgenommen. Dazu konnte eine Zusammenarbeit mit der Breitenauer Grauwacke GmbH vereinbart werden. Am Standort Breitenau betreibt dieses Unternehmen einen Steinbruch mit einer Ausdehnung von etwa 10ha. Für Untersuchungen zur Erforschung von Brechern betreibt die TU Bergakademie Freiberg in diesem Steinbruch einen Versuchsstand. Im Rahmen der Vereinbarung wurde eine Nutzung der vorhandenen Anlagen erlaubt.



Abbildung 6.4: Versuchsgelände im Steinbruch Breitenau

Manuelle Messungen im Steinbruch Breitenau Zur Vorbereitung des automatischen Betriebs wurden in verschiedenen Versuchen die örtlichen Gegebenheiten untersucht. Dazu wurden die Empfangsbedingungen der mobilen Einheiten für unterschiedliche Serverstandorte überprüft. Der Server wurde dazu jeweils an einem günstig erscheinenden Ort aufgebaut und in Betrieb genommen. Anschließend wurde zu Fuß, ohne ein Fahrzeug, eine mobile Einheit durch den Steinbruch bewegt. Auf dem Display der mobilen Einheit konnte das Funkverhalten nachvollzogen werden. Wiederholungen beim Verbindungsaufbau deuteten dabei auf schwierige Funkbedingungen hin. Anhand dieser Information konnte in Gebieten mit kritischem Funkverhalten eine genauere Untersuchung erfolgen. Nach Überprüfung der gesammelten Daten wurde ein Standort für den Server festgelegt. Dieser Standort stellte einen Kompromiss, aus bestmöglicher Funkabdeckung und technischer Realisierbarkeit der Versorgung und Sicherung des Serverrechners dar. Der optimale Standort, aus

funktechnischer Sicht direkt oberhalb der Abbruchkante des Steinbruchs, konnte aufgrund fehlender Energieversorgung und Unterbringungsmöglichkeit für den Serverrechner nicht für einen Dauerversuch benutzt werden. Der gewählte Standort für die Funkantenne auf dem Container der Versuchsanlage der TU Bergakademie Freiberg wurde für den automatischen Betrieb vorbereitet. Nach Abschluss der Installation der Funk- und einer GPS-Antenne wurde eine letzte manuelle Prüfung vorgenommen. Die möglichen Fahrwege des späteren Einsatzfahrzeuges wurden mit einer mobilen Einheit abgeschritten. Die aufgezeichneten Daten spiegelten den genauen Positionsverlauf wieder. Auch die ermittelten Höhenwerte stimmten mit den auf dem vorhandenen Kartenmaterial eingezeichneten Werten überein.

Automatischer Betrieb im Steinbruch Breitenau Nach den erfolgreichen manuellen Tests erlaubte die Breitenauer Grauwacke GmbH die Nutzung eines ihrer Fahrzeuge für einen automatischen Dauertest. Dazu wurde eine mobile Einheit in die Fahrerkabine des Fahrzeuges eingebaut. Die Spannungsversorgung erfolgte dabei über den vorhandenen Zigarettenanzünder. Mit den Fahrern wurde vereinbart, dass der Hauptschalter des Fahrzeuges nicht ausgeschaltet wird, damit auch im Stillstand ein Betrieb der mobilen Einheit möglich wurde. In einem späteren Festeinbau wird die mobile Einheit direkt mit dem Bordnetz verbunden und damit entfällt diese Sonderregelung. Neben dem Einbau der mobilen Einheit wurden die Funkantenne und die GPS-Antenne an das Fahrzeug angebracht. Nach dem erfolgreichen Einbau erfolgte problemlos die Inbetriebnahme des Systems. Parallel zur mobilen Einheit wurde eine Referenzstation für die Bestimmung der Barometerkorrekturwerte aufgestellt. Der Aufbau wurde im Inneren des Versuchscontainers vorgenommen, da dort ähnliche Druckverhältnisse wie in der Fahrerkabine des Versuchsfahrzeuges herrschten.



Abbildung 6.5: Versuchsfahrzeug mit angebauten Antennen

Der Inbetriebnahme folgte ein mehrmonatiger Dauerbetrieb, der nur durch Softwareupdates und den längeren, technisch bedingten, Ausfall des Versuchsfahrzeuges, unterbrochen wurde.

7 Diskussion und Schlussfolgerungen

Anhand der Tests mit den implementierten Komponenten konnte nachgewiesen werden, dass mobilfunkbasierte Technologien unter Nutzung von Positions- und Navigationslösungen einen Weg darstellen, um die mobile Technik in den Automatisierungsverbund eines Tagebaues einzubinden. Die technische Ausprägung stützt sich dabei auf einen zellulären Aufbau, der, aus dem Mobilfunksektor entlehnt, um steuerungstechnische Aspekte erweitert wurde. Eine Funktionszelle, durch die Funkabdeckung in Form und Größe definiert, bildet im Zusammenspiel mit den mobilen Einheiten eine Steuerungszelle, die alle Aspekte des Systems „Mobile Technik“ auf lokaler Ebene repräsentiert.

Parameter des Mobilfunksystems Die gesamten Systemtests belegen, dass die Parameter des eingesetzten Funksystems maßgeblichen Einfluss auf die Systemeigenschaften besitzen.

Entscheidenden Einfluss auf die Systemparameter und damit auf die Nutzbarkeit für Steuerungsaufgaben haben die Parameter Datenübertragungsrate und Latenzzeit der Funklösung.

Der Faktor der Reichweite kommt demgegenüber nur dahingehend zum tragen, dass er die Anzahl und Dimension der Funkzellen bestimmt. Durch die Reichweite des Funksystems wird die Kostenstruktur des Gesamtsystems maßgeblich mitbestimmt. Die Versuche zeigten, dass bei einer großen Latenzzeit des Funksystems (in den Experimenten ausgelöst durch den nicht optimalen Betrieb der Funkanlagen) die konzeptionellen Ideen, wie positionsabhängige Steuerung und online Überwachung, nur eingeschränkt genutzt werden können. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden Änderungen an den technische Anlagen¹ und der Softwarerealisierung vorgenommen, so dass die Latenzzeit verringert wurde. Die Optimierungen zeigen durch die Verbesserung der Onlinefähigkeiten des Steuerungssystems ihre Wirkung. Jegliche Begrenzung der Datenübertragungsrate des Funksystems hat Einschränkungen hinsichtlich des realisierbaren Funktionsumfanges zur Folge. So ist es nötig, wie im Konzept vorgesehen, die Messdatenaktualisierung bei steigender Positionsdatenaktualisierung zu verringern. Damit wird es möglich, die Dynamik der Fahrzeugbewegung besser abzubilden, ohne durch die begrenzte Datenübertragungsrate behindert zu werden. In den Experimenten wurde die Datenübertragungsrate künstlich begrenzt, um besser im Lastgrenzbereich arbeiten zu können. Es zeigte sich, dass die Zwischenpufferung von Messdaten nur eine kurze Überlastung des Funksystems auffangen konnte. Längere Phasen mit begrenzter Datenübertragungskapazität führten ohne Anpassung der Datenvolumina in letzter Konsequenz zu Datenverlusten. Für die Auslegung des Gesamtsystems ist es daher dringend empfohlen, die maximalen Datenraten möglichst exakt abzuschätzen, um längere Engpässe zu vermeiden. Die im Konzept vorgesehene, positionsabhängige Anpassung der Sendeleistung bzw. Ausrichtung der Funkantennen konnte experimentell nicht näher beleuchtet werden, da die technischen Voraussetzungen keine Richtcharakteristik bzw. Sendeleistungsanpassung zuließen. Es zeigte sich weiterhin, dass bei einer optimalen Auslegung der Funkzelle, die Anzahl der An- und Abmeldungen von Klienten geringer war, als im Konzept angenommen. Durch die Anpassung des Funkserverstandortes kann eine optimale Abdeckung des Arbeitsgebietes der mobilen Fahrzeuge erreicht werden. Damit treten nur wenige, längere Abmeldephasen auf. Häufiger sind sehr kurze Funkunterbrechungen in Form von verlorenen oder nicht korrekt übertragenen Telegrammen. Diese Aussetzer sind durch eine groß-

¹Die Latenzzeit bei direkter Adressierung ist bei dem verwendeten Funksystem ungleich größer, als bei Broadcastbetrieb.

zügige Konfiguration der An- und Abmeldezeiten und durch den Einsatz von ausreichend großen Puffern in den Geräten beherrschbar. Die eigentlich im Konzept vorgesehenen Ab- und wieder Anmeldungen können dadurch deutlich verringert werden, was einen stabileren Gesamtbetrieb zur Folge hat. Im späteren Einsatz ist daher besonderes Augenmerk auf die Dimensionierung der Funkzellen zu legen. Eine Vergrößerung der Funkzellen spart Kosten, bedingt aber gleichzeitig, durch häufigere An- und Abmeldungen der Klienten, ein instabileres Verhalten des Steuerungssystems. Bei einer ungenügenden Abdeckung des Einsatzgebietes mit Funkzellen kommt es zu häufigen offline Zeiträumen. Diese Zeiten können durch entsprechend dimensionierte Pufferspeicher in den mobilen Einheiten überbrückt werden. Allerdings schützen die Puffer nur vor Datenverlust, die Onlinefunktionalität geht bei fehlendem Funkkontakt verloren und kann nur durch erneuten Aufbau der Funkverbindung im Empfangsgebiet wiederhergestellt werden. Prinzipiell lässt sich jedes Funksystem zusammen mit dem Kommunikationssystem für das Gesamtsteuerungssystem einsetzen. Die Broadcastfähigkeit muss für ein Funksystem mit sehr geringen Latenzzeiten dabei nicht erfüllt werden, da durch eine schnelle serielle Abfrage ein ähnliches Systemverhalten erreicht werden kann. Die Wahl des Funksystems wird neben dem Datendurchsatz und der Reichweite durch die Kosten, Latenzzeit und die Zulassungsbedingungen beeinflusst.

GPS-basierte Zeitsynchronisation Als Ergebnis der Experimente zur globalen Systemzeit gilt:

Die Forderung nach einer globalen Systemzeit kann mit einem System auf Basis von GPS-Empfängern erfüllt werden. Die systembedingte Ausstattung aller mobilen Einheiten mit einem GPS-Empfänger erlaubt die Nutzung der GPS-Systemzeit für die Synchronisation der mobilen Einheiten.

Die Experimente zur Zeitsynchronisation ergaben eine Genauigkeit der Zeitbereitstellung durch das GPS, die an der Grenze der technischen Möglichkeiten der anderen Systemkomponenten lag. So war der verwendete Microcontroller nicht in der Lage, eine zeitliche Abweichung zwischen den GPS-Signalen zu ermitteln. Die GPS-Zeitsynchronisation bildet eine insgesamt günstige Möglichkeit, um im System „Mobile Technik“ eine gemeinsame Zeitbasis zu schaffen, deren Genauigkeit deutlich über allen gestellten Anforderungen liegt und somit Potential für mögliche spätere Entwicklungen im Bereich von zeitkritischen Anwendungen besitzt. Die fehlenden exakten Zeitwerte vom GPS in den Anlaufphasen der Messungen konnten durch interne Systemuhren insoweit überbrückt werden, dass eine zeitlich korrekte Einbuchung in das System möglich war. Die Forderungen bezüglich der Empfangsbedingungen für einen Einsatz des GPS als Zeitsystem sind deutlich geringer, als die Empfangsvoraussetzungen für die Positionsbestimmung, so dass die GPS-Zeitbestimmung auf jeden Fall möglich ist, sobald eine gültige Position ermittelt wird. Der Vorteil einer einheitlichen globalen Zeit zeigt sich vor allem bei der Koordination und Kooperation von azyklischen Prozessen. Sowohl systeminterne (z.B.: Beladung von Trucks) als auch externe Vorgänge, die Bezug auf Systembestandteile nehmen, können durch eine einheitliche Zeit besser gekoppelt werden. Im Zusammenspiel von einheitlicher globaler Zeit und Positionsbestimmung können Anwendungen, wie die vorgestellte „Virtuelle Ampel“ realisiert werden. Die dabei einzuhaltenden zeitlichen Vorgaben für die Ermittlung und Übertragung der notwendigen Daten bestimmen die Anforderungen bezüglich der Echtzeitfähigkeit des Positionsmess- und des Kommunikationssystems. Basierend auf der allgemeingültigen globalen Zeit konnte die Verzögerungsmatrix erstellt werden, mit der Rückschlüsse über die Funkverbindung möglich sind. Aus steuerungstechnischer Sicht sind mit der Verzögerungsmatrix Aussagen zu Kommunikationstotzeiten möglich, die dann entsprechende in der Steuerung berücksichtigt werden können. In der Testrealisierung zeigte sich, dass durch die hervorragende Abdeckung des Einsatzgebietes mit der Funkzelle, keine relevanten Verzögerungen auftraten.

GPS-Positionsbestimmung Die Bedeutung der Positionsbestimmung wurde mehrfach angesprochen, deshalb fielen die Tests zum Positionsbestimmungssystem besonders umfangreich aus. Es wurde sowohl der stationäre als auch der mobile Anwendungsfall in verschiedenen Experimenten untersucht. Neben der Überprüfung der technischen Möglichkeiten der GPS-Barometer Kombination konnte für den vorliegenden Testfall darüber hinaus eine Aussage zur Gestaltung der Positionstempel gemacht werden. Für den Testaufbau war die Erfassung des Positionstempels unabhängig von den erfassten Messwerten von Vorteil. Die ständige Ermittlung und Speicherung eines Positionswertes entspricht damit der zweite im Konzept vorgestellten Variante.

Die häufige Erfassung der Messwerte ermöglichte eine exakte Abbildung der Dynamik der mobilen Einheiten. Durch die vorhandenen Positionsmesswerte konnten Funkaussetzer nicht nur zeitlich sondern auf lagemäßig zugeordnet werden.

Aus technischer Sicht konnte durch die Experimente die Eignung der GPS-Barometerlösung für den Tagebaueinsatz (sowohl hinsichtlich der Präzision als auch bezüglich der Robustheit) nachgewiesen werden. Der Einsatz eines Barometers zur Höhenmessung wurde durch den automatischen Abgleich mit der Referenzstation ermöglicht.

Die Experimente zeigten, dass ein unkorrigiertes Barometer durch Wettereinflüsse keine sinnvoll nutzbaren Höhenwerte liefern konnte. Durch den Einsatz der Referenzstation und von Filtern gelang es, die geforderte Höhengenaugigkeit mit der Barometerlösung sogar noch zu übertreffen.

Die Kopplung des Barometers mit den GPS-Werten konnte durch die Anpassung des Messtaktes auf jeweils 1Hz und den synchronen Start der Messungen vorgenommen werden. Für die Zentrale lief dieser Vorgang transparent ab, da er direkt im Microcontroller vorgenommen wurde. Die Messrate von 1Hz war die höchste, mit den GPS-Modulen erreichbare, Messfrequenz. Diese hohe Messrate war erforderlich, um online Einfluss auf das Fahrverhalten der Fahrzeuge zu nehmen. Erst mit diesen häufigen Positionsabfragen wird es möglich, Abweichung von der geplanten Route schnell zu erkennen und entsprechende Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Die dynamische Anpassung des Abfrageprotokolls konnte im Experiment mit einem zusätzlichen stationären Gerät erprobt werden. Es zeigte sich, dass die Anpassung nicht für hochdynamische Vorgänge geeignet ist, da die Geschwindigkeitsänderung erst einmal erkannt werden muss. Für die normalen Arbeitsprozesse in Tagebauen und Minen ist die Dynamik der Anpassung aber völlig ausreichend. Ein wichtiger Punkt für den Einsatz von GPS-Positionswerten in steuerungstechnischen Applikationen ist die Zuverlässigkeit der ermittelten Werte. Da für das aktuelle GPS keine Zuverlässigkeitswerte direkt bestimmt werden können², wurden experimentell bestimmte Parameter untersucht, um eine zuverlässige Aussage zur Integrität der Positionslösung zu ermöglichen. Die Verteilung der Satelliten am Himmel übt einen großen Einfluss auf die Genauigkeit der bestimmten Position aus. Eine ungünstige Verteilung der, für die Lösung benutzten, Satelliten führt zu großen Positionsabweichungen. Der genaue Einfluss der Satellitenverteilung kann aber über geometrische Beziehungen ermittelt werden. Mit den DOP-Werten existieren Fehlerfaktoren, die das GPS selbständig aus der Satellitengeometrie berechnet. Die vorhandenen Positionsabweichungen (durch Mehrwegausbreitung, atmosphärische Einflüsse etc.) wird um den DOP-Wert verstärkt. Aus diesem Zusammenhang lässt sich ableiten, dass ein hoher DOP-Wert zu einer starken Vergrößerung des Positionsfehlers führt. Diese Annahme konnte durch die Auswertung der Positionsmessungen und der zugehörigen DOP-Werte bestätigt werden. Es zeigte sich aber auch, dass man nicht von einem niedrigen DOP-Wert auf eine gute Positionslösung schließen kann. So ergaben die Messungen auch Positionsangaben, die trotz guter DOP-Werte deutliche Abweichungen zur wirklichen Position ergaben. In diesen Fällen hatten die

²Für das europäische Galileo System ist eine Systemkomponente geplant, die eine Aussage über die Konsistenz der Positionslösung liefert. Damit ist dieses System auch für kritische Anwendungen, wie den Flugverkehr ohne Zusatzsysteme geeignet.

Abweichungen andere Ursachen als die Satellitengeometrie, die ja durch die DOP-Werte als günstig beschrieben wurde. Mit Hilfe von Plausibilitätstests konnte im Laufe der Experimente eine Reihe von falschen Positionswerten ausgeschlossen werden. Diese Tests ermittelten Unterschiede zwischen aufeinander folgenden Positionswerten. Liegt die Entfernung zwischen den Punkten über den technischen Möglichkeiten der mobilen Fahrzeuge (nicht mit Maximalgeschwindigkeit im Zeitraum zwischen den Messungen zu erreichen), kann von einer Fehlmessung ausgegangen werden. Positionen, die außerhalb des Einsatzgebietes liegen, können durch diese Tests ebenfalls ausgesondert werden. Es zeigte sich, dass mit Plausibilitätstest vor allem in der Anlaufphase die Positionswerte korrigiert werden konnten. Im laufenden Betrieb traten nur sehr wenige (100ppm) Messwerte auf, die durch Plausibilitätstest als falsch erkannt werden konnten. Eine Erweiterung der Plausibilitätstest konnte durch einen Vergleich der Positionswerte mit der geplanten Route erreicht werden. Durch die zusätzlichen Routeninformationen sind „Ausreißer“ leichter zu erkennen. Die Technologie des Map-Matching konnte erwartungsgemäß nicht eingesetzt werden, da das Einsatzgebiet über keine exakt zuordenbare Verkehrsinfrastruktur verfügte. Das Gelände des Steinbruches Breitenau war während der Versuche einem ständigen Wandel unterworfen, so dass selbst das existierende Kartenmaterial innerhalb weniger Wochen völlig veraltete. Einzig eine Anfahrrampe wurde nicht verändert. Anhand dieser bekannten Rampe konnten vereinzelte Messwerte manuell korrigiert werden. Für eine automatische Anpassung an vorhandenes Kartenmaterial wären allerdings weitere Softwareänderungen notwendig.

Datenerfassung Die Datenerfassung im Rahmen des Steuerungskonzeptes stellt ein weiteres wichtiges Verbindungsglied zwischen Prozess und Steuerungssystem dar. Die sensortechnische Realisierung der Datenerfassung spielt für das Steuerungskonzept keine Rolle. In den Versuchen zeigte sich, dass einzig der Umfang und das Zeitverhalten, die Dynamik, der Messungen wichtige Parameter darstellen. Im Kommunikationskonzept ist der Transport der Messdaten gekapselt, damit ist deren informationstechnische Realisierung irrelevant. Wichtig für das Gesamtsystem ist der Umfang der Datenerfassung, da bei begrenzter Übertragungsbandbreite das Datenaufkommen einen Flaschenhals bei der Übertragung darstellt. Zur Vermeidung von Datenverlusten ist eine dynamische Anpassung der Datenerfassung an das Übertragungsverhalten sinnvoll. Dabei werden, ähnlich dem Konzept des variablen periodischen Abfrageprotokolls für die Positionserfassung, dynamisch veränderliche Messwerte häufiger übertragen, als quasi statische Messgrößen. Dieser Kompromiss erlaubt den optimalen Betrieb der Datenerfassung auch bei begrenzten Übertragungsraten. Im umgekehrten Fall ist es mit diesem Ansatz auch möglich, bei Kapazitätsreserven zusätzliche Messdaten zu erfassen und zu übertragen. Insgesamt erfordert dieses Konzept eine flexible dynamische Erweiterung der Messfunktionalität. In den Versuchen konnte gezeigt werden, dass über geeignete Anweisungen innerhalb des Kommunikationsframes, die nötige dynamische Anpassung³ in den Klienten vorgenommen werden kann. Für den Einsatzfall ist zu prüfen, welche Messdaten online bereitgestellt werden müssen und welche Daten zeitverzögert übertragen werden können.

Systemtest „Mobile Technik“ Das Hauptaugenmerk der Versuche lag auf der Untersuchung des Systemverhaltens einer kompletten Funktionszelle. Besonders die Tests auf dem Gelände der Breitenauer Grauwacke GmbH bestätigten die grundlegenden konzeptionellen Annahmen. Das Zusammenspiel von Positionsbestimmung, Zeitsynchronisation und Funkdatenübertragung funktionierte auch im Dauerversuch reibungslos. Die realisierte mobile Technik zeigte sich den Umgebungsbedingungen gewachsen, so dass keine technisch bedingten Ausfälle zu verzeichnen waren. Einzig die mehrfache Stilllegung des Versuchsfahrzeuges aufgrund von technischen Problemen (die nicht im ursächlichen Zusammenhang mit der eingebauten mobilen Technik standen) führte zu Ausfallszeiten des Systems. Diese Zeiträume konnten gleichsam dafür genutzt werden, um Verbesserungen in

³im einzuhaltenden Zeitregime

der Softwarerealisierung des Konzeptes in das System einzuspielen. Bereits die stationären Tests auf dem Gelände der Bergakademie Freiberg zeigten die grundsätzliche Funktionsbereitschaft des Systems, die allerdings erwartungsgemäß von kleineren Fehlern begleitet wurde. Diese Schwierigkeiten konnten letztendlich aber alle auf Fehler in der Implementierung zurückgeführt und, weit wichtiger, auch korrigiert werden. Die bedeutendste Anpassung betraf die Umstellung des Funksystems vom Adressbetrieb hin zum Broadcastmodus, um die Latenzzeit zu optimieren. Bedingt durch den Aufbau nur einer Funkzelle konnte der Handovermechanismus nicht experimentell überprüft werden. Weiterhin konnte keine Interaktion zwischen Fahrzeugbediener und Leitzentrale durchgeführt werden, obwohl die technischen Voraussetzungen dazu vorhanden waren. Auf der einen Seite lag dies an der Bemühung, die Tests, die parallel zum regulären Betrieb der Fahrzeuge durchgeführt wurden, ohne Störung für den Betreiber zu absolvieren. Auf der anderen Seite bestanden aber auch rechtliche Bedenken, da Messdatenerfassung, im Zusammenhang mit Arbeitnehmern, eine zustimmungspflichtige Genehmigung nach dem Betriebsverfassungsgesetz erfordert. Durch die Begrenzung des Zugriffs auf die gesammelten Messdaten und eine Anonymisierung der Daten wurden die gesetzlichen Vorgaben soweit möglich erfüllt. Die Funktionalität der Bedienerkommunikation wurde daher, in geringerem Umfang, außerhalb der Arbeitszeiten getestet.

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Thesen

1. Mobilfunkbasierte Technologien erlauben im Zusammenspiel mit Positions- und Navigationslösungen die Einbindung der mobilen Technik in den Automatisierungsverbund von Tagebauen, Minen und Steinbrüchen.
2. Die Betrachtungen und Ergebnisse bezüglich einer einzelnen Funktionszelle lassen sich, unter Berücksichtigung von Handover-Vorgängen, auf ein Gesamtsystem aus n - Funktionszellen übertragen, da sowohl die Skalierbarkeit als auch das Zeitverhalten durch den Einsatz von Funktionszellen garantiert werden kann.
3. Das eingesetzte Mobilfunksystem bestimmt maßgeblich die realisierbaren und rentablen Funktionalitäten, durch die begrenzenden Systemparameter Verfügbarkeit, Geschwindigkeit und Bandbreite, Kosten und Latenzzeit.
4. Im Gegensatz zu stationären Steuerungssystemen ist die flexible An- und Abmeldung von Klienten zur Systemlaufzeit in mobilen verteilten Steuerungssystemen von fundamentaler Bedeutung, da nicht nur im Fehlerfall (bzw. während der Inbetriebnahme) Klienten am System abgemeldet (angemeldet) werden können.
5. Kontinuierliche und diskontinuierliche Produktionsprozesse bzw. - teilschritte können durch eine einheitliche Systemzeitbasis des Verteilungssystems besser gekoppelt und aufeinander abgestimmt werden.
6. Der Einsatz von GPS für die Positionsbestimmung in jedem Systemknoten erlaubt die Zeitsynchronisation des verteilten Systems mit der GPS-Zeit. Mit der verwendeten Technik kann dies mit einer Genauigkeit von $\pm 1\mu s$ durchgeführt werden.
7. In mobilen verteilten Systemen darf es keine Ortstransparenz geben. Da die Mobilität im System ein integraler Bestandteil ist, würden steuernde Eingriffe ohne Berücksichtigung von Ortsinformationen inkonsistente Ergebnisse liefern.
8. Die Kopplung der GPS-Positionsbestimmung mit der barometrischen Höhenmessung kann durch die, im Systemkonzept vorgesehene, automatische Wetterdriftkorrektur in der geforderten Genauigkeit erreicht ($\pm 5m, \pm 2m$ in z -Richtung) werden.
9. Die Steuerung von mobilen Geräten wird durch die echtzeitfähige Datenerfassung und -analyse präzisiert. Dynamische Routenanpassungen unter Berücksichtigung von Hindernisse, Optimierungen des Fahrverhaltens etc. sind nur bei ausreichend häufiger Positionserfassung sinnvoll umzusetzen. Die notwendige Häufigkeit der Positionsabfrage ist dabei anhand des Positionsfehlers abschätzbar.
10. Durch die dynamische Anpassung des Positionsabfragezykluses kann der Gesamtpositionsfehler (Summe aller Einzelpositionsfehler) minimiert werden. Objekte mit großer Geschwindigkeit und großer Positionsfehlerwachstumsrate werden häufiger abgefragt, langsamere Objekte entsprechend weniger oft.

11. Flottenmanagementsysteme für begrenzte Betriebsgelände erlauben aufgrund des bekannten Einsatzgeländes eine größere Funktionalität, erfordern aber auch einen höheren Optimierungsgrad, um rentabel zu arbeiten.
12. Aufgrund der Mobilität und Verteilung der Systemkomponenten ist für den Betrieb eines mobilen verteilten Steuerungssystems die Möglichkeit der flexiblen dynamischen Erweiterung (bzw. Reduzierung) der Funktionalität zwingend erforderlich.
13. Moderne Flottenmanagementsysteme für Tagebaue optimieren zukünftig die Abläufe unter Berücksichtigung von interaktiven Beziehungen zwischen den mobilen Geräten.
14. Die beschriebene Systemspezifikation des mobilen verteilten Systems erlaubt Zusatzfeatures die nur indirekt mit dem eigentlichen Ziel der Produktionssteigerung verbunden sind. (Mobile Agenten für das Firmwareupdate, Karte mit Funklöchern -> Ausleuchtung verbessern etc.)

8.2 Zusammenfassung der Arbeit

Die Zielstellung dieser Arbeit ist der Entwurf eines Steuerungskonzeptes für das Flottenmanagement der mobile Technik in Tagebauen und Minen. Die Einbindung der mobilen Technik in den Automatisierungsverbund eines Tagebaues stellt hohe technische Anforderungen. Die Analyse bestehender Systeme offenbarte die folgenden wesentlichen konzeptionellen Schwächen:

- Lokalisation - Fehlende dreidimensionale Positionsbestimmung
- Kommunikation - Keine zeitnahe und kontinuierliche Funkdatenübertragung
- Kooperation - Keine Betrachtung der Interaktion einzelner Fahrzeuge
- Synchronisation - Keine einheitliche Systemzeit

Zusammen mit der klaren Abgrenzung der Funktionalität eines Flottenmanagementsystems für Tagebaue und Minen ergeben sich Forderungen an das Steuerungskonzept. Basierend auf den formulierten Anforderungen wird, in der Arbeit, ein Ideenkatalog skizziert, der die drei wesentlichen Ansatzpunkte

- Mobilität,
- Verteilung und
- Kooperation der mobilen Objekte

umfasst. Als integraler Bestandteil des Systems wird darauf aufbauend ein angepasstes Kommunikationskonzept entworfen. Unter Beachtung der geforderten, weltweiten Einsatzfähigkeit und als Basis für eine kostengünstige Entwicklung werden folgende Lösungen für eine Konzeptrealisierung dargelegt.

- **Lokalisation**
 - Positionsfehlerabschätzung
 - Dynamische Anpassung der Positionsbestimmung (variables periodisches Abfrageprotokoll)
 - Variable Erzeugung von Positionsstempeln
 - Automatischer Abgleich (Automatische Wetterdirftkorrektur)
- **Kommunikation**

- Zelluläre Struktur für das Kommunikationssystem
- Angepasstes Kommunikationskonzept
- Automatisch erzeugte Verbindungsmatrix

- **Kooperation**
 - Lokale Kommunikation zwischen mobilen Einheiten
 - Kollisionswarnung (globale oder lokale Variante)
 - Kollisionsvermeidung (Virtuelle Ampel)

- **Synchronisation**
 - Einheitliche globale Systemzeit
 - Automatische Zeitstempel
 - Verzögerungsmatrix

- **Datenerfassung**
 - Dynamische Anpassung der Messwerterfassung

- **Steuerung**
 - Positionsinformation als Störgröße
 - Ausprägung der Steuerungshierarchie als zelluläre Steuerungsstruktur
 - 3 Ebenenmodell (Zentralsteuerung, Zellensteuerung, mobile Komponente)
 - Mobile Komponente als koordinierendes Verbindungsglied zwischen Fahrzeug und Zellensteuerung

Über die Realisierung von Teilaspekten, hin zum fertigen Prototypensystem „Mobile Technik 02“ wird die Entwicklung in der Arbeit nachvollzogen. Die Prototypenrealisierung der entworfenen Hard- und Softwarestruktur wird anhand einer Funktionszelle beschrieben. Die Alleinstellungsmerkmale der Prototypenlösung gegenüber bestehenden Systemen sind:

- Weltweit einsetzbar
- Geringe Investitionskosten
- Basiert auf Standardkomponenten
- Beliebige mobile Einheiten ausrüstbar
- 3D-Positionsbestimmung (GPS-Barometerkombination mit erstmals realisierter automatischer Wetterdriftkorrektur)
- Plausibilitätsüberprüfung der ermittelten Positionsdaten
- Einheitliche Systemzeit auf GPS-Basis
- Dynamische Anpassung der Positionsbestimmung und Datenerfassung
- Kooperative Ansätze (Kollisionswarnung, Virtuelle Ampel)

Die wichtigsten Aspekte des Konzeptentwurfes werden abschließend mit Ergebnissen der durchgeführten Versuchsreihen und des mehrmonatigen Dauerversuchs verifiziert.

8.3 Ausblick - Weiterführende Arbeiten

Das Steuerungskonzept für das Flottenmanagement stellt einen ersten Schritt zur Einbindung der mobilen Technik in das Automatisierungssystem eines Tagebaues dar. Mit den vorgestellten Ansätzen und mit der Prototypenrealisierung können die grundlegenden Probleme beherrscht und die wesentlichen Funktionen demonstriert werden. Die gesamte Themenstellung kann nur bei interdisziplinärer Betrachtung vollständig gelöst werden. Die enge Verknüpfung der verschiedenen Bereiche (GIS, Bergbau, Kommunikationstechnik, Positionsbestimmung etc.) erfordert neben umfassenden Kenntnissen auch klar definierte Schnittstellen zwischen den Anwendungsteilen.

Analyse, Abstraktion und Realisierung von Schnittstellen Die größten Herausforderungen für weiterführende Arbeiten liegen im Bereich der Schnittstellenanalyse und -umsetzung. Angefangen bei den Schnittstellen im Fahrzeug selbst. Zur Einbindung von Fahrzeugen unterschiedlichster Hersteller in den Systemverbund ist es notwendig, durch geeignete Maßnahmen, die verschiedensten existierenden Schnittstellen durch eine Realisierung abzudecken. Über den einfachen Fahrzeuganschluss per CAN-BUS hinaus, müssen dazu höherwertige Protokolle und Schnittstellen realisiert werden. Seitens des Hardwareentwurfs der mobilen Einheiten ist die nötige Flexibilität bereits vorhanden, wobei auch hier spätere Arbeiten den aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstand implementieren mögen. Am anderen Ende der Informationsverarbeitungskette steht die Einbindung des Systems „Mobile Technik“ in existierende Anwendungen. Dazu ist es nötig die gängigen Schnittstellen zu MMS und GIS zu analysieren und umzusetzen.

Funksysteme Das Konzept ist insoweit offen bezüglich des Funksystems gestaltet worden, dass der Wechsel des Funksystems problemlos vollzogen werden kann. In weiteren Arbeiten wäre zu untersuchen inwieweit aus gegebenen Parametern eines Funksystems auf das Verhalten des Systems „Mobile Technik“ geschlossen werden könnte. In umgekehrter Aufgabenstellung wäre es auch hilfreich zu wissen, welche Forderungen an ein Funksystem gestellt werden müssen, damit das System „Mobile Technik“ die jeweils gewünschte Funktionalität erfüllen kann. Die Entwicklung auf dem Gebiet der Mobilkommunikation schreitet insgesamt mit so hohem Tempo fort, dass ständig die neu entwickelten bzw. marktreifen Systeme auf ihre Eignung für einen Einsatz hin untersucht werden müssen.

Positionsbestimmung Das aktuelle Konzept und die Realisierungsansätze basieren auf der Forderung nach einer Positionsgenauigkeit von $\pm 5m$. Für diesen Genauigkeitsbereich ist die Kombination von GPS und Barometerdaten ausreichend. Mit steigenden Anforderungen sind Alternativen zu erforschen. In einem ersten Schritt wäre der Einsatz von DGPS oder GPS-Systemen auf Basis der Trägerphasenmessung zu untersuchen. GPS-basierte Verfahren aus dem Markscheidewesen könnten bei gleich bleibend starkem Preisverfall und bei steigender Messdynamik ebenfalls für den Einsatz im System „Mobile Technik“ interessant werden. Ein weiterer wichtiger Ansatz ist die Kombination von verschiedenen Messsystemen per Kalman Filter. Dieser Ansatz wird von verschiedenen Fahrzeugherstellern bereits erfolgreich eingesetzt. Voraussetzung dafür wäre allerdings wieder der Zugriff per Schnittstelle auf die Bordsysteme zur Geschwindigkeits- und Richtungsbestimmung.

Gesamtsystem Die aktuelle Prototypenlösung basiert auf der Realisierung einer Funktionszelle. Im Rahmen einer Produktentwicklung ist es unabdingbar ein System aus überlappenden Funktionszellen zu realisieren. Weiterhin sind bis zur Marktreife des Produktes „Mobile Technik“ umfangreiche Test- und Zertifizierungsverfahren erforderlich. Die neuesten Entwicklungen auf den Gebieten der Positionsbestimmung (u.a. indoor GPS, A-GPS) und der Funkkommunikation (u.a. UWB, WiMax) sind fortlaufend zu untersuchen und gegebenenfalls in das Gesamtsystem zu integrieren.

Literaturverzeichnis

- [1] AACHEN, RWTH (Hrsg.): *Schema eines Braunkohlentagebaues im Rheinischen Revier*. Version: 2000. <http://www.rwe.com/generator.aspx/property=Data/id=116314/grafik40.pdf>. – Online-Ressource
- [2] KOOPMAN, Philip: *Distributed Embedded Systems / Carnegie Mellon*. 2002 (9). – Vorlesungsunterlagen. Version 1
- [3] WAGENKNECHT, Christian ; KARLSRUHE, Universität (Hrsg.): *Logistik - Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen*. 2001. – Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation
- [4] NET, Elektronik (Hrsg.): *FMS Standard*. Version: 2004. <http://www.elektroniknet.de>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [5] VERKEHRSWESEN, Hessisches L. (Hrsg.): *Unternehmenschancen im Bereich Verkehrstelematik*. 2000. – Unternehmenschancen im Bereich Verkehrstelematik. Boscüre. Hrsg. vom Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. Wiesbaden 2000
- [6] OCLANDFILLS (Hrsg.): *Caes*. Version: 2000. <http://www.oclandfills.com/caes.htm>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [7] QMITAB, Performance Training Pty. L. (Hrsg.): *Generic Induction Program Surface*. 1998. – Buderim Queensland. p. 6.14.
- [8] BACKES, Matthias ; GEOINFORMATIONEN; RHEINISCHE FRIEDRICH WILHELMS UNIVERSITÄT, Institut für Kartographie u. (Hrsg.): *Modelle in GIS: Landkarten, Netze, TIN's, Raster*. 2001. – Proseminar Geoinformation II
- [9] PETER LÖBER, Dieter D.: *Prozessleittechnik / Institut für Automatisierungstechnik, TU Bergakademie Freiberg*. 2002 (3). – Hochschulschrift. unveröffentlicht
- [10] SPECTRUM MANAGEMENT, The NTIA O. (Hrsg.): *United States Frequency Allocations - The Radio Spectrum*. Version: 2004. www.ntia.doc.gov/osmhome/allochrt.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [11] WAGNER, Thomas: *Konzeption eines Praktikumsversuches auf Basis des Aerocomm-Funksystems / Institut für Automatisierungstechnik, TU Bergakademie Freiberg*. 2004. – Hochschulschrift. Version 1
- [12] Norm DIN 22261-1 Dezember 2004. *Bagger, Absetzer und Zusatzgeräte in Braunkohlentagebauen - Teil 1: Bau, Inbetriebnahme und Überwachung*
- [13] *VDMA-e-market - Fördertechnik*. Version: 2005. <http://www.vdmarkt.de/de/produkte-dienstleistungen/fardertechnik/index.html>. – Online-Ressource, Abruf: 03.03.2005

- [14] *Hitachi Construction Machinery and Komatsu Reach Basic Agreement for Collaboration in Production and Procurement.* Version: 25. Juni 2001. <http://www.transportandconstruction.co.za/press/press5.html>. – Online-Ressource, Abruf: 2005-02-22. – Pressemitteilung der Vereinbarung
- [15] WEEK, NMA M. (Hrsg.): *Caterpillar produces 5,000th large mining truck.* Juni 2004
- [16] *Trolley Assist at Barrick Goldstrike.* Version: Juni 2000. <http://hutnyak.com/Pages/Links/trolleypaper1.html>. – Online-Ressource
- [17] *Trolley Assist Hutnyak Consulting.* Version: Juni 2000. <http://hutnyak.com/trolley.html>. – Online-Ressource
- [18] LESACCIDENTS, ASSOCIATION D'ASSURANCE C. (Hrsg.): *Unfallverhütungsvorschriften.* Version: Februar 2000. <http://www.aaa.lu/prescriptions/Unfallverhütungsvorschriften.htm>. – Online-Ressource
- [19] BELAZ, PRODUCTION A. (Hrsg.): *PRODUCTION ASSOCIATION BELAZ.* Version: Februar 2005. <http://belaz.minsk.by>. – Online-Ressource
- [20] CATERPILLAR (Hrsg.): *Caterpillar.* Version: Februar 2005. <http://www.cat.com>. – Online-Ressource
- [21] MACHINERY, HITACHI C. (Hrsg.): *HITACHI CONSTRUCTION MACHINERY GLOBAL.* Version: Februar 2005. <http://www.hcmac.com>. – Online-Ressource
- [22] KOMATSU (Hrsg.): *KOMATSU GROUP CONSTRUCTION & MINING EQUIPMENT.* Version: Februar 2005. <http://www.komatsu.com>. – Online-Ressource
- [23] GMBH, Liebherr-Holding (Hrsg.): *Firmengruppe LIEBHERR.* Version: Februar 2005. <http://www.liebherr.de>. – Online-Ressource
- [24] CORPORATION, TEREX (Hrsg.): *TEREX Corporation.* Version: Februar 2005. <http://www.terex.com>. – Online-Ressource
- [25] Co.KG, TEREX-KAELBLE GmbH (Hrsg.): *TEREX-KAELBLE GmbH & Co.KG.* Version: Februar 2005. www.kaelble.com. – Online-Ressource
- [26] MENIG, Cary: *Transportation Recorders on Commercial Vehicles.* In: *International Symposium on Transportation Recorders*, 1999, S. 177–203
- [27] HU, Tad Golosinski ;,: *Data Mining VIMS Data for Information on Truck Condition.* In: *APCOM*, 2001
- [28] FISCOR, Steve: *CAT Truck Teams With Michelin Tire To Increase Large Mining Truck's Payload.* In: *Coal Age* (2002), September
- [29] MICHELIN (Hrsg.): *Michelin Delivers Mining Industry's First Intelligent Tire Monitoring Solution.* Version: 2000. http://www.michelingc.com/na_eng/News/75.html. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [30] SENSORMAG (Hrsg.): *Integrated Vehicle Tire Monitoring.* Version: 2000. <http://www.sensormag.com/resources/businessdigest/sbd0402.shtml>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [31] WORLDMINING (Hrsg.): *Worldmining Bericht über MEMS.* Version: 2000. <http://www.wme.com/features/may01/mems.htm>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005

- [32] STANDARDIZATION, International O. (Hrsg.): *Environmental Management - The ISO 14000 Family of International Standards*. Version: 2003. <http://www.iso.ch/iso/en/iso9000-14000/iso14000/iso14000index.html>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [33] MINING, Modular (Hrsg.): *Modular Mining*. Version: 2000. <http://www.modularmining.com>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [34] MINESUITE (Hrsg.): *Real-Time Fleet Management & Production Reporting for Mining, Process Plant and Shipping Operations*. Version: 2000. www.minesuite.cl/pdfs/2page_fleet.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [35] MINESUITE (Hrsg.): *Real-time activity based mine management*. Version: 2000. www.minesuite.com/pdfs/rtabmm.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [36] MINESUITE (Hrsg.): *Remote Processor Unit (RPU)*. Version: 2000. <http://www.minesuite.com/pdfs/rpu.pdf>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [37] BAIDEN, Dr.Greg: Automation in Underground Metal Mining. Telemining: A next Step? In: *Annual General Meeting of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy*, 1998
- [38] SYSTEMS, Aquila M. (Hrsg.): *Aquila Mining Systems*. Version: 2000. <http://www.aquilamsl.com/frameset2.html>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [39] TRIMBLE (Hrsg.): *Trimble*. Version: 2000. <http://www.trimble.com>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [40] PIT (Hrsg.) ; QUARRY (Hrsg.): *A MineStar is born*. Version: 2000. <http://www.pitandquarry.com/pitandquarry/article/articleDetail.jsp?id=51292>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [41] MINESTAR (Hrsg.): *MineStar Software wins AIIA Innovation Award*. Version: 2000. [pr_minestar20aiaaward.pdf](http://www.minestar20aiaaward.pdf). – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [42] SNOW: Information technology applied to real time mining process. In: *New Zealand Minerals & Mining Conference*, 2000
- [43] MINING, International (Hrsg.): *Voice Commander System*. Version: 2000. <http://www.internationalmining.com.au/brochures/IMTVoiceCommander.pdf>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [44] MINING, International (Hrsg.): *IMT RadioModem9256*. Version: 2000. <http://www.internationalmining.com.au/brochures/IMTRadioModem9256.pdf>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [45] BAIDEN, Dr.Greg: *Telemining Systems applied to Hard Rock Metal Mining at Inco limited*. SME (Society of Mining Engineers), 2000
- [46] ASSOCIATION, European L. (Hrsg.): *Terminology in Logistics*
- [47] *Logistik; Grundbegriffe*. 1994 (DIN 69906)
- [48] BRUNTHALER, Dr. S. ; WILDAU, TFH (Hrsg.): *Logistik - Telematik I*. 2003
- [49] BRUNTHALER, Dr. S. ; WILDAU, TFH (Hrsg.): *Flottentelematik - Nutzung der Datenverarbeitung für das Flottenmanagement*. 2004
- [50] FMS-STANDARD, Working G. (Hrsg.): *FMS-Standard Interface description*. Version: 2000. <http://www.fms-standard.com>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005

- [51] WILLWATER, Dr. R. ; VDA (Hrsg.): *UPIK - Unique Partner Identification Key*. Version: 2004. www.vda.de/de/vda/intern/organisation/abteilungen/files/Upik_D_21_02_2002.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [52] LUTZ GOLLAN, Christoph M. ; TELEMATIK E.V., Trier Institut f. (Hrsg.): *Digitale Signaturen für Kraftfahrzeuge*. 2002
- [53] RUNKLER, Thomas A.: *Projekt NIVELLI - Nichtlineare Dynamik und Verteiltes Lernen in Produktion und Logistik*. 2002
- [54] GRAB, Herbert: Neuer Standard für Verkehrstelematik. In: *Funkschau* (1998), Nr. 9
- [55] AG, Bibliographisches Institut & F.A. B. (Hrsg.): *Duden - Die deutsche Rechtschreibung*. Mannheim : Bibliographisches Institut Mannheim, Dudenverlag, 2001. – ISBN 3-411-04012-2
- [56] BOLLMANN, Stefan (Hrsg.): *Kursbuch Neue Medien. Trends in Wirtschaft Politik, Wissenschaft und Kultur*. Mannheim : Universität Mannheim, 1995
- [57] DRESDEN, TU (Hrsg.): *Was verbirgt sich dahinter*. Version: 2000. <http://vini25.vkw.tu-dresden.de/vinn/faq/Wasverbirgtsichdahinter.pdf>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [58] IVM (Hrsg.): *integriertes Verkehrsmanagement in der Region Frankfurt RheinMain*. Version: 2003. <http://www.ivm-rheinmain.de/>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [59] KELLER, Prof. Dr./UCB H. ; AG, Prognos (Hrsg.): *Schlussbericht: Wirkungspotentiale der Verkehrstelematik zur Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsmittelnutzung*. 2001. – Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin (FE-Nr. 96.584/1999)
- [60] ROGER MÜLLER, Reinhardt J.: Logistik und Telematik. In: *Spektrum der Wissenschaft* (1996), September, S. 106
- [61] GOBIET, Werner ; KREMS, Donau-Universität (Hrsg.): *Verkehrstelematik- Einführung*. Mannheim, 2001
- [62] RADIO, Deutschland (Hrsg.): *Verbreitung von DAB in Deutschland*. Version: 2003. http://www.dradio.de/php_logic/dab/. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [63] GMBH, Klemmfix (Hrsg.): *PolVis*. Version: 2004. <http://www.klemmfix.de/informationmaterial.html#PolVis>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [64] TSR (Hrsg.): *TSR-Prinzip*. Version: 2004. <http://www.tsr-system.de/Index.php>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [65] FREYMAN, Raymond: Möglichkeiten und Grenzen von Fahrerassistenz- und aktiven Sicherheitssystemen. In: *Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenzsysteme*, 2004
- [66] LIEBHERR (Hrsg.): *Satellitendatenübertragungssystem LiSat*. 2004. – Produktbroschüre
- [67] AG, Siemens (Hrsg.): *RMC System- Robuster Mobiler Controller*. Nürnberg : Siemens AG, 1999
- [68] SCHOOL, Marriot (Hrsg.): *Caterpillar - GPS and IT*. Version: 2001. <http://marriottschool.byu.edu/teacher/mba693r/clarke/Caterpillar,%20GPS,%20and%20IT.ppt>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005

- [69] CATERPILLAR (Hrsg.): *CAES Safety improves at KCGM*. Version: 2003. http://www.caterpillar.com/products/shared/technology_products/pdf/caes_improves_safety_at_kcgm.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [70] CATERPILLAR (Hrsg.): *CAES - Overview*. Version: 2003. http://www.caterpillar.com/products/shared/technology_products/pdf/caes_overview_for_landfill.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [71] CARTER, Russel A.: High Tech at High Altitude. In: *Engineering & Mining Journal* (2002), Nr. 7
- [72] PEOPLE, Coal (Hrsg.): *Caterpillar*. Version: 2003. http://www.coalpeople.com/old_coalpeople/september03/article_caterpillar.htm. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [73] NIETO, Kadri Dagdelen; A.: *Proximity Warning System using Wireless Networks and GPS to improve safety and productivity in open pit mines*. 2002
- [74] TECHNOLOGY, Mining (Hrsg.): *HaulTag*. Version: 2004. <http://www.mining-technology.com/contractors/communications/minecom/>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [75] RUSTY MARK, Henk V. ; TECHNOLOGY, Mining (Hrsg.): *Collision Avoidance System for Large mining trucks*. 2004
- [76] LTD., International Mining Technologies P. (Hrsg.): *MineMate - Truck Collision Avoidance*. 2000
- [77] LANGE, Norbert: *Geoinformatik, in Theorie und Praxis*. 2002. – Berlin
- [78] OGC (Hrsg.): *OpenGIS Geography Markup Language (GML) Implementation Specification Version 3.1.0*. Version: 2004. <http://www.opengis.net/gml/>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [79] UNIVERSITY, Indiana (Hrsg.): *The Indiana Coal Mine Information System's*. Version: 2004. <http://igs.indiana.edu/geology/maps/coal/cmis/index.cfm>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [80] LICIA WEBER, James M. ; UNIVERSITY, Indiana (Hrsg.): *Indiana's Coal Mine Information System: Underground Coal Mine Maps and GIS Technology*. 2004
- [81] MINES, Minerals Virginia Department o. (Hrsg.) ; ENERGY (Hrsg.): *Virginia Mine Mapping Information System*. Version: 2004. <http://www.msha.gov/minemappingworkshop/PDF%20Files/11-Virginia.pdf>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [82] LAMPORT, Leslie: *Email an das DEC SRC Forum vom 28.Mai 1987*. <http://research.microsoft.com/users/lamport/pubs/distributed-system.txt>
- [83] TANENBAUM, Andrew: *Distributed Operating Systems*. Prentice Hall, 1995. – ISBN 0-13-219908-4
- [84] JUNG, Merten ; HARBURG, Technische Universität H. (Hrsg.): *Ereignisdiskrete Abstraktion dynamischer Systeme mit asynchronen Eingangsereignissen*. 2000
- [85] RONALD LANGE, Hans-Peter O. ; ELEKTRONIKNET (Hrsg.): *Gemeinsame Sprache für verteilte Automatisierungsgeräte*. Version: 2002. <http://www.elektroniknet.de/topics/automatisieren/fachthemen/2002/0010/>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005

- [86] LEWIS, R.: *Modelling Distributed Control Systems Using IEC 61499*. – ISBN 0–85296 796 9
- [87] MARIUS-PETRU STANCIA, Herve G. ; SYSTEMES HYBRIDES, Equipe A. (Hrsg.): *A Timed Automata Model of IEC 61499 Basic Function Blocks Semantic*
- [88] CHRISTENSEN, James H. ; MICHIGAN, Rockwell A. o. (Hrsg.): *International Standards for Open Distributed Automation*. 2000
- [89] CHRISTENSEN, James H. ; AUTOMATION, Rockwell (Hrsg.): *The IEC 61499 Standard: Concepts and R&D Resources*. 2002
- [90] HARALD WURMUS, Wagner B.: IEC 61499 konforme Beschreibung verteilter Steuerungen mit Petri-Netzen. In: KOMMUNIKATION E.V., Ifak I. u. (Hrsg.): *Fachtagung 2000 'Verteilte Automatisierung*, Ch. Döscher, März 2000
- [91] WURMUS, Harald: Ein Petri-Netz-basiertes Komponentenmodell für den Entwurf verteilter Steuerungen von fertigungstechnischen Prozessen. In: GMA (Hrsg.): *GMA Kongress 2001 - Automatisierungstechnik im Spannungsfeld neuer Technologien*, 2001
- [92] ANDERS, Gert: ??? / Institut für Automatisierungstechnik, TU Bergakademie Freiberg. 2005. – Hochschulschrift. unveröffentlicht
- [93] *Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik*. 2003 (VDI/VDE 2185). – VDI/VDE Richtlinie
- [94] GROUP, IETF MANET W. (Hrsg.): *Mobile Ad-hoc Networks (manet) - Working Group*. Version: 2004. <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [95] GROUP, IETF MANET W. (Hrsg.): *The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)*. 2004
- [96] KRAUSE, D. ; SULZERSTS (Hrsg.): *Positionsabhängige Steuerung der Laserleistung*. Version: 2001. http://www.sulzersts.com/pdf/2001_04_Krause_d.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [97] ROTH, J. ; HAGEN, FernUniversität (Hrsg.): *Mobile Computing*. 2003. – Kapitel 8 Folie 14
- [98] DIGGELEN, Charles A. v. ; GLOBAL LOCATE, Inc. (Hrsg.): *Indoor GPS Technology*
- [99] PUSCHMANN, Falk: DGPS zur Verbesserung des ABB-Projektes / Staatliche Studienakademie Glauchau. 2005. – vertrauliches, internes Arbeitspapier. unveröffentlicht
- [100] NATIONALES METROLOGIE-INSTITUT, Österreich (Hrsg.): *Zeit und Frequenzmessung*. Version: 2000. http://www.metrologie.at/z_f_astro.html. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [101] ARBEIT, Bundesministerium für Wirtschaft u. (Hrsg.): *Physikalisch Technische Bundesanstalt*. Version: 2002. <http://www.ptb.de/>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [102] BUNDESGESETZBLATT 1978, Teil I. (Hrsg.): *Gesetz über die Zeitbestimmung (Zeitgesetz)*. Version: 1994. <http://www.heret.de/funkuhr/liste.htm>. – 1110–1111 S. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [103] KIRCHNER, D.: *Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer (TWSTFT): Principle, Implementation, and Current Performance*. 1999. – 27–44 S. – Rev. of Radio Sci. 1996-1999

- [104] OBSERVATORY, U.S. N. (Hrsg.): *GPS Time Transfer Performance*. Version: 2003. <ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpstt.txt>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [105] GMBH, Linum S. (Hrsg.): *DCF77 - Das Kodierschema*. Version: 1996. <http://www.dcf77.de/deutsch/kodierung.htm>. – Online-Ressource, Abruf: 12.01.2005
- [106] HERET, Robert (Hrsg.): *Reichweite des DCF77-Senders*. Version: 1998. <http://www.heret.de/funkuhr/reichw.htm>. – Online-Ressource, Abruf: 12.01.2005
- [107] REGA, B. ; GMBH, Elektronik (Hrsg.): *Arbeitsweise und Genauigkeitsvergleich DCF77 und GPS Zeitempänger*. Version: 1999. <http://www.hopf.com/de/dcf-gps.htm>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [108] HEISS, H.-U.: *Verteilte Kooperation / TU Berlin*. 2004. – Hochschulschrift. <http://kbs.cs.tu-berlin.de/teaching/sose2004/bsvum/fohlen/bsvu6.pdf>
- [109] MILLS, David L. ; G409/J175, DARPA Information Technology Office O. (Hrsg.): *A Brief History of NTP Time: Confessions of an Internet Timekeeper*. 2001. – Contract F30602-98-1-0225, and Digital Equipment Corporation Research Agreement 1417.
- [110] LAMPORT, Leslie ; ACM, Communications of t. (Hrsg.): *Time, Clocks, and the Ordering of Events in a Distributed System*. Oktober 1978. (7)
- [111] GÄRTNER, Felix (Hrsg.): *Logische Zeit*. Version: 2002. <http://www.dvs1.informatik.tu-darmstadt.de/lectures/ss02/va/fohlen/03logical-time.pdf>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [112] INSTRUMENTATION, IEEE (Hrsg.) ; SOCIETY, Measurement (Hrsg.): *1588 - IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems*. November 2002
- [113] WEIBL, Hans: *Uhren mit IEEE 1588 synchronisieren*
- [114] WEIBL, Hans: *IEEE 1588, Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems*. http://home.zhwin.ch/~wei/IEEE1588/IEEE_1588_Tutorial_ITG.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [115] J. POSTEL, K. H.: *Time Protocol*. Version: Mai 1983. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc868.txt>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [116] MILLS, David L. ; LABORATORIES, COMSAT (Hrsg.): *DCNET Internet Clock Service*. Version: Oktober 1981. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc778.txt>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [117] MILLS, David L.: *Algorithms for Synchronizing Network Clocks*. Version: September 1985. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc956.txt>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [118] MILLS, David L.: *DCN Local-Network Protocols*. Version: Dezember 1983. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc891.txt>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [119] MILLS, David L.: *Network Time Protocol (NTP)*. Version: September 1985. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc958.txt>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [120] MILLS, David L.: *Network Time Protocol (Version 3) Specification, Implementation and Analysis*. Version: März 1992. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1305.txt>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005

- [121] MILLS, David L.: *Simple Network Time Protocol (SNTP) Version 4 for IPv4, IPv6 and OSI*. Version: Oktober 1996. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2030.txt>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [122] MARRON, Pedro J.: *Data Management in Mobile Environments*. 2004
- [123] BAUMGARTEN, Uwe: *Mobile Verteilte Systeme - Kapitel 1*. Version: 2002. <http://www.spies.informatik.tu-muenchen.de/MVS/MVS-Kap01.pdf>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [124] KUANG-HWEI CHI, Li-Hsing Y.: *A Causal Multicast Protocol for Mobile Distributed Systems / IEICE TRANS.* 2000 (83). – Diskussionspapier
- [125] JIN JING, AHMED E.: *Client-Server Computing in Mobile Environments / ACM Computing Surveys*. 1999 (2). – Diskussionspapier
- [126] VOSWINCKEL, Till: *Mobilität - Seminararbeit: Mobile Commerce*. 2002
- [127] HEISS, Hans U.: *Verteilte Systeme*. 2002
- [128] MATTERN, Friedemann: *Verteilte Systeme*. 2004
- [129] WILLIG, Andreas ; ELECTRONICS, IEEE TRANSACTIONS ON I. (Hrsg.): *Polling-based MAC Protocols for Improving Real-Time Performance in a Wireless PROFIBUS*. Oktober 2001
- [130] WILLIG, Andreas ; HASSO-PLATTNER-INSTITUT, Universität P. (Hrsg.): *Wireless LAN Technology for the Factory Floor*. März 2003
- [131] BERGE, Jonas: *LEGACY SYSTEMS: WIRELESS AND ETHERNET IN SCADA REVAMP*. Version: 2000. <http://ethernet.industrial-networking.com/ieb/articles.asp>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [132] SAFECOM (Hrsg.): *Safedat WL-4*. Version: 2000. <http://www.safecom.ch>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [133] MAGDEBURG, IFAK e.V. (Hrsg.): *High Performance Wireless Fieldbus In Industrial Related Multi-Media Environment*. Version: 1999. <http://thor.ifak-md.de/index.php?id=331>. – Online-Ressource. – IST Project-1999-11316
- [134] MATTERN, Friedemann: *Verteilte Systeme*. Version: 2000. http://www.vs.inf.ethz.ch/edu/SS2000/DS/VertSys2000_2.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [135] SAMADI, Mahdi: *Survey of Deadlock Detection In Distributed Operating*. Version: 2004. <http://mehr.sharif.edu/~msamadi/links/Deadlock.pdf>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [136] BOFINGER, Jan-Martin: *Analyse und Implementierung eines Verfahrens zur Referenzierung geographischer Objekte*. 2001
- [137] ALEXANDER LEONHARDI, Kurt R.: *A Comparison of Protocols for Updating Location Information*. 2000
- [138] SCHRÖDTER, Frank: *GPS Satelliten Navigation: Technik, Systeme, Geräte, Funktionen und praktischer Einsatz*. Poing : Franzis-Verlag GmbH, 85586 Poing, 1994. – ISBN 3-7723-6682-1
- [139] E.PERKINS, Charles (Hrsg.): *Mobile Networking Through Mobile IP*. Version: 1997. <http://www.computer.org/internet/v2n1/perkins.htm>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005

- [140] *Kapitel Wireless Networks*. In: GREGORY D. ABOWD, Mike P.: *Cyberguide: A Mobile Context-Aware Tour Guide*. 1997, S. 421–433
- [141] *Kapitel Wireless Networks*. In: JIN JING, Ahmed E.: *Client-Server Computing in Mobile Environments*. ACM Computing Surveys (CSUR), 1999, S. 117–157
- [142] KIND, Andreas ; KOBLENZ-LANDAU, Universität (Hrsg.): *Positionsbestimmung Seminar Mobile Systeme*. Version: 2003. www.uni-koblenz.de/~agrt/lehre/ss2003/seminar/andreas_kind.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [143] P. KRISHNAN, A. S. K.: *Location Estimation Assisted by Stationary Emitters for Indoor RF Wireless Networks / WINLAB*, Rutgers University. 2004. – Hochschulschrift
- [144] P. PRASITHSANGAREE, P. K.: *ON INDOOR POSITION LOCATION WITH WIRELESS LANS / University of Pittsburgh*. 2002. – Hochschulschrift
- [145] PARAMVIR BAHL, Venkata N. P.: *Enhancements to the RADAR User Location and Tracking System / Microsoft Research*. Version: Februar 2000. <http://research.microsoft.com/~padmanab/papers/msr-tr-2000-12.pdf>. – Technical Report. – Elektronische Ressource
- [146] ELSON, Jeremy E. ; CALIFORNIA LOS ANGELES, University of (Hrsg.): *Time Synchronization in Wireless Sensor Networks*. 2003. – Dissertation
- [147] TECHNOLOGY, Tampere U. (Hrsg.): *IEEE 1588 - Precision Time Protocol Prototype on Wireless LAN*. 1995
- [148] LOMBARDI, M.A.: *Time and Frequency Measurements Using the Global Positioning System (GPS)*. 2001. – Proc. Measurement Science Conference, Anaheim, CA, USA
- [149] ROHRBACHER, Kai ; ACOR (Hrsg.): *Maximale BTS-Reichweite*. Version: 1995. <http://home.arcor.de/andre.t/mf/gsmtech1.htm>. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [150] CHRISTOPH LUDEWIG, Kai K. ; SERVICES, DaimlerChrysler (Hrsg.): *Fleetboard Fahrzeugmanagement Dienste: Einsparpotentiale jetzt für Fahrzeuge aller Marken*. 2004
- [151] POST, RegTP R. u. (Hrsg.): *Frequenznutzungsplan gemäß TKG über die Aufteilung des Frequenzbereiches von 9KHz bis 275 GHz auf die Frequenznutzung sowie über die Festlegung für diese Frequenznutzung*. Version: 2004. http://www.regtp.de/imperia/md/content/reg_tele/frequenznutzung/frequenznutzungsplan.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [152] LERCH, Erich ; AG, Flytec (Hrsg.): *Höhenkorrektur bei Höhenmessern*. Version: 2002. www.intersema.ch/site/technical/files/flytec_heightcorrection_german.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [153] Schutzrecht EP 996004 A2 (April 2000). HERMANN, Jürgen (Erfinder).
- [154] Schutzrecht EP 1166142 B1 (März 2003). BIDE, Stephen (Erfinder).
- [155] Schutzrecht DE 2421796 A1 (Mai 1974). CORP., Sperry R. (Erfinder).
- [156] Schutzrecht PN 0058744 A1 (März 1999). STEPHEN, Torvet (Erfinder).
- [157] LTD., Roke Manor R. (Hrsg.): *The UK Frequency ALLOCATIONS*. Version: 2004. www.roke.co.uk/download/datasheets/UK_Radio_Frequency_Allocations.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005

- [158] DRAEGER, Michael: OTN-Netz im Tagebau: Service, Erfahrungen, Analysen. In: KOMMUNIKATION E.V., Ifak I. u. (Hrsg.): *ABB-Kundentage CoE Open Pit Mining*, ABB - Cottbus, August 2003
- [159] P. BURGWINKEL, Dr.F.Rensmann ; AACHEN, RWTH (Hrsg.): *Lokomotivüberwachung und Instandhaltungsmanagement via Internet und Satellit*. Version: 2002. www.rudi-web.de/ger/publikation/publikationtext/rudipdf.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [160] DR.F.RENSMANN ; FAHRZEUGTECHNIK, RENSMANN (Hrsg.): *FAHRZEUG-ÜBERWACHUNG & FUHRPARKMANAGEMENT*. Version: 2001. www.rudi-web.de/ger/publikation/publikationtext/rudi-prospekt.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [161] Fahrzeugüberwachung und Fuhrparkinstandhaltung mittels Telediagnose / TU Dresden. 2000. – Tagungsband 4. Schienenfahrzeugtagung. – 108–110 S
- [162] Fahrzeugüberwachung und Fuhrparkmanagement von europaweit eingesetzten Schienenfahrzeugen / RWTH Aachen. 2002. – Tagungsband 4. Aachener Kolloquium für Instandhaltung, Diagnose und Anlagenüberwachung. – 417–432 S
- [163] Kostenersparnis durch den Einsatz eines Online-Überwachungssystems auf Schienenfahrzeugen: Zahlen-Fakten-Beispiele. 2003. – Tagungsband 6. Internationale Schienenfahrzeugtagung. – 142–145 S
- [164] HENSCHERL, Michael: Entwicklung und Implementierung des serverseitigen Datenhandlings in einer mobilfunkbasierten Client-Server-Umgebung / Institut für Automatisierungstechnik, TU Bergakademie Freiberg. 2002. – Hochschulschrift. Version 1
- [165] TECHNOLOGY, Renesas (Hrsg.): *Renesas : Company Info*. Version: 2004. http://www.renesas.com/fmwk.jsp?fp=/company_info&cnt=company_info.jsp&site=i. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [166] AG, Falcom (Hrsg.): *Falcom JP3-Modul Handbuch* <http://www.falcom.de/e/e-body-produkte-jp3.html>
- [167] ASSOCIATION, NATIONAL MARINE E. (Hrsg.): *NMEA 0183 - STANDARD FOR INTERFACING MARINE ELECTRONIC DEVICES Version 2.00*. 1992
- [168] INTERSEMA (Hrsg.): *MS5534B Altimeter/Barometer Module*. Version: 2004. <http://www.intersema.ch/site/technical/ms5534.php>. – Online-Ressource
- [169] KÜHNEL, Claus: *Programmieren der AVR RISC Mikrocontroller mit BASCOM-AVR*. Wien, 2000. – Seite 231 ff S. – ISBN 3–89811–937–8
- [170] GMBH, Digades (Hrsg.): *Funkmodem DFM 10*. Version: 1999. http://www.digades.de/files/new_mediagallery/Produkte/Standard_PDF/DFM10N_Funkmodem_Datenblatt.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [171] AG, Siemens (Hrsg.): *Cellular Engine M20 Terminal*. Version: 1999. http://www.siemens.com/page/1,3771,1150114-30-999_0_0-43,00.html. – Online-Ressource, Abruf: 01.01.2005
- [172] Co.KG, Catttron-Theimeg Europe GmbH (Hrsg.): *Datenfunksysteme*. Version: 2004. <http://www.theimeg.de/www/datenfd.htm>. – Online-Ressource

- [173] INDUSTRY, Aerocomm Instant W. (Hrsg.): *Aerocomm Instant Wireless for Industry*. Version: 2004. <http://www.aerocomm.com/>. – Online-Ressource
- [174] MARTIN, Michael: Entwicklung und Implementierung eines Algorithmenkonzeptes für mobilfunkbasierte Steuerungssysteme / Institut für Automatisierungstechnik, TU Bergakademie Freiberg. 2000. – Hochschulschrift
- [175] AG, Siemens (Hrsg.): *RMC-System: Monitoring, Diagnose, Ortung für Transport & Logistik*. Nürnberg : Siemens AG, 2000
- [176] INDUSTRY, Aerocomm Instant W. (Hrsg.): *Aerocomm A4424 Manual*. Version: 2001. <http://www.aerocomm.com/OEM/AC4424.htm>. – Online-Ressource
- [177] CO.KG, Cattron-Theimeg Europe GmbH (Hrsg.): *Mobile Funkterminals der Serie 8200*. 2004
- [178] AG, Siemens (Hrsg.): *Punkt-zu-Punkt-Kopplung CP 341 Aufbauen und Parametrieren*. Nürnberg : Siemens AG, 2000
- [179] DEPT., Customer S. (Hrsg.): *M16C / 6N0 / 6N1 Group SINGLE-CHIP 16-BIT CMOS MICROCOMPUTER*. Renesas Technology Corp., 2003
- [180] CATERPILLAR (Hrsg.): *797B Mining Truck*. Version: Juni 2004. <http://cmms.cat.com/cmms/specgraphics/C054442.pdf>. – Online-Ressource
- [181] RODDY, Dennis: *Satellitenkommunikation: Grundlagen - Satelliten - Übertragungssysteme*. London : Carl Hanser Verlag München, 1991. – ISBN 3-446-16000-0
- [182] HAASS, Wolf D.: *Handbuch der Kommunikationsnetze: Einführung in die Grundlagen und Methoden der Kommunikationsnetze*. Berlin : Springer Verlag Berlin, 1997. – ISBN 3-540-61837-6
- [183] CONRADS, Dieter: *Datenkommunikation: Verfahren, Netze, Dienste*. Wiesbaden : Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1996. – ISBN 3-528-24589-1
- [184] T.BENKNER, K.David und: *Digitale Mobilfunksysteme*. Stuttgart : B.G. Teubner Stuttgart, 1996. – ISBN 3-519-06181-3
- [185] M.BREITBACH, M.Bossert und: *Digitale Netze*. Stuttgart : B.G. Teubner Stuttgart, 1999. – ISBN 3-519-06191-0
- [186] FREYER, U.: *Nachrichtenübertragung*. München : Hanser Verlag München, 2000. – ISBN 3-446-21407-0
- [187] WALKE, B.: *Mobilfunknetze und ihre Protokolle Band 1*. B.G.Teubner Verlag Leipzig Wiesbaden, 2000. – ISBN 3-519-16430-2
- [188] BIALA, J.: *Mobilfunk und Intelligente Netze*. vieweg Verlag Leipzig Wiesbaden, 1996. – ISBN 3-528-15302-4
- [189] JUNG, Warnecke: *Handbuch für die Telekommunikation*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1996. – ISBN 3-540-42795-3
- [190] K.A.: *Handbuch für die Telekommunikation*. 1977
- [191] KUCHTA, M.: *Open Pit Mine: Planning & Design Volume 1*. A.A.Balkema Rotterdam, 1995. – ISBN 90-5410-184-9

- [192] KUCHTA, M.: *Open Pit Mine: Planning & Design Volume 2*. A.A.Balkema Rotterdam, 1995. – ISBN 90-5410-185-7
- [193] BAUER, M.: *Vermessung und Ortung mit Satelliten*. Wichmann, 1997. – ISBN 3-87907-309-0
- [194] CAP, Clemens (Hrsg.): *Zeit in verteilten Systemen*. Version:2003. <http://www.physik.uni-rostock.de/aktuell/Ring/cap.pdf>. – Online-Ressource
- [195] HWAS, Abdulhamid: Untersuchungen zu Aufbau, Eigenschaften und Einsatz Mobilfunknetzgekoppelter mobiler Automatisierungssysteme / Institut für Automatisierungstechnik, TU Bergakademie Freiberg. 2001. – Diplomarbeit
- [196] SCHNEIDER, Daniela: Entwicklung von Dispatcher-Arbeitsplatz-Masken für Mobile Funktechnik im Tagebau / Staatliche Studienakademie Bautzen. 2001. – Hochschulschrift
- [197] MATTHES, Thomas: Die Erstellung dynamischer HTML-Seiten unter Verwendung von MySQL-Datenbanken und der Skriptsprache PHP4. / Berufliches Schulzentrum, Glauchau. 2001. – Praktikumsbericht
- [198] MARTIN, Michael: GPS-Einsatz im Tagebau: Möglichkeiten und Systemgrenzen. In: AUTOMATISIERUNGSTECHNIK TU BAF, Institut für (Hrsg.): *ABB-Kundentage CoE Open Pit Mining*, ABB - Cottbus, August 2003
- [199] MARTIN, Michael: Mobile Technik - Positions- und Messdatenerfassung. In: SPEZIALTIEFBAU, Institut für Bergbau u. (Hrsg.): *Baustoffe - nachhaltig gewinnen und nutzen*, 2004. – ISBN 3-86012-234-7
- [200] MARTIN, Michael: Mobilfunkbasiertes Systemkonzept für die Automatisierung von mobiler Technik in Tagebauen und Minen. In: IWK 2004, 49. Internationales Wissenschaftliches K. (Hrsg.): *Conference Proceedings*, Shaker Verlag Aachen, September 2004. – ISBN 3-8322-2824-1, S. 405-411
- [201] MARTIN, Michael: Funkbasiertes Leitsystem für mobile Technik in Tagebauen und Minen. In: IWKM 2002, 15. Internationale Wissenschaftliche K. (Hrsg.): *Conference Proceedings*, Hochschule Mittweida, September 2002. – ISSN 1437-7624, S. 91-98
- [202] MARTIN, Michael: Steuerungskonzept für mobilfunkbasierte Verkehrsleiteinrichtungen kleiner Reichweite. In: IWKM 2000, 14. Internationale Wissenschaftliche K. (Hrsg.): *Conference Proceedings*, Hochschule Mittweida, September 2002. – ISSN 1437-7624, S. 151-156
- [203] LÖBER P., Martin M. ; AUTOMATISIERUNGSTECHNIK, Institut für (Hrsg.): *Studie Offene verteilte Automatisierung*. TU Bergakademie Freiberg, 2000. – 23-24 S
- [204] MARTIN, Michael: Mobiles Steuerungskonzept. In: IWK 2001, 46. Internationales Wissenschaftliches K. (Hrsg.): *Conference Proceedings*, Shaker Verlag Aachen, September 2001
- [205] MARTIN, Michael: Mobiles Steuerungskonzept. In: BHT 2001, 52. Berg-und Hüttenmännischer T. (Hrsg.): *Conference Proceedings*, TU Bergakademie Freiberg, Juni 2001
- [206] MARTIN, Michael: Entwicklung und Implementierung eines Algorithmenkonzeptes für mobilfunkbasierte Steuerungssysteme / Institut für Automatisierungstechnik, TU Bergakademie Freiberg. 2000. – Hochschulschrift
- [207] MARTIN, Michael: Mobilfunkbasiertes Steuerungskonzept für ein autarkes verkehrstechnisches Leitsystem. In: IWK 2000, 45. Internationales Wissenschaftliches K. (Hrsg.): *Conference Proceedings*, 2000. – ISSN 0943-7207, S. 848-853

Abkürzungsverzeichnis

ABS	.....	<u>A</u> nti- <u>B</u> lockier- <u>S</u> ystem
ACEA	.....	<u>A</u> ssociation des <u>C</u> onstructeurs <u>E</u> uropéens d' <u>A</u> utomobiles
ADR	.....	<u>A</u> stra <u>D</u> igital <u>R</u> adio
AFLT	.....	<u>A</u> dvanced <u>F</u> orward <u>L</u> ink <u>T</u> rilateration
AMDS	.....	<u>A</u> dvanced <u>M</u> etering <u>D</u> ata <u>S</u> ystem
AMPS	.....	<u>A</u> dvanced <u>M</u> obile <u>P</u> hone <u>S</u> ervice
AoA	.....	<u>A</u> nge of <u>A</u> rrival
ARI	.....	<u>A</u> utofahrer <u>R</u> undfunk <u>I</u> nformationen
ARPS	.....	<u>A</u> mateur <u>R</u> adio <u>P</u> aging <u>S</u> ystem
ARTS	.....	<u>A</u> dvanced <u>R</u> adio <u>T</u> echnology <u>S</u> ubcommittee
ASI	.....	<u>A</u> dvanced <u>S</u> ystems <u>I</u> ntegration
AVRS	.....	<u>A</u> utomatic <u>V</u> IMS <u>R</u> eporting <u>S</u> ystem
BDE	.....	<u>B</u> etriebsdatenerfassung
BIPM	.....	<u>B</u> ureau <u>I</u> nternational des <u>P</u> oids et <u>M</u> esures
BOS	.....	<u>B</u> ehörden und <u>O</u> rganisationen mit <u>S</u> icherheitsaufgaben
BPSK	.....	<u>B</u> inary <u>P</u> hase <u>S</u> hift <u>K</u> eyping
BSS	.....	<u>B</u> roadcast <u>S</u> atellite <u>S</u> ervice
CAES	.....	<u>C</u> omputer <u>A</u> ided <u>E</u> arthmoving <u>S</u> ystem
CDMA	.....	<u>C</u> ode <u>D</u> ivision <u>M</u> ultiple <u>A</u> ccess
CEMS	.....	<u>C</u> aterpillar <u>E</u> lectronic <u>M</u> onitoring <u>S</u> ystem
CoO	.....	<u>C</u> ell of <u>O</u> origin
CRM	.....	<u>C</u> ustomer <u>R</u> elationship <u>M</u> anagement
CSMA/CA	.....	<u>C</u> arrier <u>S</u> ense <u>M</u> ultiple <u>A</u> ccess / <u>C</u> ollision <u>A</u> voidance
DAB	.....	<u>D</u> igital <u>A</u> udio <u>B</u> roadcast
DAMPS	.....	<u>D</u> igital- <u>A</u> dvanced <u>M</u> obile <u>P</u> hone <u>S</u> ervice
DAT	.....	<u>D</u> istributed <u>A</u> ntenna <u>T</u> ranslator
DCS1800	.....	<u>D</u> igital <u>C</u> ellular <u>S</u> ystem 1800MHz
DECT	.....	<u>D</u> igital <u>E</u> nhanced <u>C</u> ordless <u>T</u> elecommunications
DEI	.....	<u>D</u> rilling <u>E</u> fficiency <u>I</u> ndicator
DGPS	.....	<u>D</u> ifferenzielles <u>G</u> PS
DIRC	.....	<u>D</u> igitale <u>I</u> nter <u>R</u> elay <u>C</u> ommunication
DOP	.....	<u>D</u> ilution of <u>P</u> recision
DSR	.....	<u>D</u> igital <u>S</u> atellit <u>R</u> adio
DSRC	.....	<u>D</u> edicated <u>S</u> hort <u>R</u> ange <u>C</u> ommunication
DSSS	.....	<u>D</u> irect <u>S</u> equence <u>S</u> pread <u>S</u> pectrum
DTH	.....	<u>D</u> irect-to- <u>H</u> ome
DTS	.....	<u>D</u> istributed <u>T</u> ime <u>S</u> ervice
DVB	.....	<u>D</u> igital <u>V</u> ideo <u>B</u> roadcast
E-OTD	.....	<u>E</u> nhanced <u>O</u> bserved <u>T</u> ime <u>D</u> ifference
EDACS	.....	<u>E</u> nhanced <u>D</u> igital <u>A</u> ccess <u>C</u> ommunication <u>S</u> ystem

EDGE	Enhanced Data GSM Environment
EFLT	Enhanced Forward Link Trilateration
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
ELA	European Logistics Association
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
ERMES	European Radio Message System
ERP	Effective Radiated Power
ERP	Enterprise Resource Planning
ESP	elektronisches Stabilitätsprogramm
FCC	Federal Communications Commission
FCD	Floating Car Data
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FMS	Flottenmanagementsystem
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunications System
FPS	Fleet Protocol Server
FSS	Fixed Satellite System
FZ	Funktionszelle
GATS	Global Automotive Telematics Standard
GIS	Geographische Informationssystem
GML	Geography Markup Language
GMT	Greenwich Mean Time
GNSS	Global Navigation Satellite System
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
GUS	Gemeinschaft Unabhängiger Staaten
HAP	High Altitude Platform
HORTA	Honeywell Ore Retrieval and Tunneling Aid
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
IALA	International Association of Lighthouse Authorities
iDEN	integrated Digital Enhanced Network
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMS	Integrated Mining System
IMT	International Mining Technologies
IRIS-LPS	Infrared Indoor Scout- Local Positioning System
ITS	Intelligent Transport System
JCT	Japanese Cordless Telephone
LEO	Low Earth Orbit
LINCS	LeTourneau Integrated Network Control System
LPM	Location Pattern Matching
MBS	Mobile Broadband System
MDE	Maschinendatenerfassung
MDMA	Multi Dimensional Multiple Access
MEMS	Michelin Earthmover Management System
MES	Manufacturing Execution System
METS	Mining and Earthmoving Technology System

MMC	.....	<u>M</u> <u>u</u> <u>l</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>m</u> <u>e</u> <u>d</u> <u>i</u> <u>a</u> <u>c</u> <u>a</u> <u>r</u> <u>d</u>
MMI	.....	<u>M</u> <u>a</u> <u>n</u> <u>-</u> <u>M</u> <u>a</u> <u>c</u> <u>h</u> <u>i</u> <u>n</u> <u>e</u> <u>-</u> <u>I</u> <u>n</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>f</u> <u>a</u> <u>c</u> <u>e</u>
MMS	.....	<u>M</u> <u>i</u> <u>n</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>m</u> <u>a</u> <u>n</u> <u>a</u> <u>g</u> <u>e</u> <u>m</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>t</u> <u>s</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u>
MOS	.....	<u>M</u> <u>i</u> <u>n</u> <u>i</u> <u>n</u> <u>g</u> <u>O</u> <u>p</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>S</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u>
MSAS	.....	<u>M</u> <u>u</u> <u>l</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>-</u> <u>F</u> <u>u</u> <u>n</u> <u>c</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>S</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>l</u> <u>l</u> <u>i</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>A</u> <u>u</u> <u>g</u> <u>m</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>t</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>S</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u>
MSS	.....	<u>M</u> <u>o</u> <u>b</u> <u>i</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>S</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>l</u> <u>l</u> <u>i</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>S</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u>
MVS	.....	<u>M</u> <u>o</u> <u>b</u> <u>i</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>v</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>i</u> <u>l</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>S</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u> <u>e</u>
MVSS	.....	<u>M</u> <u>o</u> <u>b</u> <u>i</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>s</u> <u>v</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>i</u> <u>l</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>s</u> <u>S</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>u</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>u</u> <u>n</u> <u>g</u> <u>s</u> <u>s</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u>
MWBA	.....	<u>M</u> <u>o</u> <u>b</u> <u>i</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>W</u> <u>i</u> <u>r</u> <u>e</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>s</u> <u>s</u> <u>B</u> <u>r</u> <u>o</u> <u>a</u> <u>d</u> <u>b</u> <u>a</u> <u>n</u> <u>d</u> <u>A</u> <u>c</u> <u>c</u> <u>e</u> <u>s</u> <u>s</u>
NAMPS	.....	<u>N</u> <u>a</u> <u>r</u> <u>r</u> <u>o</u> <u>A</u> <u>d</u> <u>v</u> <u>a</u> <u>n</u> <u>c</u> <u>e</u> <u>d</u> <u>M</u> <u>o</u> <u>b</u> <u>i</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>P</u> <u>h</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>e</u> <u>S</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>v</u> <u>i</u> <u>c</u> <u>e</u>
NAMTS	.....	<u>N</u> <u>i</u> <u>p</u> <u>p</u> <u>o</u> n <u>A</u> <u>d</u> <u>v</u> <u>a</u> <u>n</u> <u>c</u> <u>e</u> <u>d</u> <u>M</u> <u>o</u> <u>b</u> <u>i</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>T</u> <u>e</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>p</u> <u>h</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>e</u> <u>S</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u>
NMEA	.....	<u>N</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>M</u> <u>a</u> <u>r</u> <u>i</u> <u>n</u> <u>e</u> <u>E</u> <u>d</u> <u>u</u> <u>c</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>o</u> <u>r</u> <u>s</u> <u>A</u> <u>s</u> <u>s</u> <u>o</u> <u>c</u> <u>i</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u>
NMT450	.....	<u>N</u> <u>o</u> <u>r</u> <u>d</u> <u>i</u> <u>c</u> <u>M</u> <u>o</u> <u>b</u> <u>i</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>T</u> <u>e</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>p</u> <u>h</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>e</u> <u>4</u> <u>5</u> <u>0</u> <u>M</u> <u>H</u> <u>z</u>
NPAD	.....	<u>N</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>P</u> <u>r</u> <u>o</u> <u>g</u> <u>r</u> <u>a</u> <u>m</u> <u>A</u> <u>s</u> <u>s</u> <u>i</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>d</u> <u>D</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>a</u>
NTP	.....	<u>N</u> <u>e</u> <u>t</u> <u>w</u> <u>o</u> <u>r</u> <u>k</u> <u>T</u> <u>i</u> <u>m</u> <u>e</u> <u>P</u> <u>r</u> <u>o</u> <u>t</u> <u>o</u> <u>c</u> <u>o</u> <u>l</u>
ODBC	.....	<u>O</u> <u>p</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>D</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>a</u> <u>B</u> <u>a</u> <u>s</u> <u>e</u> <u>C</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>n</u> <u>e</u> <u>c</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>v</u> <u>i</u> <u>t</u> <u>y</u>
OFDM	.....	<u>O</u> <u>r</u> <u>t</u> <u>h</u> <u>o</u> <u>g</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>a</u> <u>l</u> <u>F</u> <u>r</u> <u>e</u> <u>q</u> <u>u</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>c</u> <u>y</u> <u>D</u> <u>i</u> <u>v</u> <u>i</u> <u>s</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>M</u> <u>u</u> <u>l</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>p</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>x</u>
OGC	.....	<u>O</u> <u>p</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>G</u> <u>e</u> <u>o</u> <u>s</u> <u>p</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>a</u> <u>l</u> <u>C</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>s</u> <u>o</u> <u>r</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>u</u> <u>m</u>
OSF	.....	<u>O</u> <u>p</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>S</u> <u>o</u> <u>f</u> <u>t</u> <u>w</u> <u>a</u> <u>r</u> <u>e</u> <u>F</u> <u>o</u> <u>u</u> <u>n</u> <u>d</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u>
OTDOA-IPDL	.....	<u>O</u> <u>b</u> <u>s</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>v</u> <u>e</u> <u>d</u> <u>T</u> <u>i</u> <u>m</u> <u>e</u> <u>D</u> <u>i</u> <u>f</u> <u>f</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>c</u> <u>e</u> <u>o</u> <u>f</u> <u>A</u> <u>r</u> <u>r</u> <u>i</u> <u>v</u> <u>a</u> <u>l</u> - <u>I</u> <u>d</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>P</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>d</u> <u>D</u> <u>o</u> <u>w</u> <u>n</u> <u>L</u> <u>i</u> <u>n</u> <u>k</u>
PACS	.....	<u>P</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>s</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>A</u> <u>c</u> <u>c</u> <u>e</u> <u>s</u> <u>s</u> <u>C</u> <u>o</u> <u>m</u> <u>m</u> <u>u</u> <u>n</u> <u>i</u> <u>c</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>s</u> <u>S</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u>
PACS-UB	.....	<u>P</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>s</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>A</u> <u>c</u> <u>c</u> <u>e</u> <u>s</u> <u>s</u> <u>C</u> <u>o</u> <u>m</u> <u>m</u> <u>u</u> <u>n</u> <u>i</u> <u>c</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>s</u> <u>S</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u> - <u>U</u> <u>n</u> <u>l</u> <u>i</u> <u>c</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>s</u> <u>e</u> <u>d</u> <u>B</u> <u>a</u> <u>n</u> <u>d</u>
PCS1900	.....	<u>P</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>s</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>C</u> <u>o</u> <u>m</u> <u>m</u> <u>u</u> <u>n</u> <u>i</u> <u>c</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>s</u> <u>S</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>v</u> <u>i</u> <u>c</u> <u>e</u>
PDC	.....	<u>P</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>s</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>D</u> <u>i</u> <u>g</u> <u>i</u> <u>t</u> <u>a</u> <u>l</u> <u>C</u> <u>e</u> <u>l</u> <u>l</u> <u>u</u> <u>l</u> <u>a</u> <u>r</u>
PHS	.....	<u>P</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>s</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>H</u> <u>a</u> <u>n</u> <u>d</u> <u>y</u> <u>p</u> <u>h</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>e</u> <u>S</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u>
PMD	.....	<u>P</u> <u>h</u> <u>o</u> <u>t</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>i</u> <u>c</u> <u>M</u> <u>i</u> <u>x</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>D</u> <u>e</u> <u>v</u> <u>i</u> <u>c</u> <u>e</u>
PolVis	.....	<u>P</u> <u>o</u> <u>l</u> <u>i</u> <u>z</u> <u>e</u> <u>i</u> <u>V</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>k</u> <u>e</u> <u>h</u> <u>r</u> <u>s</u> <u>i</u> <u>n</u> <u>f</u> <u>o</u> <u>r</u> <u>m</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>s</u> <u>s</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u>
PRD	.....	<u>P</u> <u>r</u> <u>i</u> <u>v</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>D</u> <u>i</u> <u>g</u> <u>i</u> <u>t</u> <u>a</u> <u>l</u> <u>R</u> <u>a</u> <u>d</u> <u>i</u> <u>o</u>
PTB	.....	<u>P</u> <u>h</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>i</u> <u>k</u> <u>a</u> <u>l</u> <u>i</u> <u>s</u> <u>c</u> <u>h</u> - <u>T</u> <u>e</u> <u>c</u> <u>h</u> <u>n</u> <u>i</u> <u>s</u> <u>c</u> <u>h</u> <u>e</u> <u>B</u> <u>u</u> <u>n</u> <u>d</u> <u>e</u> <u>s</u> <u>a</u> <u>n</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>a</u> <u>l</u> <u>t</u>
PTP	.....	<u>P</u> <u>r</u> <u>e</u> <u>c</u> <u>i</u> <u>s</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>T</u> <u>i</u> <u>m</u> <u>e</u> <u>P</u> <u>r</u> <u>o</u> <u>t</u> <u>o</u> <u>c</u> <u>o</u> <u>l</u>
QDE	.....	<u>Q</u> <u>u</u> <u>a</u> <u>l</u> <u>i</u> <u>t</u> <u>ä</u> <u>t</u> <u>s</u> <u>d</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>f</u> <u>a</u> <u>s</u> <u>s</u> <u>u</u> <u>n</u> <u>g</u>
QPSK	.....	<u>Q</u> <u>u</u> <u>a</u> <u>d</u> <u>r</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>u</u> <u>r</u> <u>e</u> <u>P</u> <u>h</u> <u>a</u> <u>s</u> <u>e</u> <u>S</u> <u>h</u> <u>i</u> <u>f</u> <u>t</u> <u>K</u> <u>e</u> <u>y</u> <u>i</u> <u>n</u> <u>g</u>
RDS	.....	<u>R</u> <u>a</u> <u>d</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>D</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>a</u> <u>S</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u>
RFC	.....	<u>R</u> <u>e</u> <u>q</u> <u>u</u> <u>e</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>s</u> <u>f</u> <u>o</u> <u>r</u> <u>C</u> <u>o</u> <u>m</u> <u>m</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>t</u> <u>s</u>
RFID	.....	<u>R</u> <u>a</u> <u>d</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>F</u> <u>r</u> <u>e</u> <u>q</u> <u>u</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>c</u> <u>y</u> <u>I</u> <u>d</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>f</u> <u>i</u> <u>c</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u>
RMC	.....	<u>R</u> <u>o</u> <u>b</u> <u>u</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>M</u> <u>o</u> <u>b</u> <u>i</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>C</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>t</u> <u>r</u> <u>o</u> <u>l</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>r</u>
RMTS	.....	<u>R</u> <u>a</u> <u>d</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>M</u> <u>o</u> <u>b</u> <u>i</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>T</u> <u>e</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>p</u> <u>h</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>e</u> <u>S</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u>
RPT	.....	<u>R</u> <u>e</u> <u>s</u> <u>o</u> <u>l</u> <u>v</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>P</u> <u>o</u> <u>s</u> <u>i</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>T</u> <u>r</u> <u>a</u> <u>c</u> <u>k</u> <u>e</u> <u>r</u>
RPU	.....	<u>R</u> <u>e</u> <u>m</u> <u>o</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>P</u> <u>r</u> <u>o</u> <u>c</u> <u>e</u> <u>s</u> <u>s</u> <u>o</u> <u>r</u> <u>U</u> <u>n</u> <u>i</u> <u>t</u>
RSSI	.....	<u>R</u> <u>e</u> <u>c</u> <u>e</u> <u>i</u> <u>v</u> <u>e</u> <u>S</u> <u>i</u> <u>g</u> <u>n</u> <u>a</u> <u>l</u> <u>S</u> <u>t</u> <u>r</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>g</u> <u>t</u> <u>h</u> <u>I</u> <u>n</u> <u>d</u> <u>i</u> <u>c</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>o</u> <u>r</u>
RTABMM	.....	<u>R</u> <u>e</u> <u>a</u> <u>l</u> - <u>T</u> <u>i</u> <u>m</u> <u>e</u> <u>A</u> <u>c</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>v</u> <u>i</u> <u>t</u> <u>y</u> <u>B</u> <u>a</u> <u>s</u> <u>e</u> <u>d</u> <u>M</u> <u>i</u> <u>n</u> <u>e</u> <u>M</u> <u>a</u> <u>n</u> <u>a</u> <u>g</u> <u>e</u> <u>m</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>t</u>
RTK	.....	<u>R</u> <u>e</u> <u>a</u> <u>l</u> - <u>T</u> <u>i</u> <u>m</u> <u>e</u> <u>K</u> <u>i</u> <u>n</u> <u>e</u> <u>m</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>c</u>
SAMS	.....	<u>S</u> <u>h</u> <u>o</u> <u>r</u> <u>t</u> - <u>A</u> <u>m</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>u</u> <u>r</u> - <u>M</u> <u>e</u> <u>s</u> <u>s</u> <u>a</u> <u>g</u> <u>e</u> - <u>S</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u>
SCADA	.....	<u>S</u> <u>u</u> <u>p</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>v</u> <u>i</u> <u>s</u> <u>o</u> <u>r</u> <u>y</u> <u>C</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>t</u> <u>r</u> <u>o</u> <u>l</u> <u>A</u> <u>n</u> <u>d</u> <u>D</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>a</u> <u>A</u> <u>c</u> <u>q</u> <u>u</u> <u>i</u> <u>s</u> <u>i</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u>
SI	.....	<u>S</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u> <u>e</u> <u>I</u> <u>n</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>n</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>a</u> <u>l</u> <u>d</u> ' <u>U</u> <u>n</u> <u>i</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>s</u>
Sntp	.....	<u>S</u> <u>i</u> <u>m</u> <u>p</u> <u>l</u> <u>e</u> <u>N</u> <u>e</u> <u>t</u> <u>w</u> <u>o</u> <u>r</u> <u>k</u> <u>T</u> <u>i</u> <u>m</u> <u>e</u> <u>P</u> <u>r</u> <u>o</u> <u>t</u> <u>o</u> <u>c</u> <u>o</u> <u>l</u>
TA	.....	<u>T</u> <u>i</u> <u>m</u> <u>i</u> <u>n</u> <u>g</u> <u>A</u> <u>d</u> <u>v</u> <u>a</u> <u>n</u> <u>c</u> <u>e</u>
TACS	.....	<u>T</u> <u>o</u> <u>t</u> <u>a</u> <u>l</u> <u>A</u> <u>c</u> <u>c</u> <u>e</u> <u>s</u> <u>s</u> <u>C</u> <u>o</u> <u>m</u> <u>m</u> <u>u</u> <u>n</u> <u>i</u> <u>c</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>s</u> <u>S</u> <u>y</u> <u>s</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>m</u>
TAI	.....	<u>T</u> <u>e</u> <u>m</u> <u>p</u> <u>s</u> <u>A</u> <u>t</u> <u>o</u> <u>m</u> <u>i</u> <u>q</u> <u>u</u> <u>e</u> <u>I</u> <u>n</u> <u>t</u> <u>e</u> <u>r</u> <u>n</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>i</u> <u>o</u> <u>n</u> <u>a</u> <u>l</u>

TD-SCDMA	.....	<u>T</u> ime <u>D</u> ivision - <u>S</u> ynchronous <u>C</u> DMA
TDMA	.....	<u>T</u> ime <u>D</u> ivision <u>M</u> ultiple <u>A</u> ccess
TDoA	.....	<u>T</u> ime <u>D</u> ifference of <u>A</u> rrival
TETRA	.....	<u>T</u> errestrial <u>T</u> runked <u>R</u> adio
TMC	.....	<u>T</u> raffic <u>M</u> essage <u>C</u> hannel
ToA	.....	<u>T</u> ime of <u>A</u> rrival
TPMS	.....	<u>T</u> ruck <u>P</u> ayload <u>M</u> onitoring <u>S</u> ystem
TSR	.....	<u>T</u> raffic <u>S</u> ign <u>R</u> eminder
TV-GPS	.....	<u>T</u> ele <u>v</u> ision <u>G</u> PS
UMTS	.....	<u>U</u> niversal <u>M</u> obile <u>T</u> elecommunication <u>S</u> ystem
UPIK	.....	<u>U</u> nique <u>P</u> artner <u>I</u> dentification <u>K</u> ey
USNO	.....	<u>U</u> . <u>S</u> . <u>N</u> aval <u>O</u> bservatory
UT	.....	<u>U</u> niversal <u>T</u> ime
UTC	.....	<u>C</u> ordinated <u>U</u> niversal <u>T</u> ime
UWB	.....	<u>U</u> ltra <u>W</u> ide <u>B</u> and
VDA	.....	<u>V</u> erband der <u>A</u> utomobilindustrie
VDI/VDE	.....	<u>V</u> erein <u>d</u> eutscher <u>I</u> ngenieur <u>e</u> / <u>V</u> erein <u>d</u> eutscher <u>E</u> lektrotechniker
VDL	.....	<u>V</u> ital <u>D</u> ata <u>L</u> ink
VDMA	.....	<u>V</u> erband <u>D</u> eutscher <u>M</u> aschinen- und <u>A</u> nlagenbau e.V.
VHMS	.....	<u>V</u> ehicle <u>H</u> ealth <u>M</u> onitoring <u>S</u> ystem
VIMS	.....	<u>V</u> ital <u>I</u> nformation <u>M</u> anagement <u>S</u> ystem
VSS	.....	<u>V</u> erteiltes <u>S</u> teuerungssystem
WAAS	.....	<u>W</u> ide <u>A</u> rea <u>A</u> ugmentation <u>S</u> ystem
WiMAX	.....	<u>W</u> orldwide <u>I</u> nteroperability for <u>M</u> icrowave <u>A</u> ccess
WIPS	.....	<u>W</u> ireless <u>I</u> ndoor <u>P</u> ositioning <u>S</u> ystem
WLAN	.....	<u>W</u> ireless <u>L</u> ocal <u>A</u> rea <u>N</u> etwork
WLL	.....	<u>W</u> ireless <u>L</u> ocal <u>L</u> oop
WMAN	.....	<u>W</u> ireless <u>M</u> etropolitan <u>A</u> rea <u>N</u> etwork
WPAN	.....	<u>W</u> ireless <u>P</u> ersonal <u>A</u> rea <u>N</u> etwork

A Anhang

A.1 Optimierung

Mit dem Diagramm in Abbildung A.1 aus dem Handbuch des Caterpillar 797B Muldenkippers [180], kann für ein wählbares Bruttogewicht bestimmt werden, mit welcher Geschwindigkeit ein bestimmtes Gefälle befahren werden kann, ohne dass der Motor überdreht bzw. die Bremsleistung nicht mehr ausreicht. In Abbildung A.1 ist dazu mit roten Linien die Bestimmung der maximalen Geschwindigkeit aufgezeigt. Anhand der Kennwertdiagramme kann eine Optimierung der Routenplanung vorgenommen werden.

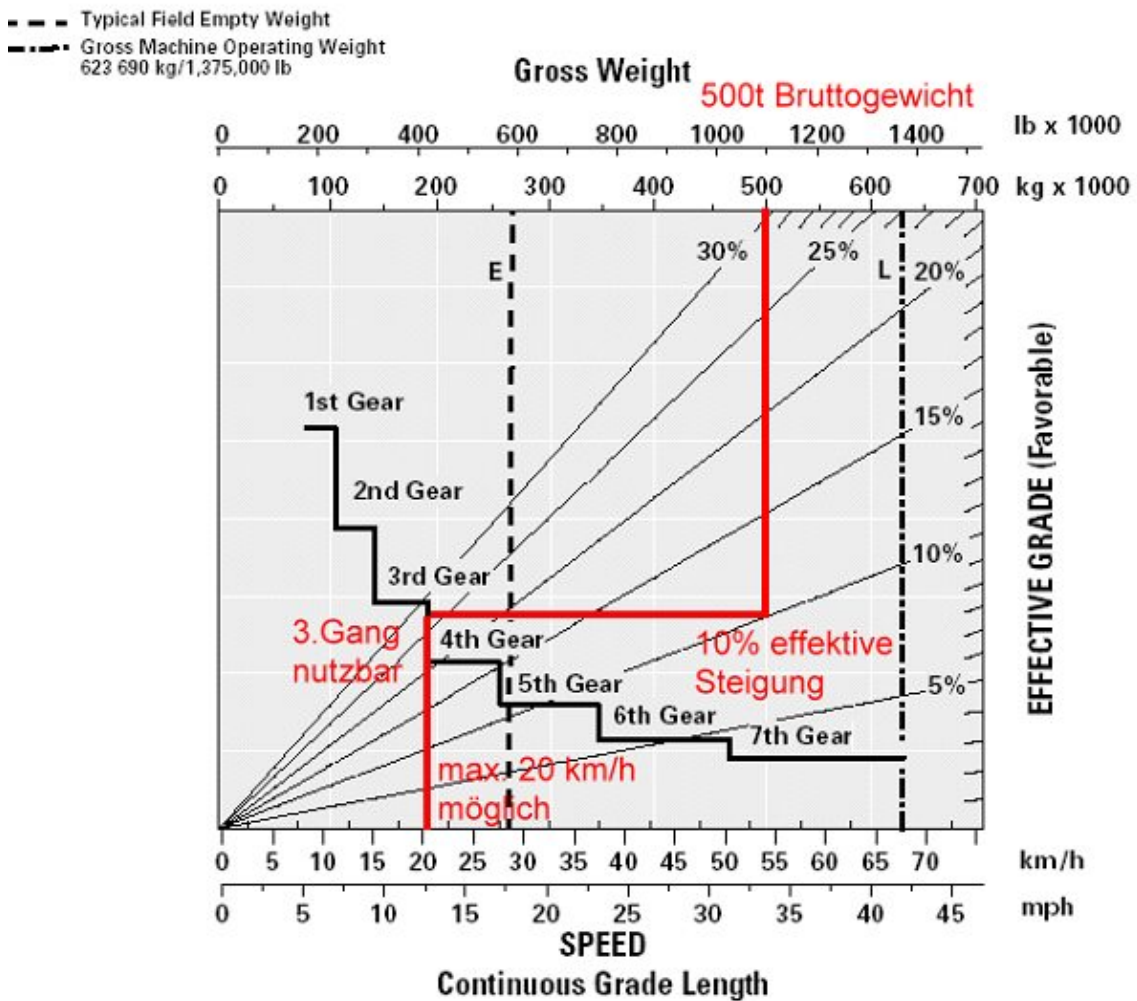


Abbildung A.1: Bremsleistungsdiagramm

A.2 Ausgewählte Versuchsergebnisse

A.2.1 Stationäre GPS Dauermessungen

12.12.2003 - 9:00 - 11:00

(Stationäre Dauermessung auf dem Gelände der TU Bergakademie Freiberg;

2 JP3-GPS-Module mit Standard KFZ-Antenne;

1 JP3-GPS-Modul mit einer Bullet-3 Antenne)

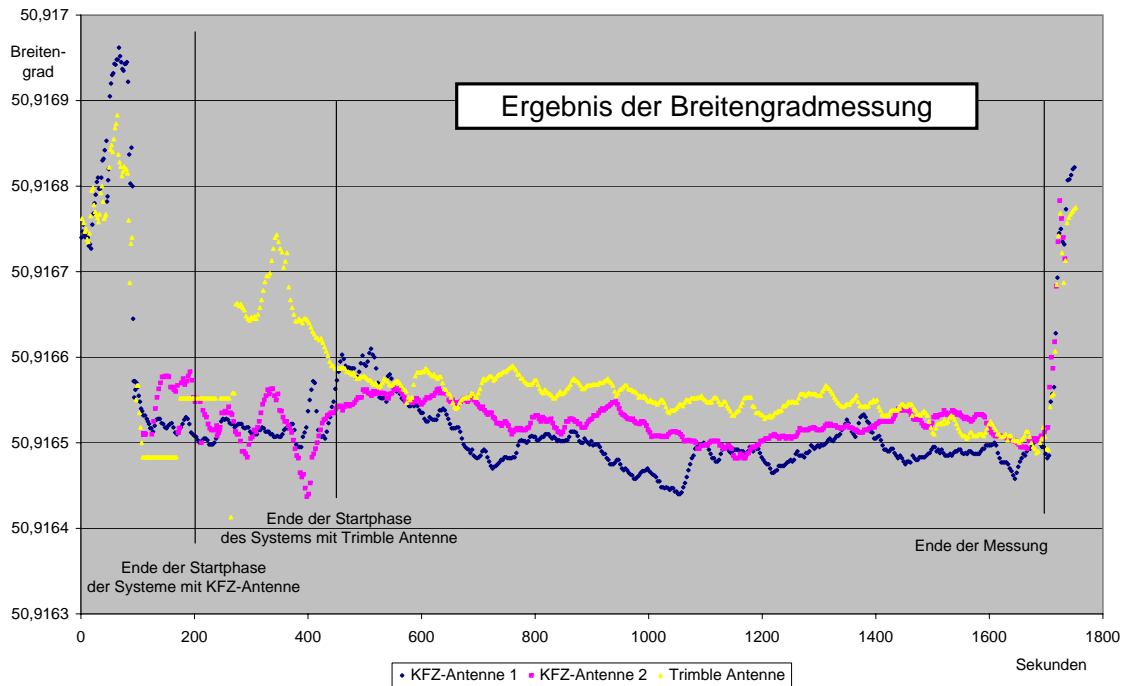


Abbildung A.2: Zeitliche Schwankung der Breitengradwerte

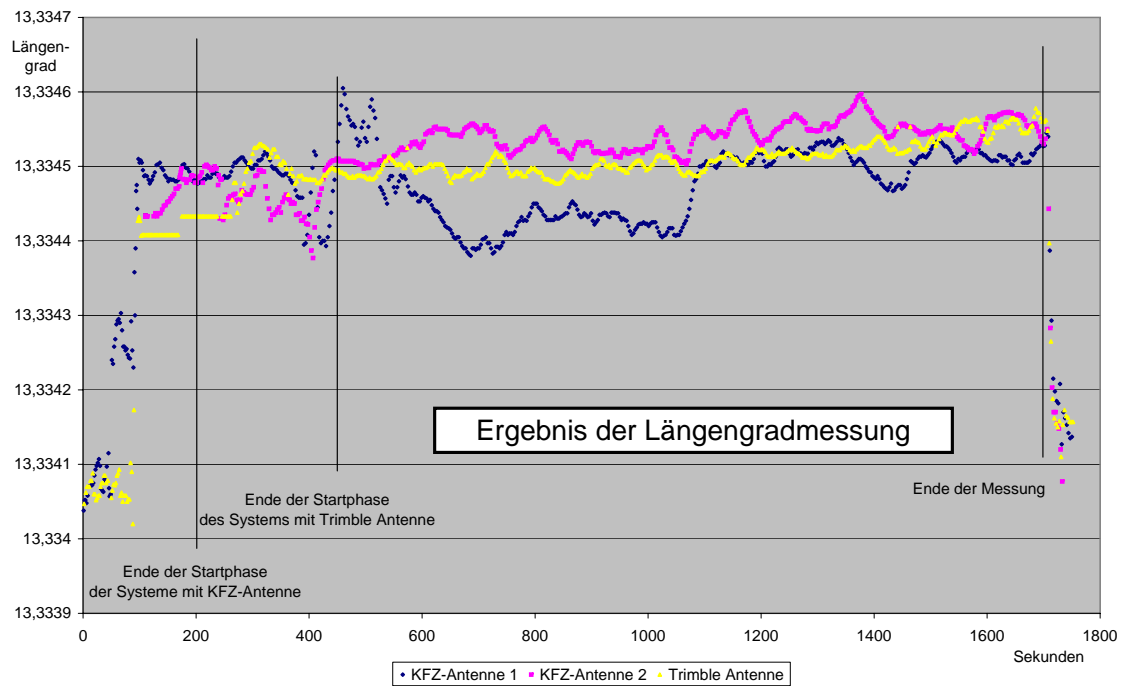


Abbildung A.3: Zeitliche Schwankung der Längengradwerte

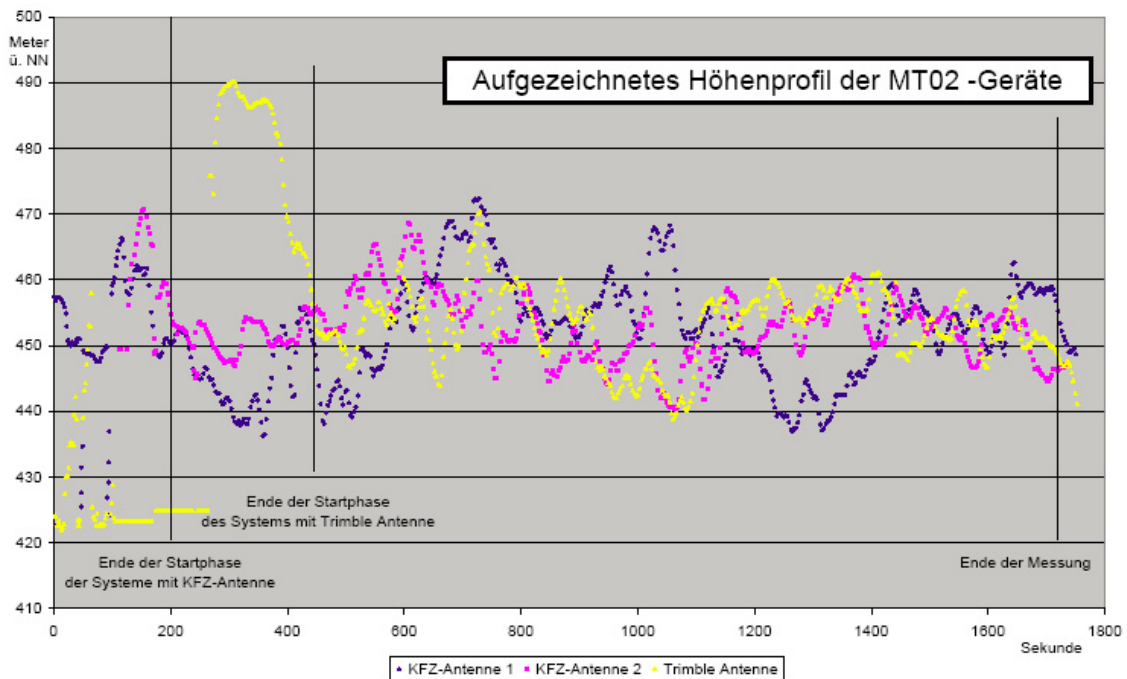


Abbildung A.4: Zeitliche Schwankung der Höhenwerte

10.01.2004 - 11.01.2004

(Stationäre Dauermessung in Freiberg Ortsteil Zug;
3 JP3-GPS-Module mit Standard KFZ-Antenne)

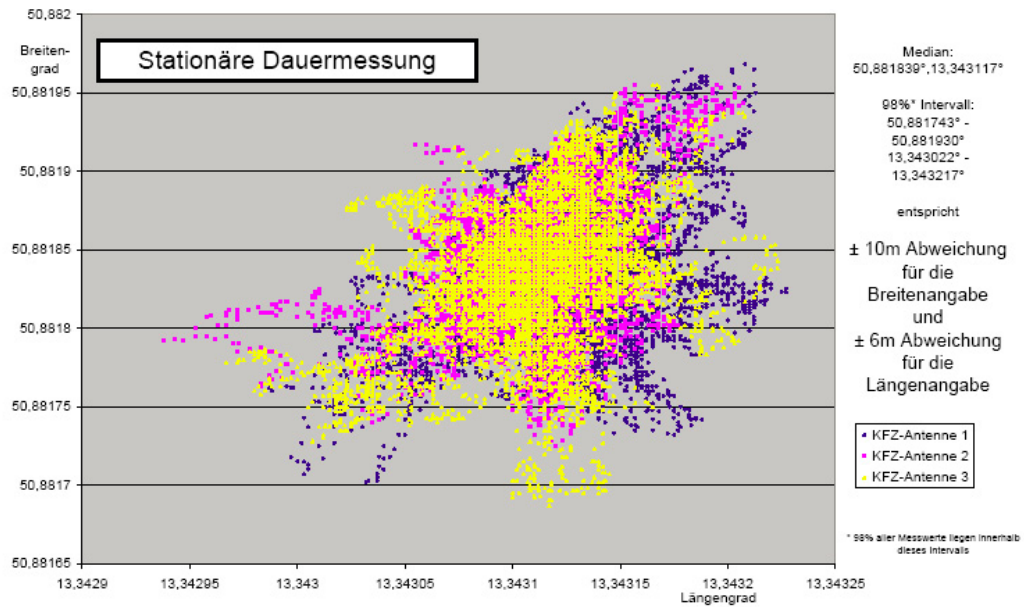


Abbildung A.5: Längen- und Breitengradswankungen

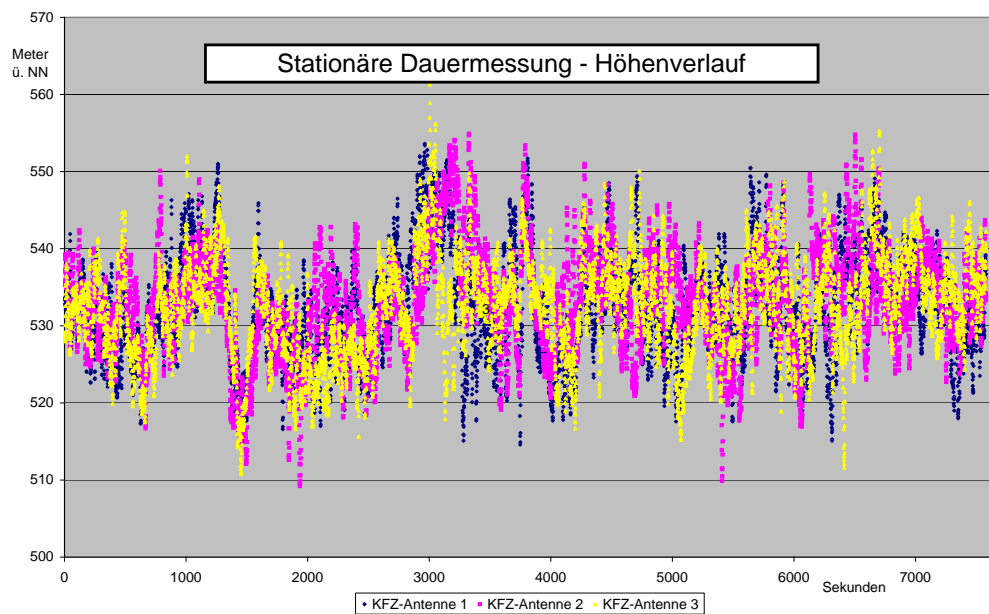


Abbildung A.6: Zeitlicher Höhenverlauf

29.01.2004 - 31.01.2004

(Stationäre Dauermessung in Freiberg Ortsteil Zug;

1 JP3-GPS-Module mit Standard KFZ-Antenne;

1 JP3-GPS-Module mit Trimble KFZ-Antenne)

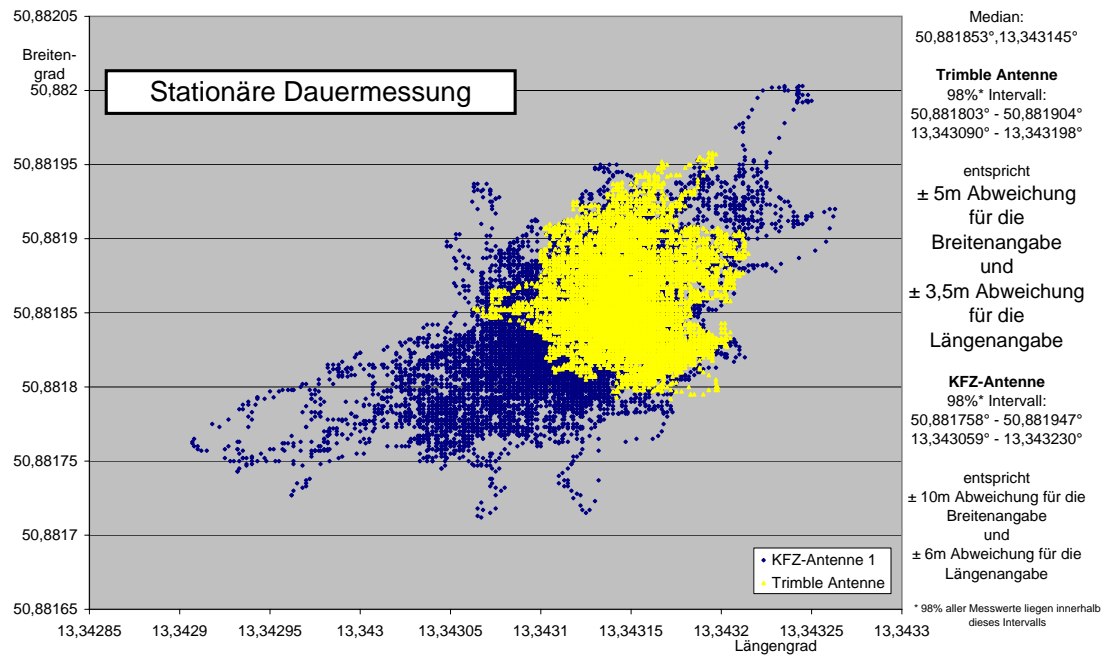


Abbildung A.7: Positionsschwankungen

A.2.2 Mobile GPS Dauermessungen

13.01.2004 - 15:00 - 15:30

(Mobile Messung um das Gelände der TU Bergakademie Freiberg;
2 JP3-GPS-Module mit Standard KFZ-Antenne)



Abbildung A.8: Positionsergebnis der Messfahrt

14.01.2004 - 14:30 - 15:00

(Mobile Messung um das Gelände der TU Bergakademie Freiberg;
2 JP3-GPS-Module mit Standard KFZ-Antenne; Test der Wiederholgenauigkeit und geometrischer Figuren)

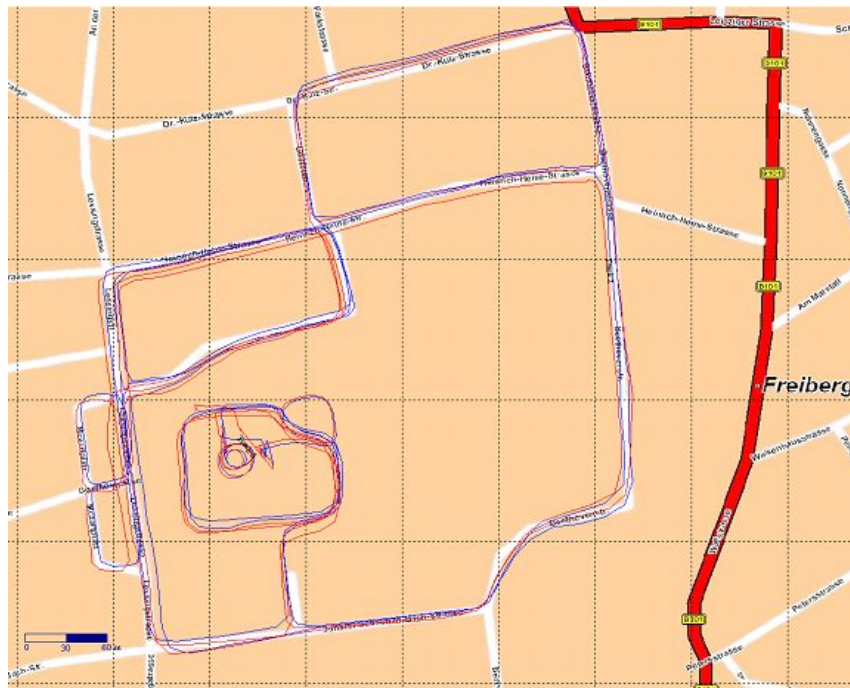


Abbildung A.9: Positionsübersicht

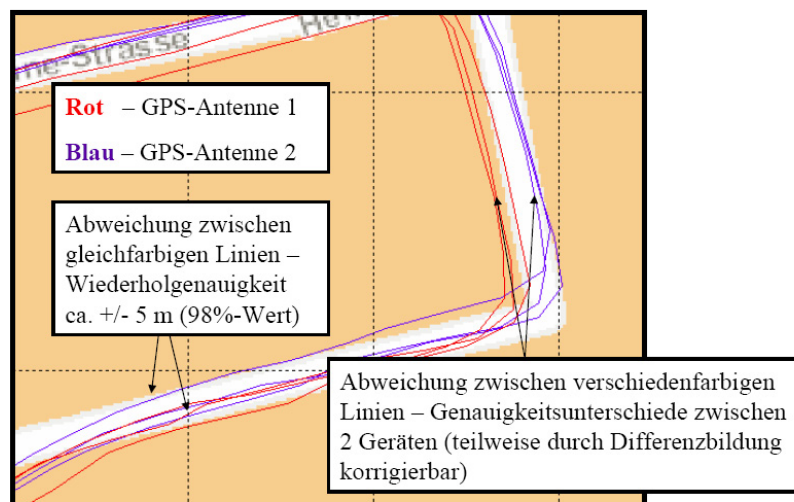


Abbildung A.10: Wiederholgenauigkeit

A.2.3 Ergebnisse Barometerversuche

02.04.2004 - 08.04.2004

(Zwei Barometer; Messrate von 1Hz; Differenzbildung)

Messzeitraum		Werte
Gerät 1	02.04.2004 15:45 bis 08.04.2004 14:36	513.924
Gerät 2	02.04.2004 15:51 bis 08.04.2004 12:58	512.515
	Differenzwerte N	509.719
	Arithmetisches Mittel der Differenzen $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$	0,606m
	Median der Differenzwerte	0,564m
	Streuung S der Differenzen $S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$	1,311m
	Mittlerer Fehler des Mittelwertes $\Delta\bar{x} = t * \frac{S}{\sqrt{N}}$ ($t = 1,96$)	<0,01m
	Minimum der Differenzen	-7,449m
	Maximum der Differenzen	9,815m
	Werte außerhalb des Bereichs $\pm 7m$	72
	Im Bereich von $0,606m \pm 7m$ liegen	99,98%

Tabelle A.1: Ergebnisse der Barometerversuche vom 02.04 - 08.04

16.04.2004 - 19.04.2004

(Zwei Barometer; Messrate von 10Hz; Differenzbildung; Filterung)

Messzeitraum		Werte
Gerät 1	16.04.2004 16:32 bis 19.04.2004 7:15	2.257.650
Gerät 2	16.04.2004 16:32 bis 19.04.2004 7:21	2.261.085
	Differenzwerte N	2.253.460
	Arithmetisches Mittel der Differenzen $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$	0,123m
	Median der Differenzwerte	0,133m
	Streuung S der Differenzen $S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$	0,663m
	Mittlerer Fehler des Mittelwertes $\Delta\bar{x} = t * \frac{S}{\sqrt{N}}$ ($t = 1,96$)	<0,01m
	Minimum der Differenzen	-2,001m
	Maximum der Differenzen	2,198m
	Werte außerhalb des Bereichs $\pm 2m$	9385
	Im Bereich von $0,133m \pm 2m$ liegen	99,58%

Tabelle A.2: Ergebnisse der Barometerversuche vom 16.04 - 19.04

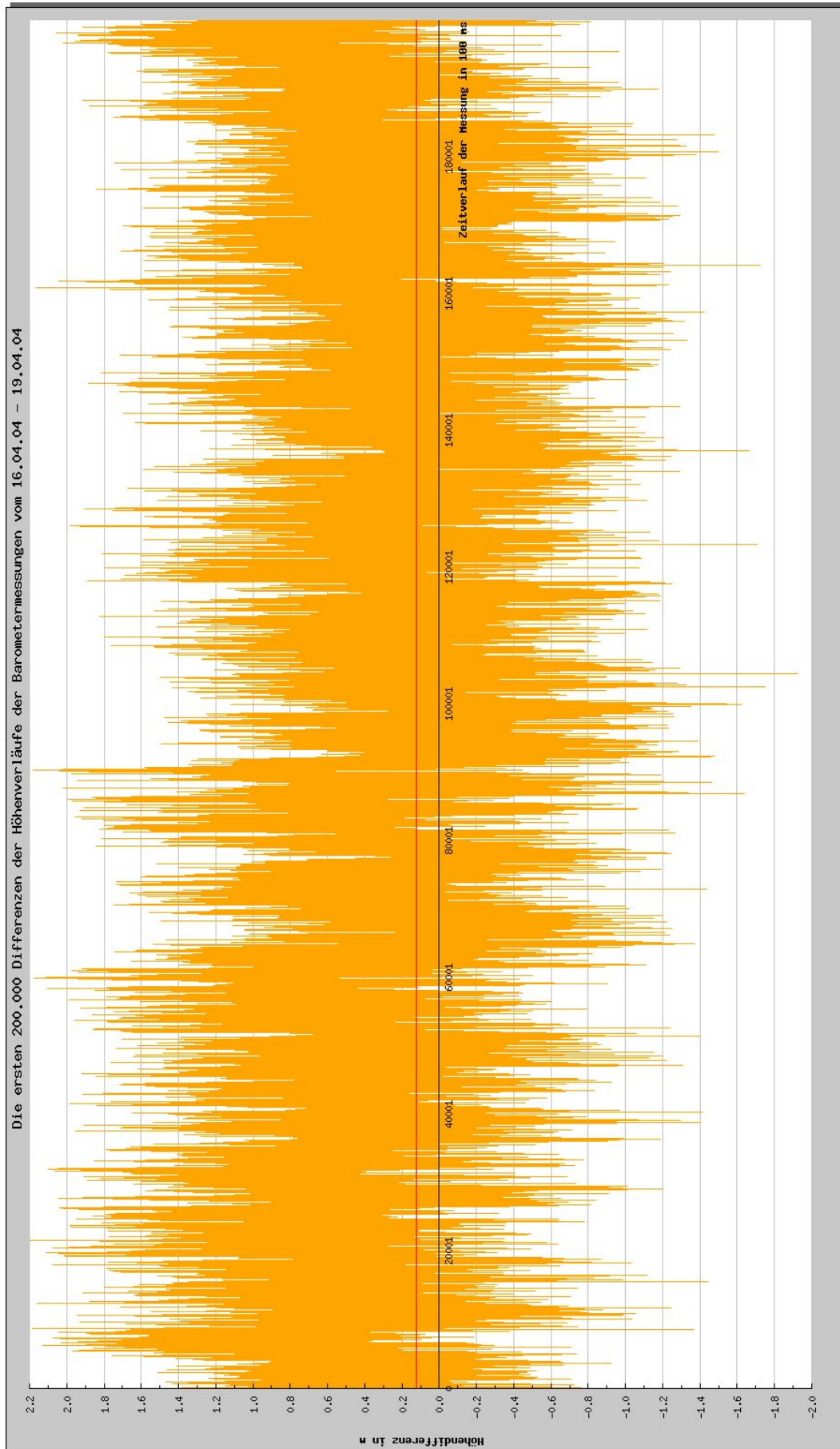


Abbildung A.11: Differenz der Höhenverläufe

29.04.2004 - 10:30 - 13:00

(Manuelle Versuche; zwei mobile Einheiten; ein stationärer Server am späteren Serverstandort)



Abbildung A.13: Versuchsrouten 2

29.04.2004 - 13:30 - 17:00

(Manuelle Versuche mit automatischer Aufzeichnung; zwei mobile Einheiten; ein stationärer Server)

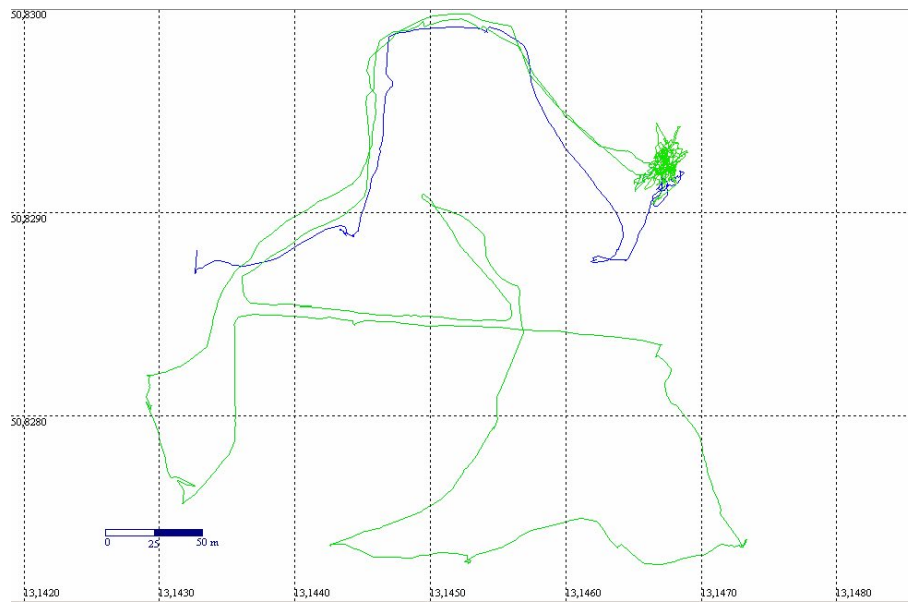


Abbildung A.14: Ergebnis der automatischen Aufzeichnung

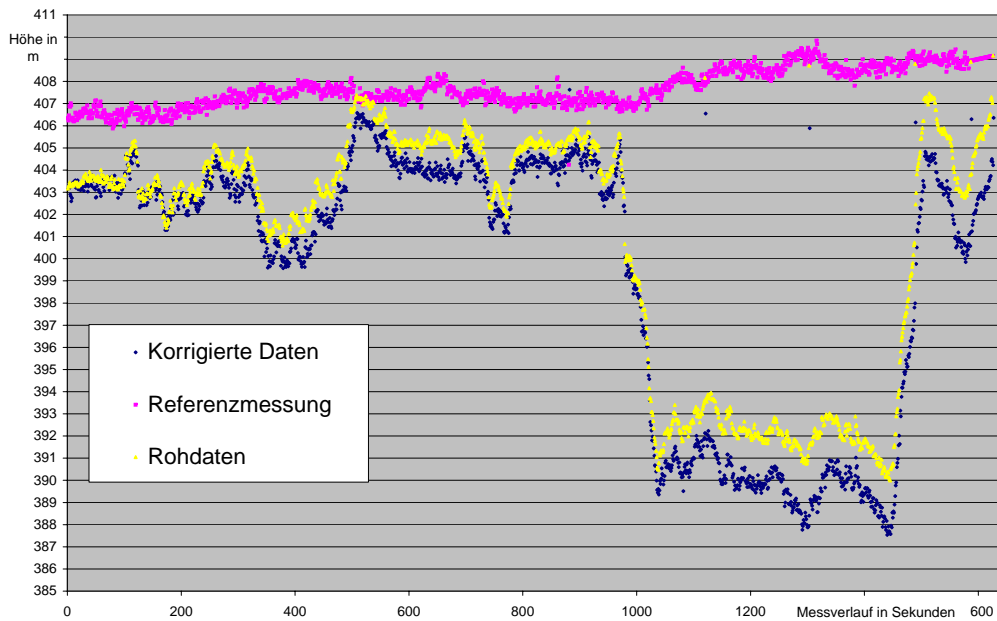


Abbildung A.15: Höhenaufzeichnung mit Driftkorrektur

13.05.2004 - 17.05.2004

(Autonome Versuche; eine mobile Einheit im Fahrzeug eingebaut; eine mobile Einheit am Serverstandort als Barometerreferenz; ein stationärer Server)

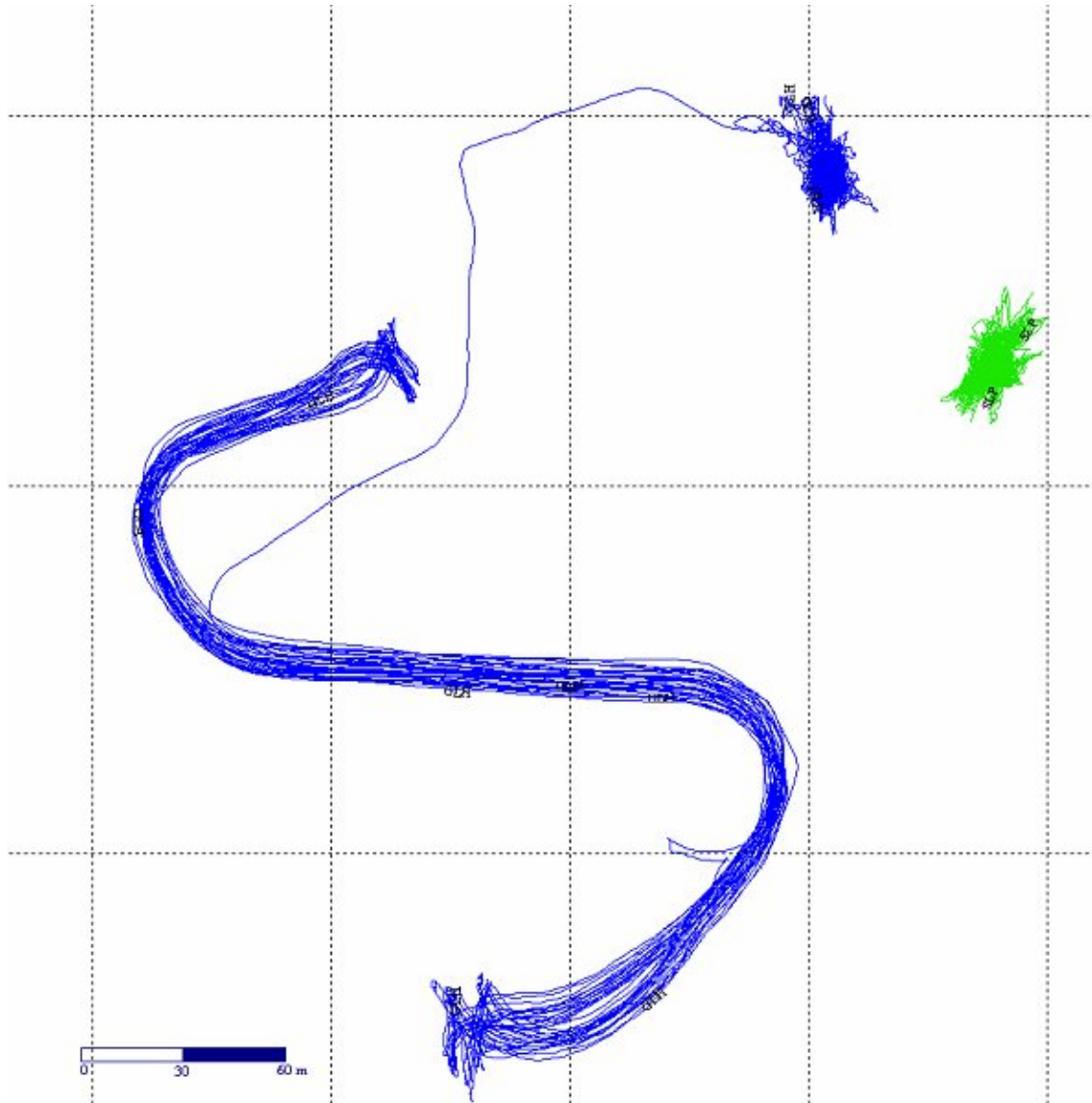


Abbildung A.16: Positionsergebnis des ersten Betriebstests

18.05.2004 - 19.05.2004

(Autonome Versuche; eine mobile Einheit im Fahrzeug eingebaut; eine mobile Einheit am Serverstandort als Barometerreferenz; ein stationärer Server; zwei verschiedene Fahrrouten)

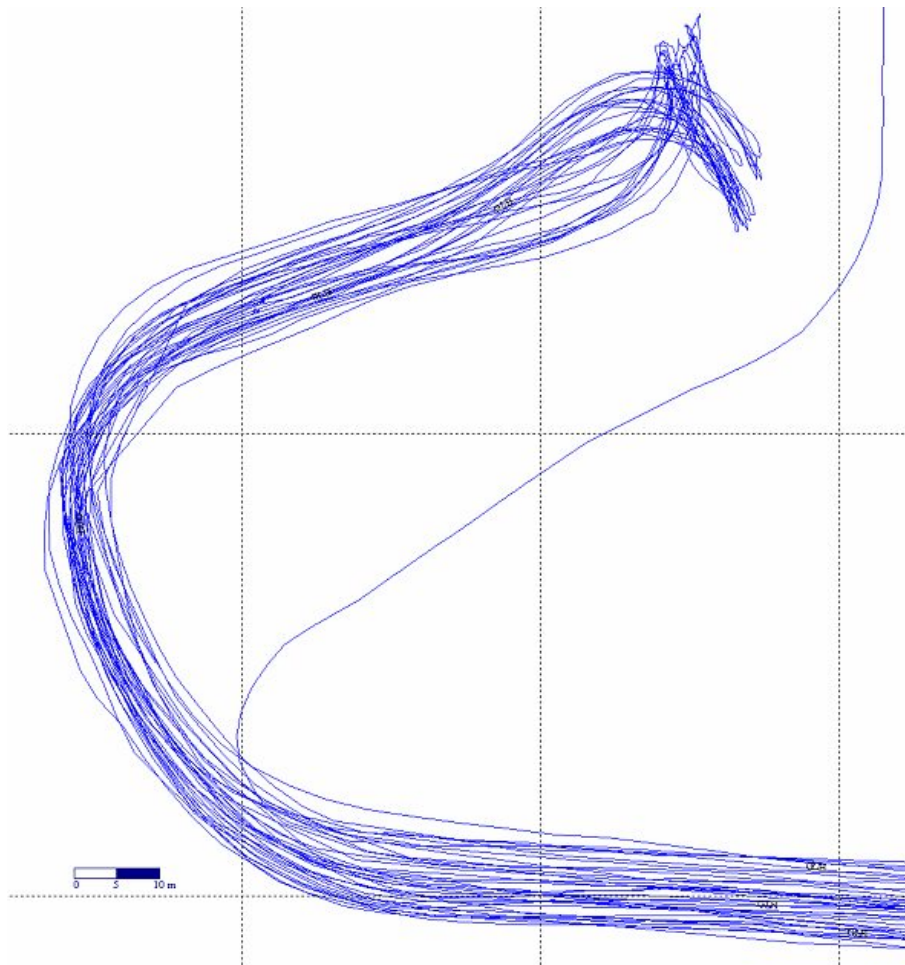


Abbildung A.17: Vergrößerter Ausschnitt aus dem aufgezeichneten Verlauf aus Abbildung A.16

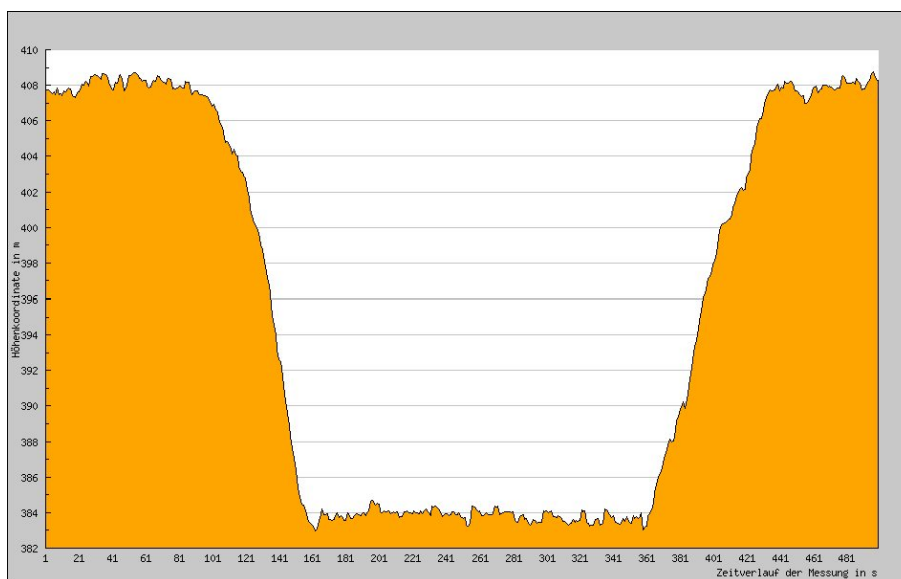


Abbildung A.18: Ausschnitt aus dem Höhenprofil

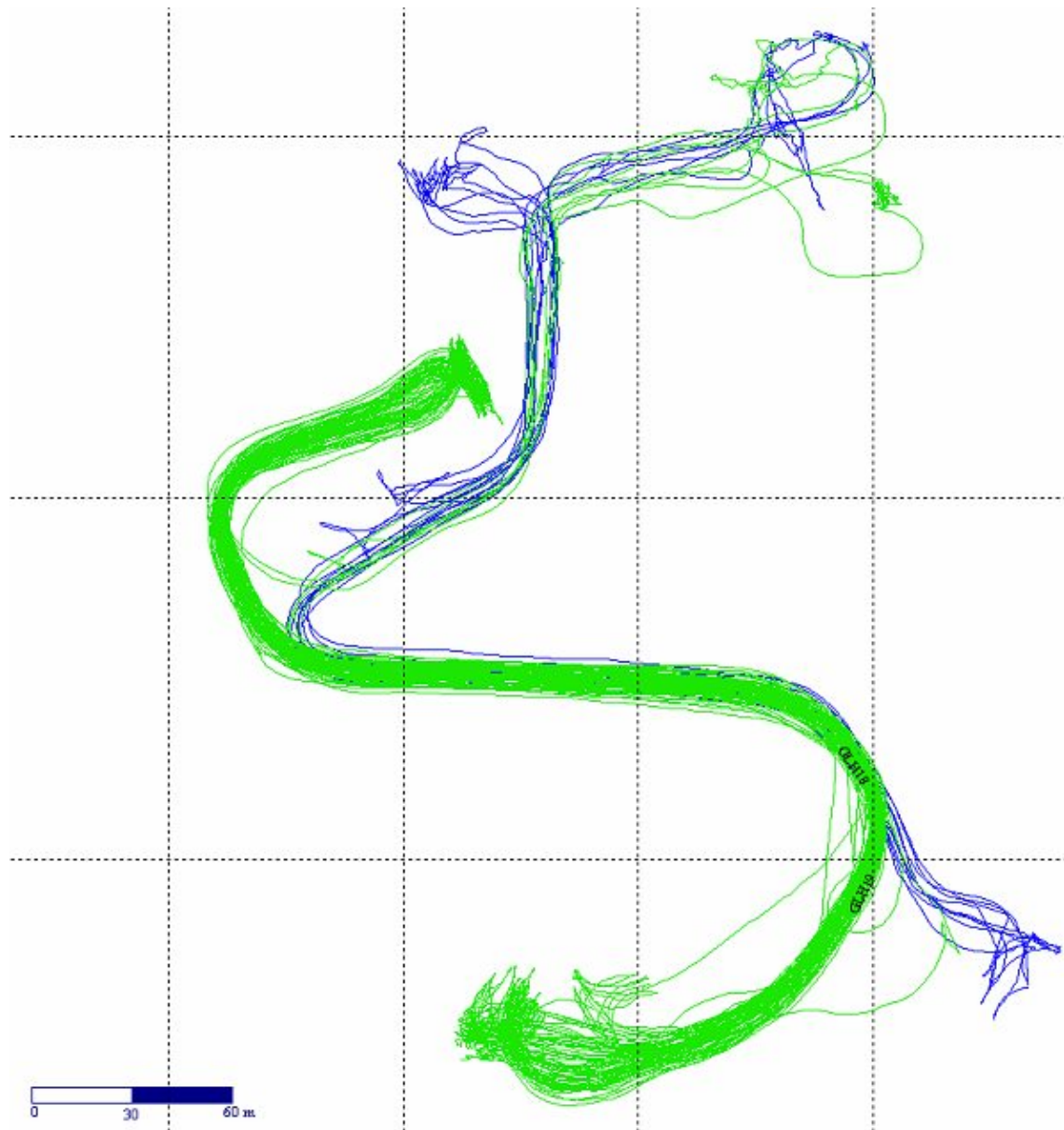


Abbildung A.19: Ergebnis autonomer Betriebstests

A.3 Entstandene Arbeiten

Im Laufe der Themenbearbeitung entstanden die folgenden Arbeiten als direkte Zuarbeit oder unterstützende Tätigkeit:

- WAGNER, Thomas: Konzeption eines Praktikumsversuches auf Basis des Aerocomm-Funksystems / Institut für Automatisierungstechnik, TU Bergakademie Freiberg. 2004. – Hochschulschrift. Version 1
- HWAS, Abdulhamid: Untersuchungen zu Aufbau, Eigenschaften und Einsatz Mobilfunknetzgekoppelter mobiler Automatisierungssysteme / Institut für Automatisierungstechnik, TU Bergakademie Freiberg. 2001. – Diplomarbeit
- SCHNEIDER, Daniela: Entwicklung von Dispatcher-Arbeitsplatz-Masken für Mobile Funktechnik im Tagebau / Staatliche Studienakademie Bautzen. 2001. – Hochschulschrift
- HENSCHEL, Michael: Entwicklung und Implementierung des serverseitigen Datenhandlings in einer mobilfunkbasierten Client-Server-Umgebung / Institut für Automatisierungstechnik, TU Bergakademie Freiberg. 2002. – Hochschulschrift. Version 1
- MATTHES, Thomas: Die Erstellung dynamischer HTML-Seiten unter Verwendung von My SQL-Datenbanken und der Skriptsprache PHP4. / Berufliches Schulzentrum, Glauchau. 2001. – Praktikumsbericht

A.4 Veröffentlichung

- MARTIN, Michael: GPS-Einsatz im Tagebau: Möglichkeiten und Systemgrenzen. In: AUTOMATISIERUNGSTECHNIK TU BAF, Institut für (Hrsg.): *ABB-Kundentage CoE Open Pit Mining*, ABB - Cottbus, August 2003
- MARTIN, Michael: Mobile Technik - Positions- und Messdatenerfassung. In: SPEZIALTIEFBAU, Institut für Bergbau u. (Hrsg.): *Baustoffe - nachhaltig gewinnen und nutzen*, 2004. – ISBN 3-86012-234-7
- MARTIN, Michael: Mobilfunkbasiertes Systemkonzept für die Automatisierung von mobiler Technik in Tagebauen und Minen. In: IWK 2004, 49. Internationales Wissenschaftliches K. (Hrsg.): *Conference Proceedings*, Shaker Verlag Aachen, September 2004. – ISBN 3-8322-2824-1, S. 405-411
- MARTIN, Michael: Funkbasiertes Leitsystem für mobile Technik in Tagebauen und Minen. In: IWKM 2002, 15. Internationale Wissenschaftliche K. (Hrsg.): *Conference Proceedings*, Hochschule Mittweida, September 2002. – ISSN 1437-7624, S. 91-98
- MARTIN, Michael: Steuerungskonzept für mobilfunkbasierte Verkehrsleiteinrichtungen kleiner Reichweite. In: IWKM 2000, 14. Internationale Wissenschaftliche K. (Hrsg.): *Conference Proceedings*, Hochschule Mittweida, September 2002. – ISSN 1437-7624, S. 151-156
- LÖBER P., Martin M. ; AUTOMATISIERUNGSTECHNIK, Institut für (Hrsg.): *Studie Offene verteilte Automatisierung*. TU Bergakademie Freiberg, 2000. – 23-24 S
- MARTIN, Michael: Mobiles Steuerungskonzept. In: IWK 2001, 46. Internationales Wissenschaftliches K. (Hrsg.): *Conference Proceedings*, Shaker Verlag Aachen, September 2001
- MARTIN, Michael: Mobiles Steuerungskonzept. In: BHT 2001, 52. Berg-und Hüttenmännischer T. (Hrsg.): *Conference Proceedings*, TU Bergakademie Freiberg, Juni 2001

-
- MARTIN, Michael: Entwicklung und Implementierung eines Algorithmenkonzeptes für mobilfunkbasierte Steuerungssysteme / Institut für Automatisierungstechnik, TU Bergakademie Freiberg. 2000. – Hochschulschrift
 - MARTIN, Michael: Mobilfunkbasiertes Steuerungskonzept für ein autarkes verkehrstechnisches Leitsystem. In: IWK 2000, 45. Internationales Wissenschaftliches K. (Hrsg.): *Conference Proceedings*, 2000. – ISSN 0943-7207, S. 848-853