

Verbundprojekt
Prozesssicherer automatisierter Straßenbau (PAST)

gefördert durch das BMWi
Projektträger TÜV Rheinland Consulting GmbH

Abschlussbericht PAST

Zuwendungsempfänger: MOBA Mobile Automation AG	Förderkennzeichen: 19S8003E,PT MVBW,Ott
Titel des Vorhabens: Verbundprojekt „Prozesssicherer automatisierter Straßenbau (PAST)“	
Projektleiter: A. Horn	Tel.: 06431/9577-131
Laufzeit des Vorhabens: von: 01.08.2008 bis: 31.01.2012	Fax: 06431/9577-177
Berichtszeitraum des Vorhabens: von: 01.07.2011 bis: 31.01.2012	e-mail: ahorn@moba.de

Partner: Hermann Kirchner GmbH & Co. KG
Heinrich Carnehl Fahrzeugbau e.K.
FH Köln
TU Darmstadt
MOBA Mobile Automation AG
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach
Dynapac GmbH
TAM Asphaltmischwerke Thüringen GmbH

Vorbemerkung

PAST steht für "Prozesssicherer automatisierter Straßenbau" und ist ein Verbundprojekt mit den auf Seite I angegebenen Projektpartnern. Ziel von dem Projekt war es, den Einbauprozess von Asphalt im Straßenbau so zu optimieren, dass sowohl die Qualität, als auch die Effizienz beim Einbau verbessert wird. Vor allem wollte man die bekannten Schwachstellen, die Hauptverantwortlich für Qualitätseinbußen waren, näher analysieren und mit Hilfe der Methoden der modernen Prozessautomation entsprechend reduzieren. Die wichtigsten Aufgaben der Fa. MOBA im Rahmen vom Projekt bestanden in der Untersuchung und Erprobung möglicher Kommunikationstechniken, sowie die Optimierung von Einzelprozessen entlang der gesamten Prozesskette.

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	VIII
Abbildungsverzeichnis	10
1 Einleitung.....	14
2 Demonstratoren in der Anwendung	16
2.1 Die erreichten Fortschritte im Überblick	21
3 Mischgutlogistik Transport (AP2).....	22
3.1 Die Transportwege.....	22
3.2 LKW - Terminal	22
3.3 Die Abstandsmessung zwischen LKW und Fertiger	23
3.3.1 Die Abstandsmessung mit Ultraschall	24
3.3.2 Entfernungsmessung zum LKW per Funk	25
3.3.3 LPR Entfernungsmessung.....	25
3.3.4 Entfernungsmessung mit BT	26
3.3.5 Ergebnisse der Abstandsmessung	26
3.4 Der Datenaustausch zwischen LKW und Fertiger.....	27
3.5 Ablaufsteuerung für das Andocken vom LKW an den Fertiger	29
3.6 Ergebnisse für Mischgutlogistik und Transport	30

4	Mischgutlogistik Fertiger (AP3)	31
4.1	Mischgutlogistik Fertiger	31
4.2	Genauigkeit der Ultraschallmessung.....	33
4.2.1	Verbesserungen der Ultraschallsensoreigenschaften	35
4.2.2	Vergleich der Signale	36
4.2.3	Die Kompensation der Temperaturdrift.....	37
4.2.4	Verhalten bei Temperaturänderung.....	37
4.2.5	Genauigkeit und Amplitudenabhängigkeit	38
4.3	Ergebnisse	38
5	Der Einbau (AP4)	39
5.1	Die Temperaturmessung in der gesamten Prozesskette	39
5.2	Die Grundlagen der IR- Messung	39
5.2.1	Einteilung der Infrarot Strahlung:.....	40
5.2.2	Graphische Darstellung des Strahlungsgesetzes	40
5.2.3	Der Aufbau eines IR- Sensors.....	42
5.2.4	Zusammenhang von Messfleck und Objektgröße	42
5.2.5	Optische Diagramme.....	44
5.2.6	Temperaturmessung am Fertiger	45
5.2.7	Komponenten - Schwarzer Strahler.....	46
5.2.8	Temperaturmessung mit Hilfe der RFID- Technik	49
5.2.9	Elektromagnetische Backscatter-Kopplung für hohe Reichweiten	50
5.3	Fertiger Steuerungssystem	52
5.3.1	Die Schichtdickenmessung beim Kompaktasphaltpfertiger	53
5.3.2	Optimierung der Schichtdickenmessung	55
5.3.3	Ergebnisse der Schichtdickenmessung für die Binderschicht	56

5.4	Verdichtungsoptimierungen am Fertiger	57
5.4.1	Testziel	57
5.4.2	Montage des Beschleunigungs-Sensors	58
5.4.3	Sensorbeschreibung.....	58
5.4.4	Durchgeführte Messungen	60
5.4.5	Datenauswertung	61
5.5	Ergebnisse Einbau	63
5.5.1	Temperaturmessung	63
5.5.2	Die Schichtdickenmessung	63
5.5.3	Verdichtungsmessung an der Bohle.....	63
6	Messsystem zur Erfassung der Bohlenposition (AP4,AP5)	64
6.1	Der Aufbau vom Lasertransmitter	67
6.2	Identifizierung der Ebenenmechanik.....	68
6.2.1	Kennwerte für die Schrittmotoransteuerung	68
6.2.2	Bestimmung der Übertragungsfunktion des Schrittmotors	68
6.2.3	Bestimmung der Übertragungsfunktion der Spindel	69
6.3	Die Identifizierung der Ebenenmesstechnik für die Y-Achse.....	70
6.3.1	Die Ebenenverstärkung.....	70
6.4	Kennwerte für die Messtechnik in der X- Achse.....	71
6.4.1	Bestimmung der Übertragungsfunktion des Laserempfängers.....	72
6.5	Ergebnisse der Bohlenpositionsbestimmung	73
7	Nachverdichtung (AP5).....	74
7.1	Aufbau des Grids	74
7.2	Die Systemausrüstung auf der Walze	77
7.2.1	Die RTKLib	79

7.3	Ergebnisse Nachverdichtung	81
8	Die Informations- und Netzwerkstruktur (AP6).....	82
8.1	Bluetooth BT	83
8.1.1	Multipoint Verbindungen (Bluetooth)	85
8.2	WLAN.....	86
8.2.1	Koexistenz zwischen ZigBee, BT und WLAN	87
8.2.2	Vergleich BT und WLAN.....	88
8.3	Ergebnisse Kommunikation	88
9	Test und Erprobung (AP7).....	89
9.1	Schichtdicke	92
9.2	Optimierungspotential	94
9.3	Aufbau vom Compact- Asphaltfertiger AM300	99
9.4	Ausrüstung vom Straßenfertiger DF135.....	100
9.5	Die Ausrüstung vom Straßenfertiger CM250	101
9.6	Die Temperaturmessung mittels Infrarotscanner	103
9.6.1	Testdaten der Teststrecke	107
9.7	Optimierung über die Geschwindigkeit.....	108
9.7.1	Geradeausfahrt mit Spurwechsel	109
9.7.2	Kalmanfilter Vergleich mit unterschiedlichen Kovarianzen	109
9.7.3	Auswertung der Positionsmessdaten beim Walzensystem	111

10	Entwicklungsschwerpunkte ausgehend von PAST	113
10.1	Der Temperaturscanner	114
10.2	Die Schichtdickenmessung	115
10.3	Systemintegration in den Fertiger	116
10.4	Integration in MM2	117
10.5	Verdichtungsüberwachung mit Kerntemperaturanzeige.....	118
10.6	Kommunikation	119
11	Innovationen.....	120
11.1	Kommunikation	120
11.2	Sensortechnik	120
11.3	Verfahrenstechnik	120
12	Veröffentlichungen.....	123

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abb.
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d. h.	das heißt
Gl.	Gleichung
DAC	digital-to-analog converter
MOBA	Mobile Automation
OP	Operationsverstärker
PWM	Pulsweitenmodulation
LT	Laser- Transmitter
LR	Laser-Receiver
HS	High Side
LS	Low Side
FHA	First Harmonic Approximation
GM	Gain Margin (Amplitudenrand)
PM	Phase Margin (Phasenrand)
WOK	Wurzelortskurve
BT	Bluetooth (Funk- Standard im PC-Bereich)
WLAN	Wireless Local Area Network
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
RTK	Real Time Kinematik (Hochgenaue Positionsbestimmung bei GNSS)
RTKRcv	Library für RTK Berechnungen

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Blockschaltbild Asphalt Transport	22
Abb. 2: Blockschaltbild LKW- Terminal	23
Abb. 3: Aufbau LKW- Terminal.....	24
Abb. 4: Sensoranbringung am Fertiger	24
Abb. 5: Messprinzip " Messung von Distanzen über die Laufzeit"	25
Abb. 6: Lösungsprinzipien für den Datenaustausch	28
Abb. 7: Ablaufsteuerung Fertiger LKW	29
Abb. 8:Prinzip Materialverteilung im Fertiger.....	31
Abb. 9: Systemkonzept mit CAN	32
Abb. 10: Materialsensor im Einsatz	34
Abb. 11: Messaufbau zur Kontrolle für Ultraschallsensoren	35
Abb. 12: Konsistenz der Messsignale bei einem konstanten Abstand	36
Abb. 13 :Sprungartige Temperaturänderung in ruhiger und bewegter Luft.	37
Abb. 14: Ultraschallamplituden bei unterschiedlichen Abständen	38
Abb. 15: Wellenlänge und spektrale Ausstrahlung	41
Abb. 16: Wellenlänge und spektrale Ausstrahlung logarithmisch dargestellt	41
Abb. 17: Aufbau IR-Sensor	42
Abb. 18: Optische Brennweite der IR-Sensoren.....	44
Abb. 19: Abmessungen vom IR Sensor	45
Abb. 20: Visualisierung vom Temperaturprofil.....	46
Abb. 21: Schwarzstrahler zur Kalibrierung der Sensoren.....	47
Abb. 22: Aufbau der Infrarotmessung.....	48
Abb. 23: Aufbau Transponderchip.....	51
Abb. 24: Systemkonzept Bohlensteuerung	52

Abb. 25: Grundaufbau der Schichtdickenmessung beim Kompaktasphaltfertiger	54
Abb. 26: Realisierte Schichtdickenmessung für die Deckschicht	54
Abb. 27: Realisierte Schichtdickenmessung für den Binder	54
Abb. 28: Messergebnisse Schichtdickenmessung für Binder	56
Abb. 29: Messergebnisse Schichtdickenmessung für Deckschicht	57
Abb. 30: Montage Beschleunigungssensor	58
Abb. 31: Signale vom Beschleunigungssensor	59
Abb. 32: Spektrumsanalysator mit Sensor	60
Abb. 33: Auswertung der Daten mittels FFT - Transformation	61
Abb. 34: Systemaufbau Laserempfänger	65
Abb. 35: Erster Aufbau der Bohlenpositionsbestimmung	66
Abb. 36: Messergebnisse der Höhenlage an der Bohlenhinterkante	66
Abb. 37: Grundstruktur der Ebenenpositionserfassung	67
Abb. 38: Übertragungsverhalten Spindel	69
Abb. 39: Übertragungsverhalten der gesamten Ebenenmechanik	70
Abb. 40: Blockschaltbild für Y- Achse	71
Abb. 41: Geometrische Verhältnisse zwischen LT und LR	71
Abb. 42: Datenstruktur zur Repräsentation des Grids	75
Abb. 43: Aufbau vom Grid	75
Abb. 44: Bildschirmdarstellung der Walzenüberfahrten	78
Abb. 45: Referenzstation und Walze im Einsatz	79
Abb. 46: DGPS Daten	80
Abb. 47: RTK Plot	80
Abb. 48: Prinzip Basisstation von Leica	81
Abb. 49: Baustellenkommunikation im Überblick	82
Abb. 50: Aufbau einer CAN over Wireless Nachricht	84

Abb. 51: Datenübertragungskapazität der Teilnehmer	85
Abb. 52: Frequenzen und Standards.....	86
Abb. 53: Rasterdaten der Messungen	90
Abb. 54: Schichtdickenmittelwert.....	91
Abb. 55: Schichtdicke für Sektion 0.6	91
Abb. 56: Höhenprofil.....	92
Abb. 57: Höhenprofil räumlich dargestellt.....	93
Abb. 58: Schichtdicken- Messwerte über Bohlenbreite und Wegstrecke	93
Abb. 59: Querprofil	94
Abb. 60: Interfaceboxen für Schichtdickenmessung.....	96
Abb. 61: Auswerteeinheiten für die Positionsbestimmung.....	96
Abb. 62: Zwei getrennte GPS – Antennen für Positionsbestimmung	97
Abb. 63: Wegrad zur Distanzberechnung.....	97
Abb. 64: Anzeige für die Schichtdickenmessung.....	98
Abb. 65: Schichtdickensensor am Fertigerzugarm	98
Abb. 66: Dynapac Kompaktasphaldfertiger Systemaufbau der Demonstratoren	99
Abb. 67: Dynapac DF135 Systemaufbau der Demonstratoren.....	100
Abb. 68: Kompaktasphaldfertiger CM2500 Systemaufbau der Demonstratoren	101
Abb. 69: Kommunikation eingebettet im Systemaufbau	102
Abb. 70: Montage IR- Temperatur- Scanner	103
Abb. 71: Temperatur - Histogramm	104
Abb. 72: Temperaturverlauf bei Stillstand	104
Abb. 73: Temperaturverlauf in der Asphaltsschicht.....	105
Abb. 74: Rechenmodell für die Asphalt Kerntemperatur	106
Abb. 75: Aufbau GNSS- System	108
Abb. 76: Ergebnisse nach Optimierung.....	109

Abb. 77: Ergebnisse mit Spurwechsel.....	110
Abb. 78: Aufzeichnung der GPS- Positionen an der Teststrecke	111
Abb. 79: Aufzeichnung der GPS- Positionen in der Kurve	112
Abb. 80: Weiterentwicklungen am Fertiger.....	113
Abb. 81: Aktueller Aufbau vom Temperaturscanner.....	114
Abb. 82: Punktdiagramm vom Temperatur-Scanner	114
Abb. 83: Sensoren für Schichtdickenmessung.....	115
Abb. 84: Systemaufbau vom Dynapac Fertiger	116
Abb. 85: MOBA matic Sensor - Anschlussmöglichkeiten	117
Abb. 86: Walzensystem.....	118
Abb. 87: Übersicht Kommunikation im Internet	119

1 Einleitung

In der heutigen Zeit geht es fast in jedem Wirtschaftszweig darum, Prozesse zu optimieren, Abläufe zu Beschleunigen und gleichzeitig die Qualität zu steigern. Dieser Maßstab gilt natürlich auch für den modernen Straßenbau, wo vor allem in Punkto Qualität einer Straße höhere Anforderungen gestellt werden müssen, damit die Lebensdauer erhöht und die Kosten, betrachtet über die Lebensdauer der Straße, entsprechend gesenkt werden können.

Ziel von dem Forschungsprojekt PAST war es, die Beseitigung von qualitätsbeeinflussenden Schwachstellen beim Bau von Asphaltbelägen im Verkehrswegebau zu untersuchen, und die Gebrauchsdauer sowie die Qualität dieser Bauwerke mit neuen Ansätzen der Automatisierungs – und Informationstechnik wesentlich zu verbessern. Zum Erreichen der Ziele wurden letztendlich von der Fa. MOBA 19 Demonstratoren aufgebaut, die entlang der gesamten Prozesskette (vom Mischwerk bis zur Walze) an mehreren Baustellen zum Einsatz kamen. Insgesamt konnten auf den Testbaustellen in Berlin und Jena alle Demonstratoren zum Einsatz gebracht werden.

Die Untersuchungen ergaben, dass die Kostenentlastung der Betreiber, wie die öffentliche Hand oder private Betreibergesellschaften, nur dann erfolgen kann, wenn man die qualitätsbestimmenden Mess- und Regelsysteme konsequent einsetzt. Die Kostenreduzierungen ergeben sich bei den Erhaltungsmaßnahmen, die den größten Teil des Finanzbedarfes im Straßenbau darstellen.

Betrachtet man die modernen Methoden der Automatisierungstechnik etwas genauer, so werden folgende Technologieschwerpunkte abgedeckt, bei denen auch eine kontinuierliche Weiterentwicklung stattfindet:

- Sensortechnik mit Signalaufbereitung zur besseren Erfassung vom Prozessablauf
- Prozessrechnertechnik für eine optimierte Prozesssteuerung
- Visualisierung, um dem Bedienpersonal bestmöglich über den Prozess zu informieren.
- Kommunikationsnetzwerke

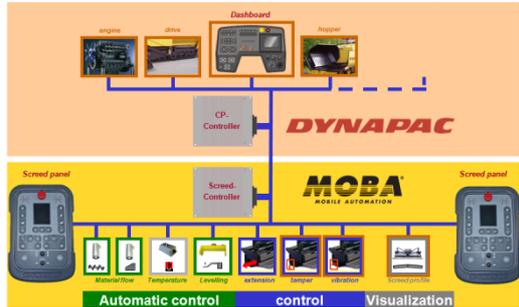
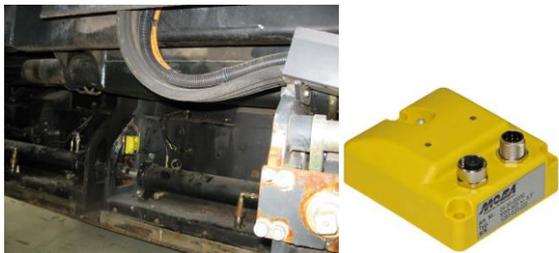
Im PAST – Projekt sollen nun genau die gewonnenen Fortschritte in der modernen Automatisierungstechnik dazu benutzt werden, um letztendlich die Einzelprozesse beim Asphalteinbau zu optimieren, sowie den gesamten Einbauprozess zu visualisieren. Eine Grundvoraussetzung hierfür ist die informationstechnische Zusammenschaltung aller Prozessinformationen. Als Beispiel kann man den Demonstrator zur Temperaturerfassung erwähnen, der direkt hinter der Bohle montierbar ist, und die Temperaturinformationen über eine Internetverbindung auf einen WEB-Server ablegt. Die Demonstratoren wurden an zwei unterschiedlichen Testbaustellen zum Einsatz gebracht. Am Ende sollen die gewonnenen Ergebnisse als Grundlage für gezielte Produktentwicklungen dienen.

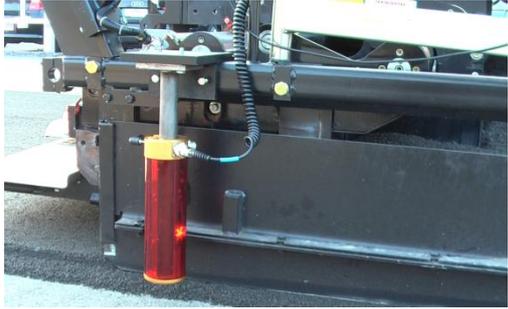
Die Hauptschwierigkeit lag darin, dass neben der Entwicklung und dem Bau der Demonstratoren, diese auch am Fertiger unter realen Einbaubedingungen installiert und in Betrieb genommen werden mussten. Eine große Herausforderung war zweifelsohne der gesamte Logistikaufwand für die Vorbereitung zum realen Baustelleneinsatz der Demonstratoren, sowie dem Aufbau und Test aller Demonstratoren direkt auf den Testbaustellen in Jena und Berlin.

2 Demonstratoren in der Anwendung

Die folgende Liste soll die Demonstratoren im Gesamtüberblick mit entsprechenden Bildern aus der Anwendung zeigen. Alle Demonstratoren bieten zwar das Potential erfolgreich vermarktet zu werden, jedoch würde eine parallele Entwicklung aller Demonstratoren die zur Verfügung stehenden Ressourcen der Fa. MOBA übersteigen. Geplant ist in einem ersten Schritt insgesamt 6 Demonstratoren weiter zu entwickeln.

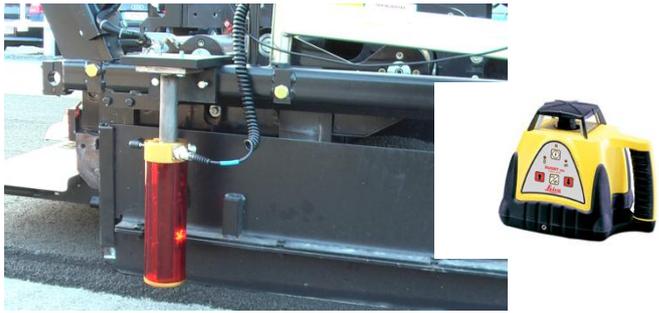
Nr.	Demonstrator	A P	
2	LKW-Lademulde mit integrierter Temperaturmessung	2	 <p>Sensorinterface mit CAN PT100 Sensoren Es wurden 6 Sensoren in der LademuLde integriert.</p>
3	Mess- und Kommunikationseinrichtung für die Prozesskette Baustofflogistik LKW- Terminal	3	 <p>LKW Terminal mit folgenden Optionen: -BT -DGPS -CAN</p>
4	Mess- und Kommunikationseinrichtung am Straßenfertiger zur Mischgutaufnahme Abstandsmessung Fertiger – LKW	3	 <p>Abstandssensorik: -Ultraschall -Laser Die Abstandssensorik kommuniziert per CAN</p>

	Identifikation LKW		mit einem Funkinterface.
5	Elektrohydraulische Andockeinrichtung bzw. Abstandsmessung	3	 <p>Software wurde im MPC120 realisiert und ausgetestet. An dem Fertiger wurde jedoch diese Funktionalität komplett hydraulisch realisiert.</p>
7	Prozessregleinrichtung der Mischgutlogistik im Fertiger	3	 <p>Optimierung der Ultraschallsensoren insbesondere für Lattenrost. Optimierung und Abstimmung der Regelung für Schnecke und Lattenrost</p>
9	Mess- und Kommunikationseinrichtung zur Bestimmung der Verdichtungsarbeit	4	 <p>Beschleunigungssensoren montiert im Innenraum der Bohle. Er dient zur Ermittlung der Vibrationsfrequenzen und der optimalen Einstellung der Bohlenparameter. Dadurch stellt man ein optimales Verdichtungsverhalten der Bohle sicher.</p>

<p>10</p>	<p>Mess- und Kommunikationseinrichtung zur Bestimmung der Schichtdicke (Fertiger)</p>	<p>4</p>	 <p>Das Schichtdickenmesssystem wurde insgesamt an 4 unterschiedlichen Fertigern ausgetestet.</p>
<p>11</p>	<p>Nivellierungseinrichtung mit Schichtdickenregelung</p>	<p>4</p>	 <p>In Verbindung mit der Schichtdickenmessung wurde der Nivellierungsalgorithmus in das Messsystem implementiert.</p>
<p>12</p>	<p>Anfahrautomatik für den Fertiger (Optimierung der Nivellierung beim Anfahren) Abgeleitet vom Bohlenmesssystem</p>	<p>4</p>	 <p>Proportionaler Laserempfänger mit Auflösung 0,1mm an der Bohlenhinterkante. Höhenabweichungen konnten unmittelbar mit einer hohen</p>

			Messwertauflösung erkannt werden.
13	Temperaturmessung im Fertiger	4	 <p>Hier wurden an verschiedenen Stellen im Fertiger IR- Sensoren montiert, die die Asphalttemperatur vor der Bohle ermitteln.</p>
14	Ablegeautomat zur Ablage von metallischen Gegenpolen bzw. Transpondern	4	 <p>Positionsbestimmung für den Ablegeautomat</p>
15	Belagsdicke und Asphalt-Kerntemperatur Walze	5	 <p>Kerntemperatur über Abkühlungsmodell und Temperaturmessung am Fertiger Bestimmung der Belagsdickenreduktion über Beschleunigungssensor (2. Ableitung)</p>

<p>16</p>	<p>Temperaturmessung hinter der Bohle</p>	<p>n e u</p>	 <p>IR- Temperaturscanner erfasst die Oberflächentemperatur über die gesamte Breite, wobei sich die Meßbreite automatisch einstellt.</p>
<p>17</p>	<p>Zentrale Kommunikationseinheit am Fertiger</p>	<p>n e u</p>	 <p>Windows CE- Rechner mit Interfaceboxen und Internetverbindung. Hier laufen alle Daten, die während dem Einbau generiert werden zusammen.</p>
<p>18</p>	<p>Anzeigeeinheit für die Walze mit Darstellung der Temperatur über ein Abkühlmodell und die Visualisierung der Überfahrten.</p>	<p>5</p>	 <p>Das System visualisiert und kontrolliert die Anzahl der Überfahrten pro Verdichtungsspur. Siehe auch D15.</p>

19	Bohlenmesssystem	 <p data-bbox="826 544 1485 797">Lasertransmitter erzeugt eine Laserebene im Raum. Die Ausregelung der Laserebene erfolgt automatisch. Der proportionale Laserempfänger an der Bohlenhinterkante wertet die Lasersignale entsprechend aus.</p>
----	------------------	--

2.1 Die erreichten Fortschritte im Überblick

Die wesentlichen Fortschritte, die im PAST- Projekt erreicht wurden, können wie folgt kurz zusammengefasst werden:

- Durchgängige Temperaturkontrolle an allen Stellen der Prozesskette
- Schichtdickenmessung beim Standardfertiger
- Schichtdickenmessung beim Kompaktasphaltfertiger
- Neue Ansätze für die Ebenheitsmessung
- Positionierungssysteme für den Fertiger
- Optimierung der Mischgutlogistik im Fertiger
- Aufbau einer Kommunikationsstruktur über den gesamten Einbauprozess
- Applikationsbezogene Optimierung der Positionsbestimmung an der Walze

In Kapitel 3 bis 8 sind die einzelnen Arbeitspakete mit ihren Demonstratoren beschrieben und die Ergebnisse der Arbeitspakete am Ende zusammengefasst. Daneben wird in Kapitel 10 darüber informiert, welche Demonstratoren bis zur Marktreife weiterentwickelt werden. In Kapitel 11 werden schließlich nochmals projektspezifische Innovationen dargestellt.

3 Mischgutlogistik Transport (AP2)

3.1 Die Transportwege

In der Regel liegen die Mischgutdaten (Temperatur, Typ, Menge etc.) beim Asphaltmischwerk zum Zeitpunkt der Verladung vom Asphalt auf den LKW in digitaler Form vor. Der Transport dieser Daten beginnt somit zum Zeitpunkt der Datenübertragung vom Mischwerk-PC zum LKW. Abb. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Kommunikationswege sowie die benötigten Übertragungsdaten.

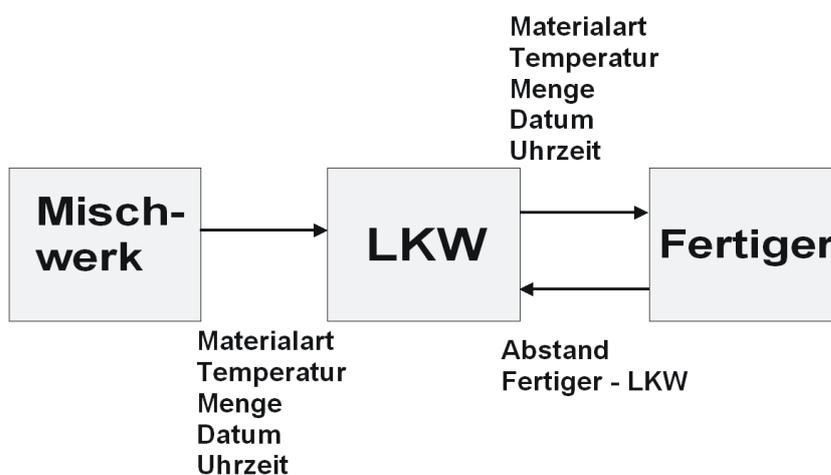


Abb. 1: Blockschaubild Asphalt Transport

3.2 LKW - Terminal

Für die Datenkommunikation ist ein kompaktes Datenterminal entwickelt worden, was neben der Datenspeicherung auch eine Abstandsanzeige besitzt. Der Kommunikationsaufbau zwischen Fertiger und LKW erfolgt, wenn der Abstand zwischen LKW und Fertiger $< 10\text{m}$ beträgt. In einem ersten Schritt schaut das BT-Modul am Fertiger nach, ob die Kommunikationseinheit im LKW eine ihm bekannte Identifikation besitzt. Danach erfolgt die kommunikationstechnische Verknüpfung (man sagt: die Kommunikationsmodule werden verheiratet) der beiden BT-Module. Funktechnisch bedeutet dies, dass beide Einheiten voneinander wissen, wie Sie ihre

Frequenzwahl (Frequenz – hopping) während der Kommunikation berechnen und durchführen werden.

Die Graphikeinheit erfüllt im Wesentlichen zwei Aufgaben:

- Übertragung der Materialdaten an den Fertiger
- Empfangen und Anzeige von Abstandsdaten zwischen LKW und Fertiger

Die Anzeige des Abstandes zwischen Fertiger und LKW soll dem LKW-Fahrer dazu dienen, das Andockmanöver (der Fertiger muss beim Befüllen des Fertigers den LKW schieben) zu erleichtern. Das Andock-Szenario sieht wie folgt aus:

- LKW nähert sich Fertiger bis auf ca. 2m
- LKW stoppt
- LKW beginnt Vorwärtsfahrt bei einem Abstand von 1 m
- LKW – Fahrer achtet auf die Annäherungsgeschwindigkeit

Die Annäherungsgeschwindigkeit sollte dann beim Andocken nahe 0 km/h betragen.

Abb. 2 zeigt das Blockschaltbild vom Aufbau der Anzeigeeinheit für den LKW, sowie eine mögliche Vorderansicht der Anzeigeeinheit. Die Darstellung der

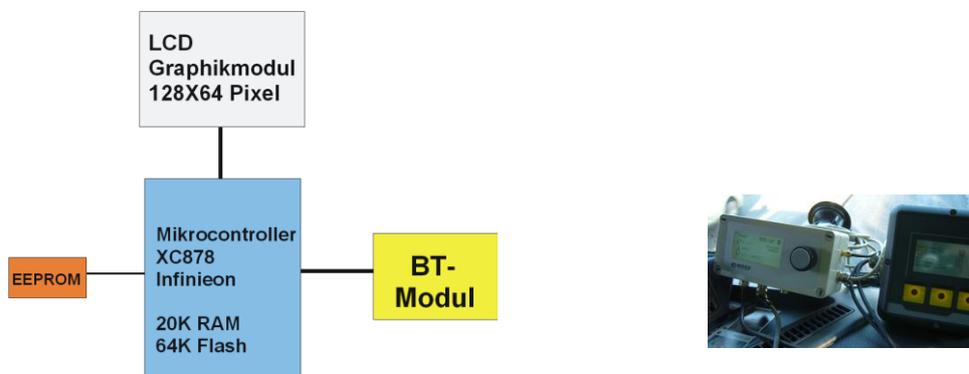


Abb. 2: Blockschaltbild LKW- Terminal

3.3 Die Abstandsmessung zwischen LKW und Fertiger

Es wurden insgesamt 4 verschiedene Abstandsmessprinzipien ausgetestet:

- Abstandsmessung per Ultraschall
- Abstandsmessung über Laser
- Abstandsmessung mit Radarsensoren
- Abstandsmessung mit BT

3.3.1 Die Abstandsmessung mit Ultraschall

Der eigentliche Ultraschall – Abstandssensor wird am Fertiger unter den Abdruckrollen angebracht. An dieser Position (siehe Abb. 4) ist der Sensor weitestgehend vor mechanischen Beschädigungen geschützt und kann trotzdem den Abdruckbalken vom LKW, der als Ultraschall – Reflektions fläche dienen soll, erkennen und somit den Abstand zum Fertiger ermitteln.

Die Abb. 3 stellt das prinzipielle Blockschaltbild vom Messsystem für die Abstandsmessung dar. Die Abstandsinformation wird nach der erfolgreichen Messung auf den CAN-Bus übertragen. Ein übergeordnetes Visualisierungssystem kann den Andockvorgang entsprechend darstellen.

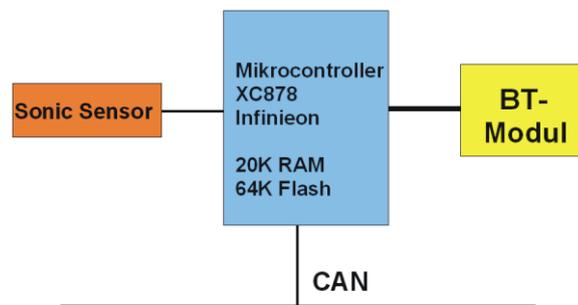


Abb. 3: Aufbau LKW- Terminal

Die Abb. 4 zeigt den Installationsbereich vom Ultraschall- Abstandssensor. Der Ultraschallsensor muss so angebracht sein, dass er in einem Bereich von 0,3m bis 1,5m den LKW Abdruckbalken sicher erkennen kann.



Abb. 4: Sensoranbringung am Fertiger

Neben der direkten Kommunikation vom Messwert über ein integriertes BT-Modul im Sensor besteht die Möglichkeit der Kommunikation mit dem ON-Board – Rechner über eine CAN- Verbindung. Der ON-Boardrechner hätte den Vorteil mit Hilfe einer entsprechenden Datenbank die LKW- Daten zu verwalten.

3.3.2 Entfernungsmessung zum LKW per Funk

Parallel zu der Entfernungsmessung mit Ultraschall wurden zwei weitere Messprinzipien basierend auf Funkwellenmesstechnik betrachtet. Hier bieten sich zwei unterschiedliche Wege an:

- Messung auf der Basis von LPR
- Entfernungsmessung auf Basis von BT

3.3.3 LPR Entfernungsmessung

Bei diesem Messprinzip erfolgt die Messung von Distanzen über die Laufzeit eines Funksignals. Funksignale sind elektromagnetische Wellen, die sich mit der Lichtgeschwindigkeit "c" (~300.000 km/s) ausbreiten. Diese Geschwindigkeit ist sehr genau bekannt. Über die Messung der Laufzeit "t" eines Funksignals kann deshalb die Entfernung "d" zwischen Sender und Empfänger eines Signals durch die Beziehung $d=c*t$ ermittelt werden.

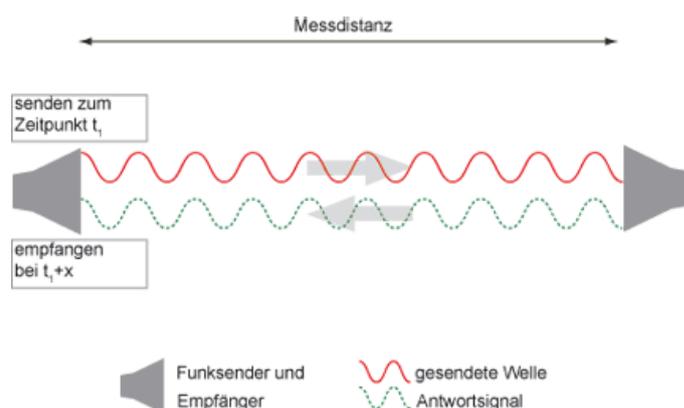


Abb. 5: Messprinzip "Messung von Distanzen über die Laufzeit"

Um cm-genaue Distanzen zu messen, liegt die erforderliche Genauigkeit für die Zeitmessung im Bereich von wenigen pico-Sekunden (0,000.000.000.000 s). Die für LPR verwendeten Frequenzen liegen bei ca. 5,8 GHz und 61 GHz, im international lizen-

frei verfügbaren ISM-Band. Die zulässige Sendeleistung bei 5,8 GHz beträgt je nach Zulassungsbedingungen einzelner Länder lediglich zwischen 0,01 und 0,025 Watt. Dies ist 40-fach geringer als die für WLAN-Netze oder Mobiltelefone zulässige Sendeleistung.

3.3.4 Entfernungsmessung mit BT

Die Entfernungsmessung mit BT erfolgt nach dem gleichen Messprinzip, wie es schon zuvor für LPR erläutert worden ist. Die wesentlichsten Unterschiede sind:

- Frequenz bei LPR :5,8GHz, Frequenz BT: 2,4 GHz
- Sendeleistung
- Messgenauigkeit liegt bei BT bei ca. 0,5m und bei LPR bei ca. 2 cm
- BT bietet die Möglichkeit der zusätzlichen Datenkommunikation. LPR nicht.

Sowohl BT als auch LPR besitzen gegenüber der Ultraschallmessung folgende entscheidende Nachteile, was den Einsatz der Technologie zunächst verhindert.

- Zu hohe Kosten beim LPR
- Messgenauigkeit beim BT zu gering (liegt bei ca. 0,5 m)

Grundsätzlich macht es jedoch Sinn die Weiterentwicklung dieser Technologien zu verfolgen, um immer wieder weitere Einsatzfelder bzw. Möglichkeiten an Baumaschinen zu untersuchen mit dem Ziel, die Funktionalität der Maschinen zu verbessern.

3.3.5 Ergebnisse der Abstandsmessung

Die durchgeführten Untersuchungen im Bereich der Abstandsmesssysteme (Local Positioning Radar (LPR), Ultraschall, Laser, Datenfunk) ergab einen klaren Vorteil für die Ultraschallabstandsmessung. Die Bewertung der einzelnen Messverfahren ist der Tabelle 1 zu entnehmen.

Kriterien	LPR	Ultraschall	Laser	Datenfunk
Entfernung	++	+	+	+
Genauigkeit	+	+	+	-
Robustheit	0	++	-	0
Kosten	--	++	0	0

Tabelle 1

Die Hauptargumente bei der Entscheidungsfindung waren die Messwertrobustheit in Verbindung mit der Genauigkeit sowie die Entstehungskosten für die Messeinheit.

Die Ultraschalltechnologie kann nicht nur bei der Abstandsmessung zwischen LKW und Fertiger eingesetzt werden, sondern auch Verwendung finden, wenn der Füllstand im Asphaltvorratsbehälter vom Straßenfertiger zu bestimmen ist.

3.4 Der Datenaustausch zwischen LKW und Fertiger

Prinzipiell gibt es 3 Möglichkeiten, um einen Datenaustausch zwischen Fertiger und LKW zu realisieren.

- Lösung A: Einsatz von RFID- Transpondern
- Lösung B: Kombination von Ultraschall und Funkdatenübertragung mit BT
- Lösung C: Kommunikation über Internet

Für die Lösung B gibt es noch eine weitere Variante, wobei sich am LKW ein Ultraschallsensor befindet, der als aktive Reflektionsfläche dient. Der Vorteil bei dieser Lösung liegt in der eindeutigen Identifikation vom LKW, der sich vor dem Fertiger befindet. Weiterhin lässt sich die Abstandsmessung exakter durchführen und die Störgrößenunterdrückung weiter erhöhen.

In der nachfolgenden Abb. 6 sollen die Lösungsmöglichkeiten für einen Datenaustausch in Verbindung mit der Abstandsmessung Fertiger – LKW skizziert werden.

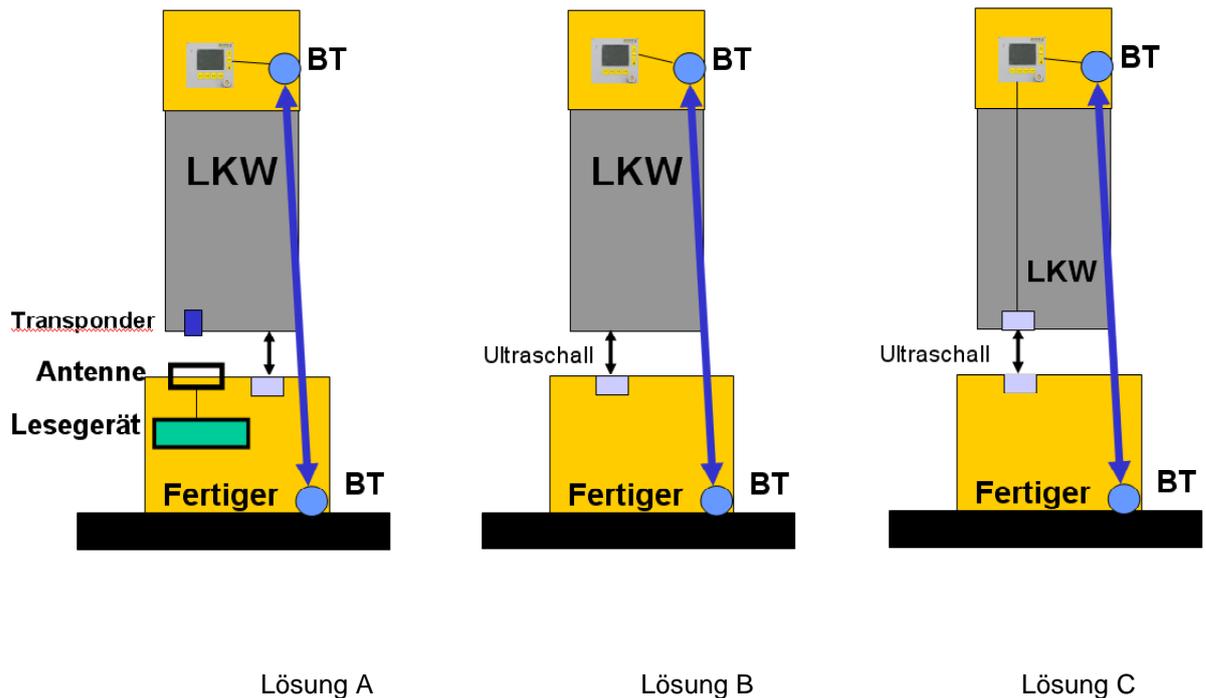


Abb. 6: Lösungsprinzipien für den Datenaustausch

Die Untersuchungen für die Lösung A ergaben, dass die Antenneninstallation direkt an dem Fertiger im Andockbereich zwischen LKW und Fertiger äußerst problematisch ist. Hierfür können folgende Gründe genannt werden:

- Mechanische Robustheit der Antenne kann zu Problemen führen
- Der Bauraum für die Antenne ist sehr gering
- Ausrichtung Antenne – Transponder ist schwierig

Aus den oben genannten Gründen wird für die weitere Vorgehensweise die Ultraschalltechnik eingesetzt. Ein wesentliches Ziel besteht darin, die Messwertstabilität und Robustheit weiter zu verbessern, damit man in der Applikation ein störungsfreier Betrieb der Sensoren gewährleistet ist.

3.5 Ablaufsteuerung für das Andocken vom LKW an den Fertiger

Nachdem das Abstandsmesssystem einen LKW detektiert, initiiert die Kommunikationseinheit in dem Fertiger den Aufbau der Funkverbindung zum LKW. Da mehrere LKW's im Sendebereich von dem Fertiger stehen können, muss eine Identifikation vom LKW stattfinden. Diese kann über die Anbringung eines Ultraschallsensors am LKW erfolgen. Weitere Möglichkeiten wie Temperaturmessung der Asphalttemperatur im LKW oder die Einbindung vom LKW-Fahrer, für die eindeutige LKW- Identifikation müssen noch untersucht bzw. mit den Projektpartnern diskutiert und festgelegt werden.

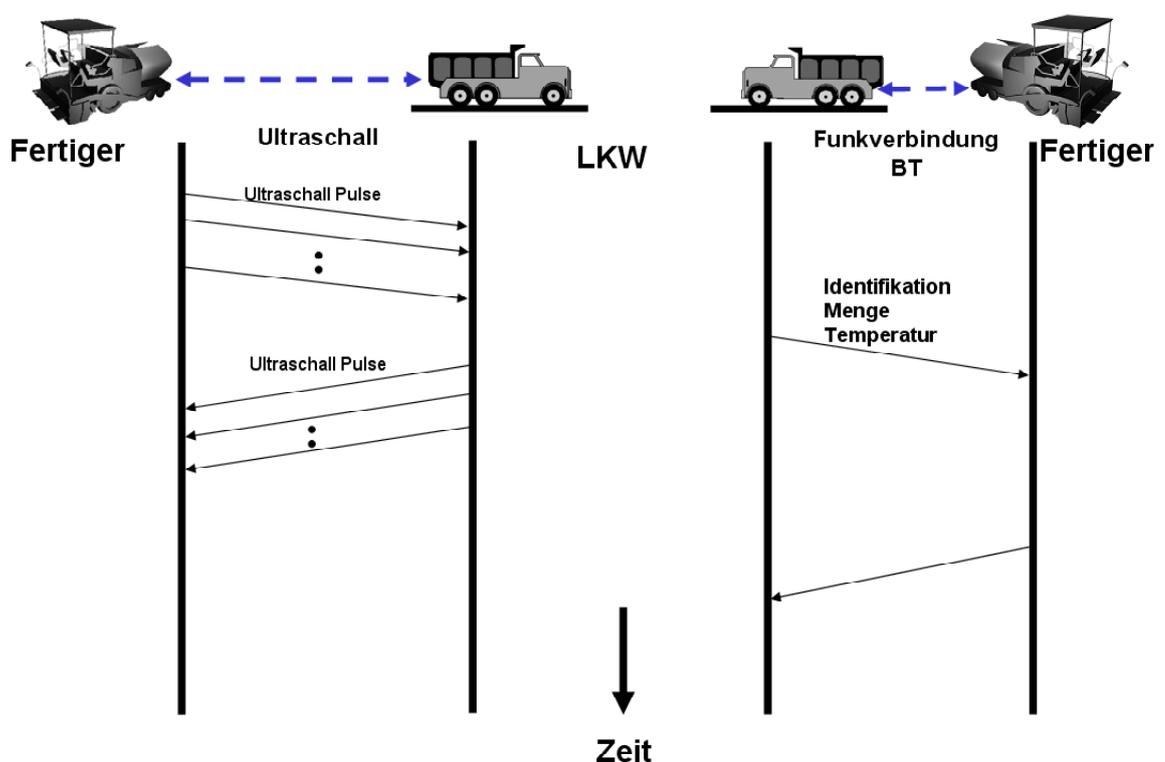


Abb. 7: Ablaufsteuerung Fertiger LKW

Das in der Abb. 7 dargestellte Prinzip der Ablaufsteuerung zeigt die zeitliche Abfolge der Ultraschallsignale (Abstandsmessung) zusammen mit dem Datenaustausch zwischen Fertiger und LKW.

Am LKW ist eine kompakte Graphikeinheit vorgesehen, die über BT mit dem Fertiger in Verbindung steht. Dabei erfolgt der Aufbau der Datenkommunikation, wenn der Abstand zwischen LKW und Fertiger $< 10\text{m}$ beträgt.

3.6 Ergebnisse für Mischgutlogistik und Transport

Für die Abstandsmessung zwischen LKW und Fertiger wurden vorzugsweise Ultraschallsensoren eingesetzt. Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Lasertechnologie zeigen, dass die Laserabstandsmessung durchaus eine mögliche Messalternative darstellt, die aber noch untersucht werden muss. Vor allem was die Genauigkeit und Robustheit der Laser-Sensorik betrifft, sind sicherlich noch weitere Entwicklungsschritte abzuwarten. Welche Technologie sich dann letztendlich durchsetzt, hängt sehr stark von der Robustheit und einfachen Handhabung der Sensorik ab.

Die Transponder-Technologie wird die Fa. MOBA in Zukunft zusammen mit der Fa. Minds weiterentwickeln. Ein erster Demonstrator stand für die Versuche auf der Testbaustelle in Berlin bereits zur Verfügung.

Die eigentliche Logistik zwischen Mischwerk, LKW und Fertiger wird in Zukunft über einen zentralen Internet- Server erfolgen, wo alle relevanten Informationen für die Steuerung vom Mischgut gespeichert sind. Fertiger und LKW sind mit entsprechenden digitalen Internetverbindungen (UMTS, GPRS) ausgerüstet, die in angepassten Zeitabständen Ihre gesammelten Daten auf den Server übertragen können. Eine eingerichtete WEB-Page ermöglicht es die Serverdaten, je nach Anforderung, auf ein Datenendgerät zu visualisieren. So kann z.B. der Baustellenleiter sich auf seinem Handy (iPhone, iPad, ..) immer den aktuellen Stand der Einbausituation abrufen.

Die gesamte Internet-Infrastruktur wurde mit Hilfe von Demonstratoren an den Maschinen auf der Testbaustelle in Berlin aufgebaut und zum Einsatz gebracht.

4 Mischgutlogistik Fertiger (AP3)

Neben der Mischgutlogistik beim Transport von Asphalt spielt die Mischgutlogistik im Fertiger eine entscheidende Rolle. Ziel ist es hier die gewonnenen Erkenntnisse direkt mit dem Hersteller der Maschinen in entsprechende Systemintegrationen umzusetzen.

4.1 Mischgutlogistik Fertiger

Der Asphalt wird zunächst vom Zubringerfahrzeug in den Materialkübel des Fertigers, der als Vorrats- und Dosier-Behältnis dient, geschüttet. Von dort gelangt er über ein oder zwei Förderbänder (Lattenrost) zum hinteren Teil der Maschine. Hier wird das Material dann über eine Förderschnecke, quer zur Maschine, über die gesamte Arbeitsbreite vor der Bohle verteilt.

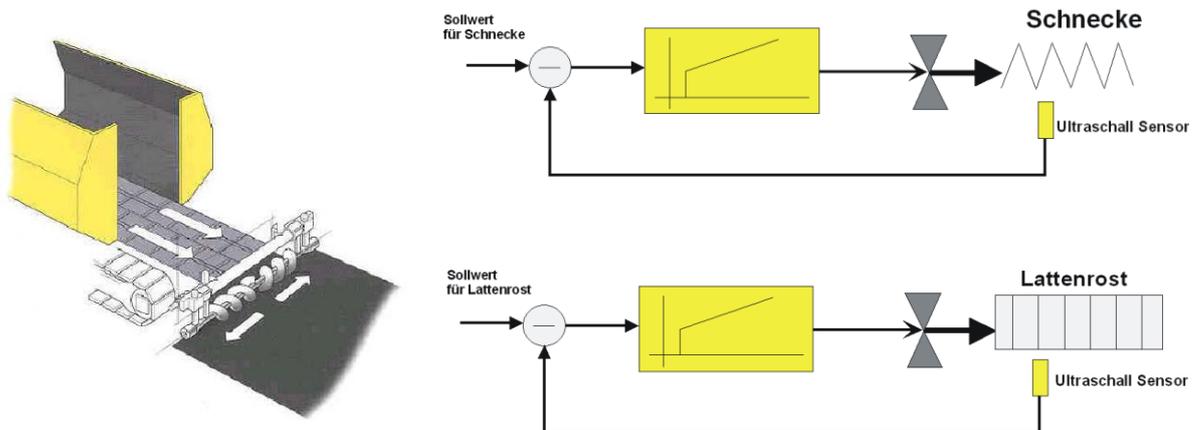


Abb. 8:Prinzip Materialverteilung im Fertiger

Die Abb. 8 zeigt in schematischer Form sowohl den Lattenrost als auch den Schneckenverteiler vor der Bohle. Daneben sind die jeweiligen Regelkreise dargestellt. Die Sollwerte der Regelkreise bestimmen letztendlich die Materialhöhe vor der Bohle. Die Stellgröße ist das hydraulische Ansteuerungssignal für den hydraulischen Lattenrost – und Schneckenmotor. Über die Geschwindigkeit der hydraulischen Motoren wird die Materialmenge eingestellt.

Die benötigte Materialmenge wird maßgeblich von Fahrgeschwindigkeit, Einbaubreite und Schichtdicke beeinflusst. Durch Ein- und Abschalten bzw. durch Regulierung der Drehzahl von Lattenrost und Schnecke wird ein kontinuierlicher Materialfluß realisiert werden. Da die Materialhöhe vor der Bohle einer der Hauptfaktoren ist, der sich maßgeblich auf die Ebenheit des Ergebnisses auswirkt, muss die Materialmenge so konstant wie möglich gehalten werden. Veränderungen der Materialmenge vor der Bohle haben direkten Einfluss auf das Schwimmverhalten der Bohle, was letztendlich zu Unebenheiten beim Asphalteinbau führt.

Das Optimierungspotential hier liegt in der Ermittlung und Steuerung der optimalen Materialmenge. Mit einem integrierten Kontrollsystem im Fertiger soll in Zukunft der Materialmengensollwert anhand von typischen Einbauparametern vom System berechnet und der jeweiligen Einbausituation angepasst sein.

Das Grundkonzept, das im Detail noch weiter auszuarbeiten und zu optimieren ist, zeigt die Abb. 9.

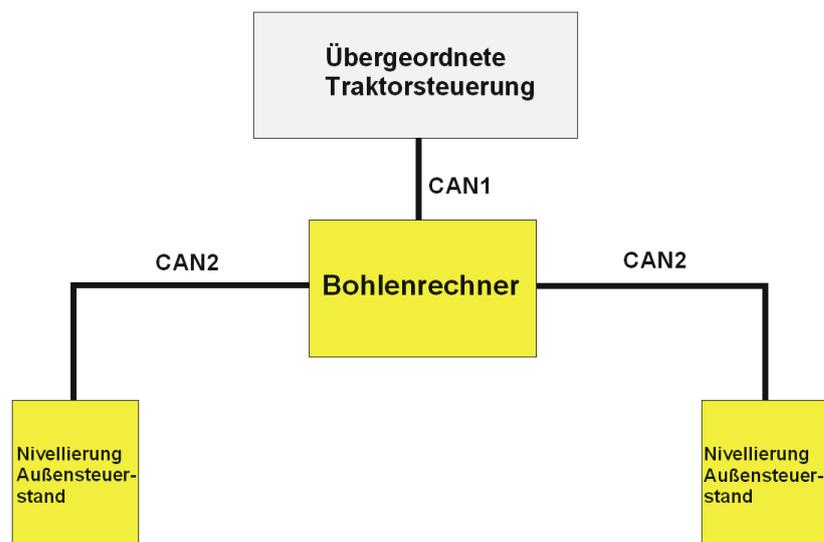


Abb. 9: Systemkonzept mit CAN

Der Bohlenrechner dient als zentrale Kommunikationseinheit, der zum einem mit dem übergeordneten Traktorsystem per CAN in Verbindung steht, und zum anderen

die Kommunikation mit den Außensteuerständen an der Bohle kommuniziert. Insgesamt sollen folgende Funktionen wahrgenommen werden:

- Bohlennivellierung – Ebenheitssteuerung
- Schichtdickenmessung
- Materialsteuerung – Schnecke
- Materialsteuerung – Lattenrost
- Ausfahrbohle steuern
- Steuern von Stampfer und Vibrator
- Optimierung der Vibrationsfrequenzen
- Dachprofileinstellung

Zur optimalen Steuerung vom Materialfluss und der entsprechenden Mengenregulierung beim Fertiger werden Ultraschallsensoren eingesetzt. Sie haben den großen Vorteil völlig berührungslos zu arbeiten. Verkleben und Verschmutzungen, wie beim Paddel, können daher nicht auftreten.

Ultraschallsensoren arbeiten mit einem piezoelektronischem Wandler als Schallsender- und Empfänger. Zur Auskopplung des Ultraschalls an das akustisch dünnere Medium Luft dient eine Auskoppelschicht aus einem speziellen Keramikmaterial. Diese Auskoppelschicht ist mit dem Piezoelement formschlüssig verklebt, sodass die erzeugten Ultraschallwellen auf diese übertragen. Damit man Körperschall vermeidet, ist das Sensorelement mit einem Polyurethanschaum eingeschäumt.

4.2 Genauigkeit der Ultraschallmessung

Der Wandler sendet ein Schallimpulspaket aus und setzt den Echoimpuls wieder in Spannung um. Aus Echolaufzeit und Schallgeschwindigkeit errechnet sich ein integrierter Controller den zu messenden Abstand aus. Die Ultraschallfrequenz beträgt bei dem verwendeten Sensor 200kHz, die Pulswiederholfrequenz beträgt 50Hz.

Zur Bestimmung der absoluten Genauigkeit des Messwertes eines Ultraschallsensors müssen die Umgebungsbedingungen wie Temperatur Atmosphärischer Druck, Relative Luftfeuchte, Turbulenzen, Wärmeblasen in der Sensor umgebenden Luft berücksichtigt werden.



Abb. 10: Materialsensor im Einsatz

Bild 10 zeigt den Montage-Ort der Ultraschall- Materialsensoren am Fertiger.

Um den Materialtransport zu optimieren sind folgende Verbesserungen realisiert bzw. in Vorbereitung:

- Verbesserungen der Ultraschallsensoreigenschaften
- Kompensation von Temperaturdrift
- Erhöhung der zulässigen Sensortemperatur
- Verkleinerung vom Nahbereich
- Intergration der Materialkontrolle in den Fertiger

Wichtig ist es zu erkennen, dass die Summe der Verbesserungen für die Applikation signifikante Vorteile bringt. In erster Linie ist dabei das Verhalten bei hohen Temperaturen und die Verbesserung im Nahbereich bei den Ultraschallsensoren zu untersuchen und zu optimieren.

4.2.1 Verbesserungen der Ultraschallsensoreigenschaften

Zur Verbesserung der Ultraschallsensoreigenschaften wurden am Sensorkopf einige Modifizierungen vorgenommen. Insbesondere ist ein verstärktes Augenmerk auf das Ausschwingverhalten vom Sensorkopf (Piezoelement) gelegt worden. Das Ausschwingverhalten beeinflusst direkt den Messbereich im Nahfeld, welcher bei der Materialflusskontrolle eine wichtige Kenngröße ist. Kommt das Material zu nahe an den Sensor, kann der Sensor keine Messwerte generieren, da der Ultraschall-Rückimpuls im Ausschwingensignal vom Sensor verschwindet und somit nicht messbar ist. Je näher der Sensor jedoch an das Material platziert werden kann, umso exakter kann man den Materialfluss erkennen, somit berechnen, und steuern.

Für die Untersuchungen bzw. Optimierungsarbeiten wurden zwei Ultraschallsensoren mit einer Ultraschallfrequenz von 120 kHz aufgebaut, wie in der Abb. 11 zu sehen ist. Die Sensoren sind in einen Master- und einen Slave-Sensor unterteilt. Der Master-Sensor übernimmt neben der eigentlichen Sende- und Empfangsaufgabe noch die Synchronisation und Weiterverarbeitung der Signale. Wenn der Master sich im Sendemodus befindet, ist der Slave auf Empfang eingestellt. Nach einer Messung ändern die Sensoren ihren Modus, so dass sich der Master im Empfangsmodus und der Slave im Sendemodus befinden.



Abb. 11: Messaufbau zur Kontrolle für Ultraschallsensoren

Mit diesem Aufbau wurden folgende Test durchgeführt:

- Überprüfung der Konsistenz der Messsignale
- Durch einen Aufbau mit konstantem Abstand wurde überprüft,

- ob die Messsignale vom Master und Slave identisch sind.
- ob sich die Messsignale bei Temperaturänderung identisch verhalten
- wie sich die Messsignale beim Einfluss von Wind und heißer Luft verhalten
- Ermittlung eines Algorithmus zur Bestimmung des Abstandes der zwei Sensoren
- Optimierung der Temperaturmessung im Bezug auf Genauigkeit und Reaktionszeit
- Ermittlung eines Algorithmus zur Temperaturkompensation des Abstandes
- Überprüfung der Genauigkeit bei unterschiedlichen Abständen
- Ermittlung eines Algorithmus zur Amplitudenkompensation des Abstandes
- Ermittlung eines Statuswertes für eine quantitative Bewertung der Messung

Im Folgenden nun einige Testaufbauten und die dazugehörigen Ergebnisse:

4.2.2 Vergleich der Signale

Die Messung wurde bei einem konstanten Abstand aufgenommen. Die Signale unterscheiden sich um 0,8%, was sich durch die Toleranzen in der Elektronik und im Übertragungsverhalten der Ultraschallschwinger begründen lässt. Siehe hierzu auch Abb. 12.

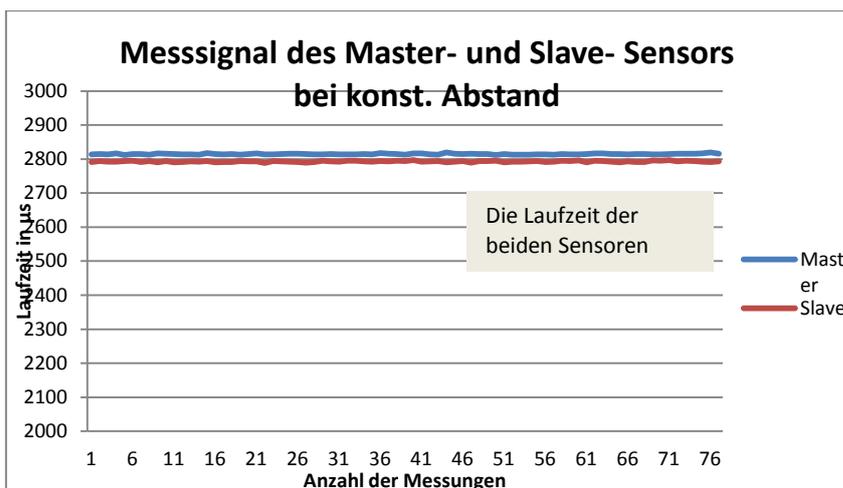


Abb. 12: Konsistenz der Messsignale bei einem konstanten Abstand

4.2.3 Die Kompensation der Temperaturdrift

Die Schallgeschwindigkeit ist abhängig von der Lufttemperatur. Schallwellen breiten sich in Luft bei einer Temperatur von null Grad Celsius mit einer Geschwindigkeit von 331,6 m/sec aus. Mit der Lufttemperatur ändert sich die Schallgeschwindigkeit um 0,17 %/K. Diese temperaturbedingte Änderung der Schallaufzeit führt dazu, dass bei Temperaturerhöhung der Objektabstand scheinbar geringer wird. Eine Temperaturerhöhung um z.B. +10 °C bewirkt eine Verringerung des Abstandes um 1,75 % .

Ultraschallsensoren sollten daher mit einem internen Temperaturfühler und einer Kompensationsschaltung ausgestattet sein, um Messfehler, bedingt durch Temperaturschwankungen, ausgleichen zu können.

4.2.4 Verhalten bei Temperaturänderung

Bei Temperaturänderung verhalten sich die Sensoren ähnlich. Durch eine Kompensation lassen sich die Abweichungen über die Temperatur minimieren.

Das Temperatur-Sprungverhalten, was in der Praxis so gut wie nie vorkommt, ist sehr träge. Hier sprunghafte Temperaturänderung in ruhiger und bewegter Luft.

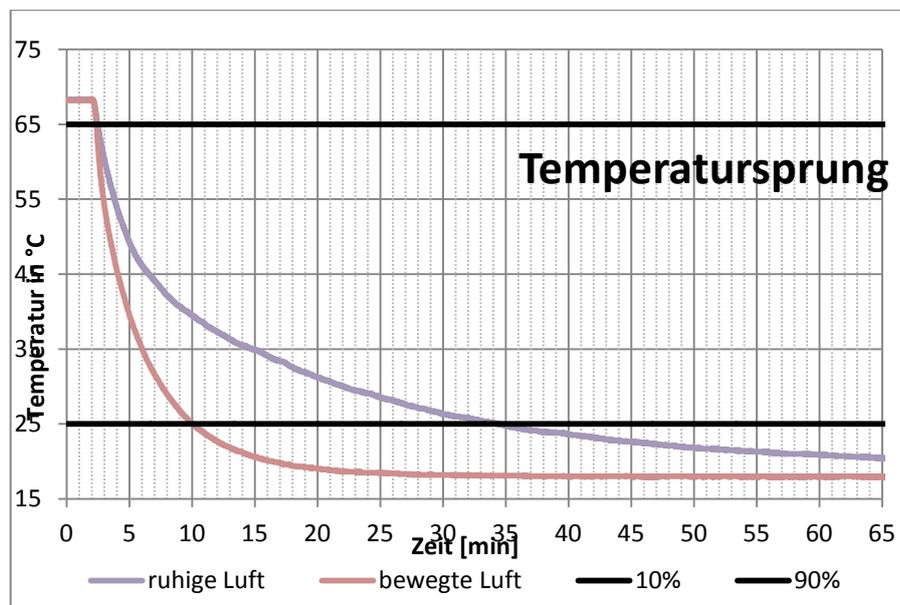


Abb. 13 :Sprunghafte Temperaturänderung in ruhiger und bewegter Luft.

4.2.5 Genauigkeit und Amplitudenabhängigkeit

Bei Messungen in größeren Abständen kann man feststellen, dass die Signalamplitude sich verringert und damit der Fehler der Messung ansteigt.

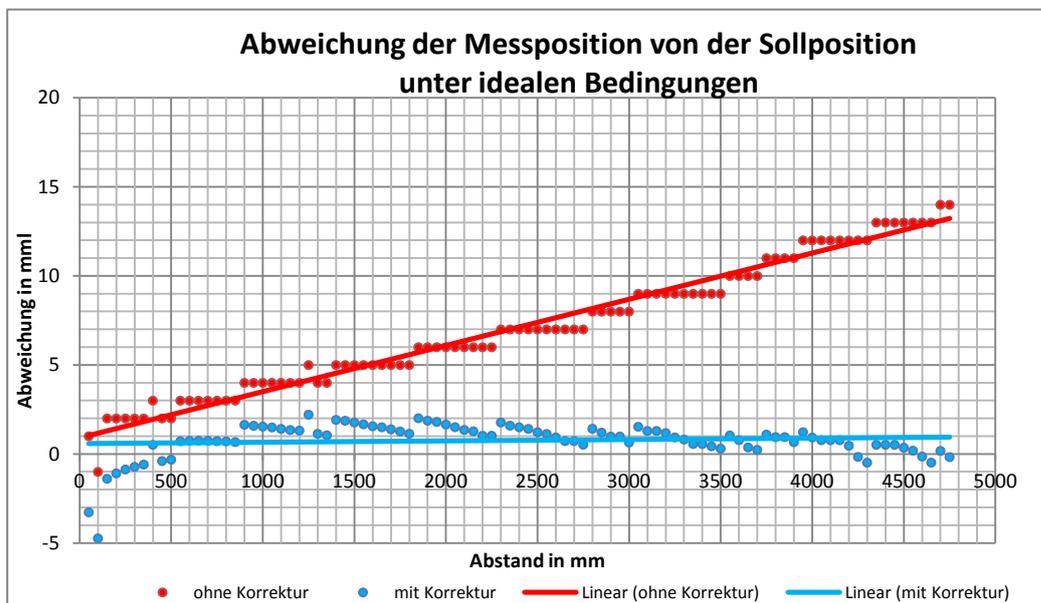


Abb. 14: Ultraschallamplituden bei unterschiedlichen Abständen

4.3 Ergebnisse

Die Untersuchungen im Ultraschallbereich sind erfolgreich abgeschlossen worden. Das Optimierungspotential wird nun in eine konkrete Sensorentwicklung überführt. Ein Konzept für die Steuerung vom Materialtransport wurde erstellt. Die Realisierung (Demonstrator bzw. die Integration in den Fertiger) wird zusammen mit Dynapac weiter vorangetrieben.

Weiterhin sollen die hier gewonnenen Ergebnisse bei Systemintegrationen beim Fertiger genutzt werden. Insbesondere bietet die Verbesserungen der Ultraschallmessung bei höheren Temperaturen noch weitere Einsatzpotentiale für die Materialsteuerung im Fertiger.

5 Der Einbau (AP4)

Die gewonnenen Erkenntnisse im Arbeitspaket 4 haben gezeigt, dass die Temperaturmessung und deren Dokumentation ein sehr hoher Stellenwert zugeordnet werden kann. Daneben war die Schichtdickenmessung ein wesentlicher Punkt, um die Einbauqualität insbesondere beim Kompaktasphaltpfeger zu verbessern.

5.1 Die Temperaturmessung in der gesamten Prozesskette

Im Projekt hatte die Infrarot – Temperaturmesstechnik schon von Anfang an eine Schlüsselposition in Verbindung mit der Bestimmung der Einbauqualität. Daher soll auf die Technologie der IR- Messung im Folgenden näher eingegangen werden.

Ein IR Sensor erfasst die von einem Objekt abgestrahlte Energie und lenkt diese auf einen oder mehrere Infrarot-Detektoren. Im Detektor wird die Strahlungsenergie der IR-Strahlung in elektrische Signale umgewandelt, die dann auf Grundlage der Kalibrierung des Sensors und des eingestellten Emissionsgrades in Temperaturwerte umgerechnet werden.

5.2 Die Grundlagen der IR- Messung

Bei jedem Objekte oberhalb des absoluten Nullpunktes kommt es zu thermischen Schwingungen der Elektronen und Atomkerne. Die Intensität dieser Bewegung hängt von der Temperatur des Objekts ab. Bei diesem Vorgang wird Energie in Form von elektromagnetische Strahlung (u.a. Infrarot-Strahlung) emittiert. Infrarot Strahlung besteht aus Photonen, welche sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen und den bekannten optischen Prinzipien folgen, (beugen, reflektieren, fokussieren mit Linsen).

Weiterhin ist die Intensität der von einem Objekt abgestrahlten IR-Energie ist von seiner Temperatur und dem Emissionsgrad abhängig. Der Emissionsgrad bezeichnet die Abstrahlungscharakteristik unterschiedlicher Materialien und Oberflächen. Bei üblichen IR-Sensoren ist der Emissionsgrad im Bereich von 0,1 bis 1,0 einstellbar, so

dass die Temperaturen unterschiedlichster Oberflächen zuverlässig ermittelt werden kann.

Es gilt die grundsätzliche Definition:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \text{ (Emission + Reflexion + Transmission)}$$

5.2.1 Einteilung der Infrarot Strahlung:

Das Spektrum der IR Strahlung bewegt sich zwischen den Wellenlängen 0.7 bis 1000 μm . Für die IR Temperaturmessung ist aber nur der Bereich zwischen 1 und 14 μm relevant.

- **nahes Infrarot** ist kurzwellige IR-Strahlung, die sich direkt an den sichtbaren (roten) Bereich anschließt von 780 nm bis 3000 nm.
- **mittleres Infrarot** schließt daran an bei Wellenlängen von 3,0 μm bis 50 μm .
- **fernes Infrarot** ist langwellige IR-Strahlung von 50 μm bis 1 mm.

5.2.2 Graphische Darstellung des Strahlungsgesetzes

Die Abb. 15 zeigt das plancksche Strahlungsspektren für verschiedene Temperaturen zwischen 300 K und 1000 K in linearer Darstellung. Man erkennt die typische Glockenform mit einem deutlich ausgeprägten Strahlungsmaximum, einem steilen Abfall zu kurzen Wellenlängen hin und einem länger auslaufenden Abfall zu großen Wellenlängen hin. Die Lage des Strahlungsmaximums verschiebt sich, wie es das wiensche Verschiebungsgesetz verlangt, mit zunehmender Temperatur zu kürzeren Wellenlängen. Gleichzeitig nimmt gemäß dem Stefan-Boltzmann-Gesetz die gesamte spezifische Ausstrahlung mit der vierten Potenz der absoluten Temperatur zu. Dieses überproportionale Anwachsen der Strahlungsintensität mit steigender Temperatur macht es schwierig, Kurven über einen größeren Temperaturbereich in einem Diagramm darzustellen.

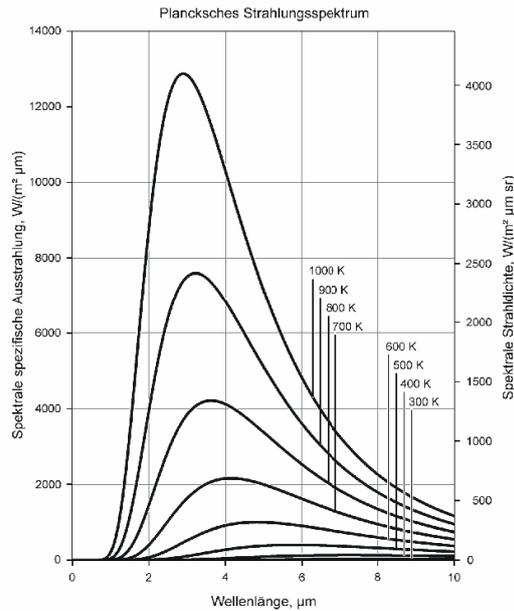


Abb. 15: Wellenlänge und spektrale Ausstrahlung

Die Abb. 16 verwendet daher für beide Achsen eine logarithmische Unterteilung. Dargestellt sind hier Spektren für Temperaturen zwischen 100 K und 6000 K.

Rot hervorgehoben ist die Kurve für 300 K, was typischen Umgebungstemperaturen entspricht. Das Maximum dieser Kurve liegt bei 10 μm ; im Bereich um diese Wellenlänge, dem langwelligen Infrarot, findet also der Strahlungsaustausch von Objekten auf Raumtemperatur statt. Typische Infrarotthermometer und Thermografiekameras arbeiten in diesem Bereich.

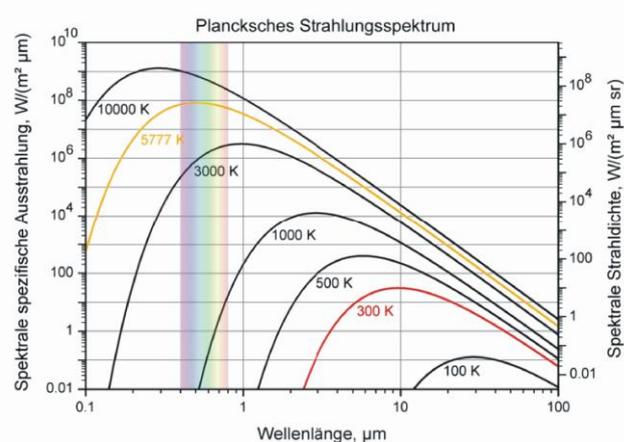


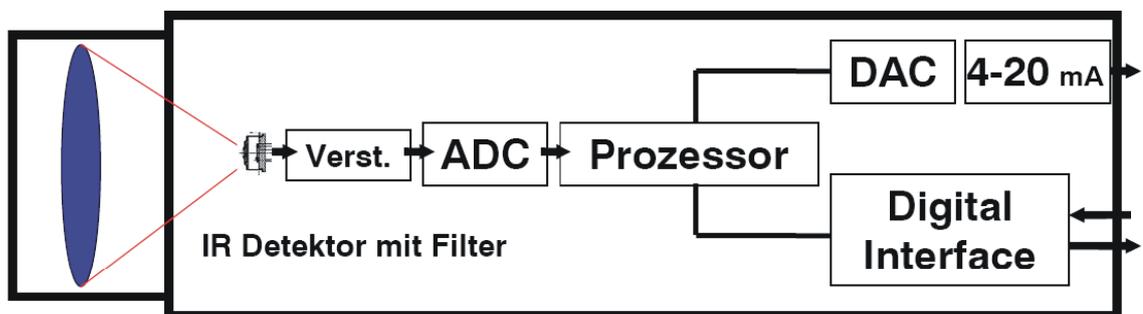
Abb. 16: Wellenlänge und spektrale Ausstrahlung logarithmisch dargestellt

Die Untersuchungen mit unterschiedlichen IR Sensoren ergaben, dass die Auswahl der zu verwendenden Wellenlänge für die Messaufgabe eine entscheidende Rolle spielt. Wasserdampf kann in bestimmten Wellenlängenbereichen elektromagnetische Strahlung absorbieren, in anderen Bereichen hingegen findet keine Absorption der IR- Strahlung statt.

Eine Absorption der Strahlung würde zu einer entscheidenden Verfälschung (Temperatur- Offset kann bis zu 20 °C betragen) vom Temperaturmesswert führen. Hier müssen noch weitere Untersuchungen stattfinden, um den optimalen Wellenlängenbereich vom IR- Sensor festzulegen.

5.2.3 Der Aufbau eines IR- Sensors

IR-Temperaturmessung allgemein (Aufbau eines Pyrometers)



$$U \sim \varepsilon T_{obj}^4 \quad (\text{Stefan-Boltzmann-Gesetz})$$

$$U \sim C \varepsilon T_{obj}^n \quad (n = f(\lambda)) = \text{„Meßgleichung“}$$

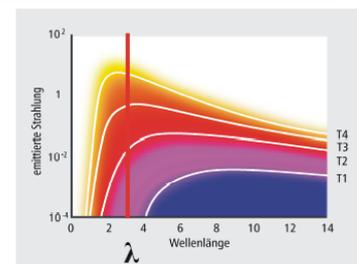


Abb. 17: Aufbau IR-Sensor

5.2.4 Zusammenhang von Messfleck und Objektgröße

Um eine einwandfreie Messung der Objekttemperatur zu erhalten, muss das Messobjekt mindestens so groß oder größer als der Messfleck des jeweiligen Infrarot-Thermometers sein.

Der Sensor nimmt die vom Asphalt kommende Energie auf und würde bei einem zu großen Messfleck auch noch Energie vom Hintergrund des Objektes erhalten. Dadurch würde das Messergebnis verfälscht werden und der angezeigte Messwert

wäre wertlos. Auch dieser Sachverhalt muss bei der endgültigen Sensorauswahl berücksichtigt werden.

Technische Daten der bisher verwendeten IR- Sensoren

Allgemeine Spezifikation

Schutzgrad IP65 (NEMA-4) IP65 (NEMA-4)

Umgebungstemperatur 1) -20...85 °C 0...85 °C

Lagertemperatur -40...85 °C -40...85 °C

Relative Luftfeuchtigkeit 10...95 %, nicht kondensierend 10...95 %,

Material Edelstahl Zink, gegossen

Abmessungen 100 mm x 50 mm, M48x1,5 89 mm x 70 mm x 30 mm

Gewicht 600 g 420 g

Elektrische Spezifikation

Spannungsversorgung 8–36 VDC

Stromverbrauch max. 160 mA

Visierlaser 635 nm, 1 mW, Ein/ Aus über Programmier Tasten oder Software

Ausgänge/ analog: 0/ 4–20 mA, 0–5/ 10 V, (Signalquelle: Objekttemperatur)

Messkopftemperatur [-20...180 °C] als 0–5 V oder 0–10 V

Alarmausgang Open-collector-Ausgang am Pin AL2 [24 V/ 50 mA]

Ausgangsimpedanzen <1k Ω

Messtechnische Spezifikation [CTL, CTL F]

Temperaturbereich (skalierbar) -40...975 °C -40...975 °C

Spektralbereich 8...14 μ m 8...14 μ m

Optische Auflösung 75:1 50:1

Systemgenauigkeit 1) 2) $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ oder $\pm 1 \%$ 3) $\pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ oder $\pm 1,5 \%$ 4)

Reproduzierbarkeit 1) $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ oder $\pm 0,5 \%$ 3) $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ oder $\pm 1 \%$ 4)

Temperaturauflösung (NETD) 0,1 $^\circ\text{C}$ 3) 0,5 $^\circ\text{C}$ 4)

Einstellzeit (90% Signal) 120 ms 9 ms

Emissionsgrad/ Verstärkung 0,100...1,100

5.2.5 Optische Diagramme

Die optischen Diagramme sind wichtig zur Bestimmung der Messfleckgröße und müssen bei der Sensorauswahl mit berücksichtigt werden.

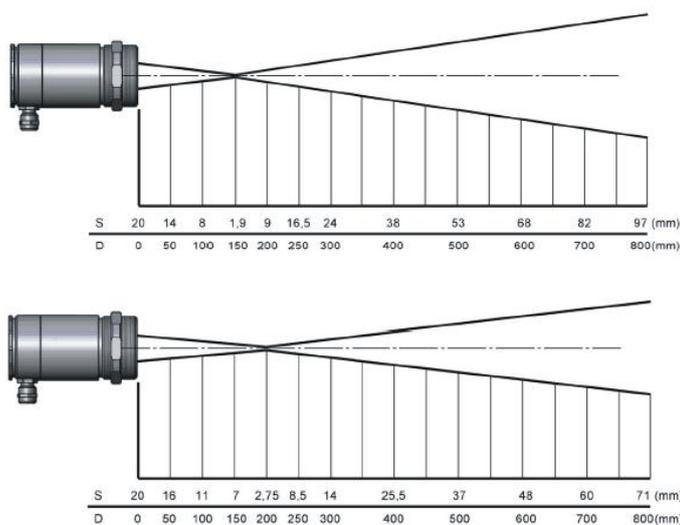


Abb. 18: Optische Brennweite der IR-Sensoren

Mechanische Angaben zum Sensor

Der CTL ist mit einem metrischen M48x1,5-Gewinde ausgestattet und kann entweder direkt über dieses Gewinde oder mit Hilfe der Sechskantmutter (Standard) und des

festen Montagewinkels (Standard) an vorhandene Montagevorrichtungen installiert werden.

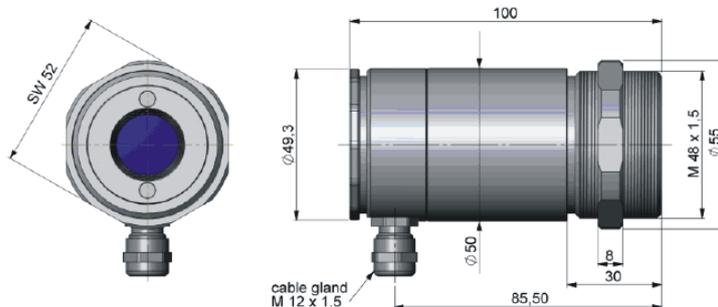


Abb. 19: Abmessungen vom IR Sensor

5.2.6 Temperaturmessung am Fertiger

In der ersten Arbeitssitzung gab es eine intensive Diskussion über die Temperaturmessung direkt hinter dem Fertiger unmittelbar nach dem Einbau. Am Ende ergab sich eine breite Zustimmung über den Nutzen dieser Messung und die allgemeine Zustimmung diese Messung mit in das PAST- Projekt aufzunehmen. Die Motivation für diese Messung beruht vor allem auf den folgenden Kernaussagen:

- Große Temperaturunterschiede beim Asphaltieren und geringe Straßenqualität stehen in engem Zusammenhang
- Durch die Aufzeichnung und Analyse der Temperaturdaten können Asphaltiermethoden auf ihre Effizienz geprüft werden
- Durch die Erfassung und Analyse der Temperaturdaten in Echtzeit kann die Qualität der Straße vor Ort angesehen und beeinflusst werden.

Für die Aufzeichnung der Temperatur hinter der Bohle am Fertiger wird in einem ersten Ansatz folgende Darstellung verwendet:

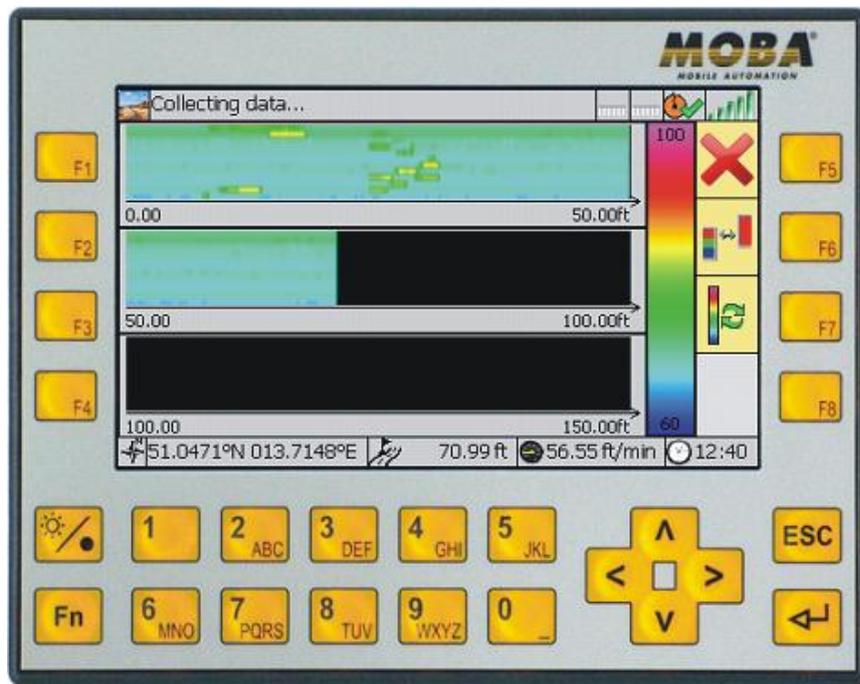


Abb. 20: Visualisierung vom Temperaturprofil

Das erstellte Programm ist auf einen WINCE- Rechner installiert und zeigt folgende Informationen an:

- farbige Temperaturprofile
- Fertiger Geschwindigkeit
- Zurückgelegte Entfernung
- Datenaufnahme für Analyse

5.2.7 Komponenten - Schwarzer Strahler

Für die Temperaturkalibrierung vom IR-Messsystem musste ein sogenannter Schwarzer Strahler eingesetzt werden. Alle Sensoren müssen gegeneinander auf einen einheitlichen Wert kalibriert werden. Diese sogenannte Offsetkompensation ist einmalig bei der Herstellung durchzuführen. Weitere Kalibrierungen im Betrieb sind nicht vorgesehen, damit die Handhabung vom IR- Messsystem möglichst einfach bleibt.

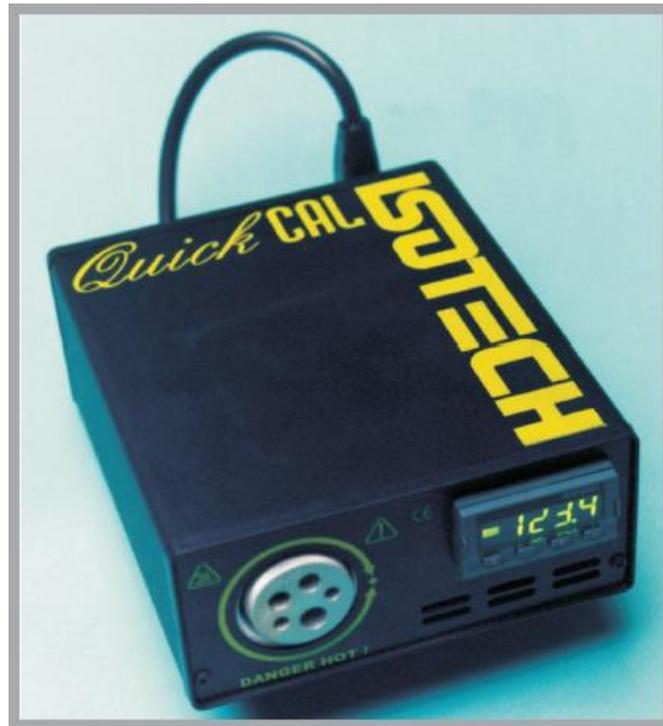


Abb. 21: Schwarzstrahler zur Kalibrierung der Sensoren

Die Technischen Daten vom Schwarzen Strahler:

- Temperaturbereich 30°-350°C
- Auflösung 0.1°C
- Aufheizzeit 9min
- Stabilität 0.2°C
- Messunsicherheit 0,5K

Merkmale der Kalibrierung:

Momentan 1-Punkt-Kalibrierung der Sensoren

Kalibrierwerte werden im SC106 gespeichert

Kalibrierstrahler gibt die Solltemperatur vor

Kalibriervorgang wird durch die Operand Software PaveSensorCalibration gesteuert

Der Systemaufbau vom IR- Messsystem in Verbindung mit einem ON-Board WINCE-Rechner ist in der Abb. 22 dargestellt. Das Blockschaltbild zeigt ein System bestehend aus 2 Verstärkereinheiten mit jeweils 8 IR- Sensoren.

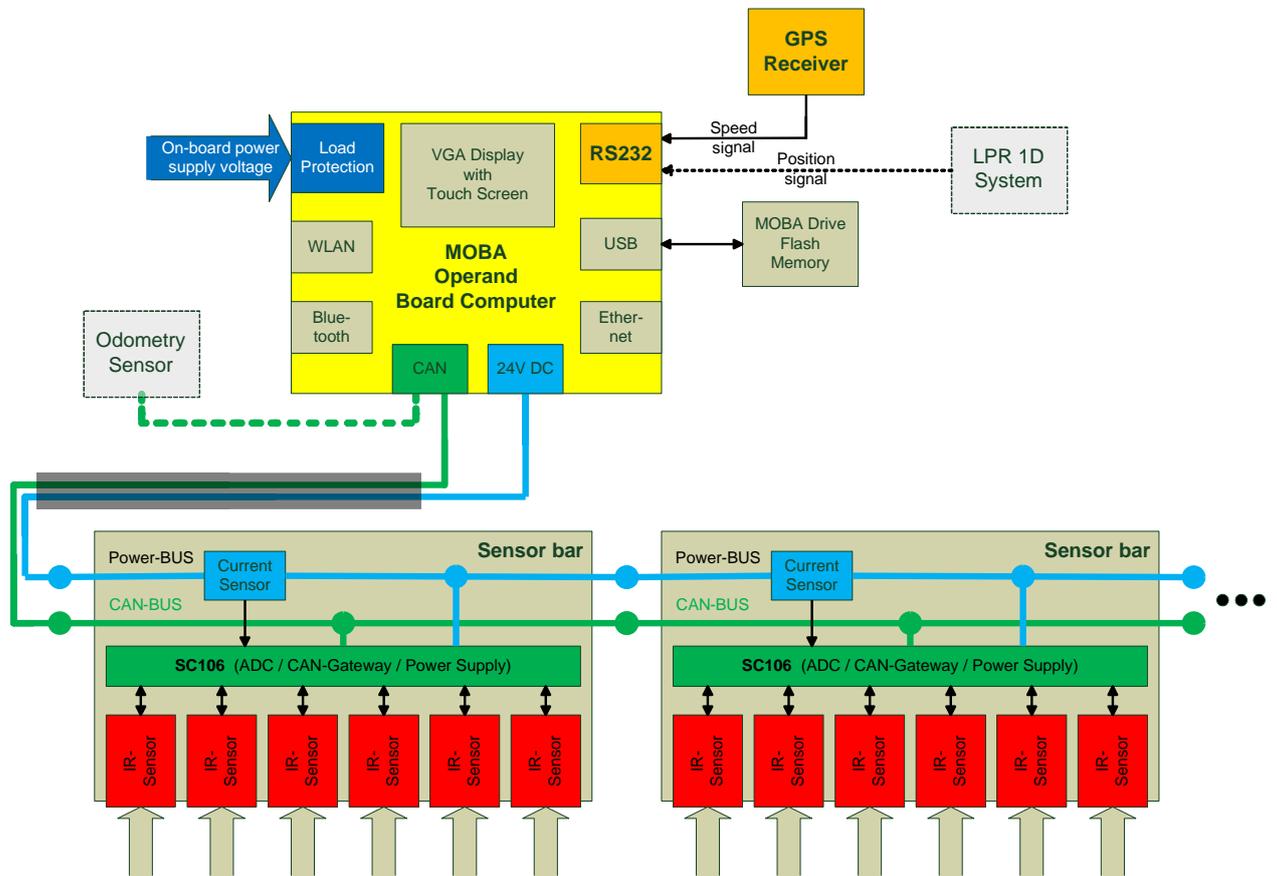


Abb. 22: Aufbau der Infrarotmessung

Die IR- Sensoren erzeugen ein mV- Signal mit einer Auflösung im μV - Bereich, was für die weitere Messwertverarbeitung entsprechend zu verstärken ist. Für die D/A-Umsetzung wurden Sigma- Delta – Wandler verwendet mit einer Auflösung von bis zu 20Bit.

Jedes Sensormodul besitzt eine ID mit der über den CAN- Bus kommuniziert werden kann. In einem System darf eine ID maximal ein Mal vorkommen um Kommunikations- Kollisionen zu vermeiden, daher sind die einzelnen Sensormodule

entsprechend zu adressieren. Das (in Fahrtrichtung) linke Sensormodul muss kleinere ID haben als sein rechter Nachbar

5.2.8 Temperaturmessung mit Hilfe der RFID- Technik

Grundsätzlich sind zwei verschiedene Ansätze in Betracht gezogen worden:

1. Temperaturmessung im Asphalt mit Transpondern
2. Temperaturmessung basierend auf einer Infrarotabtastung der Straßenoberfläche.

Beide Lösungsansätze wurden im Projekt analysiert, wobei die Transponderlösung im Hinblick auf ihre Einsatzmöglichkeit neben der reinen Temperaturmessung weitere Optionen bietet. Dies gilt vor allem, wenn man die Vision einer intelligenten Straße konsequent verfolgen möchte.

Experten sind sich einig, dass die verkehrstechnischen Herausforderungen von morgen nur durch elektronische Leitsysteme, die innovative Technik mit intelligenter Software verbinden, zu bewältigen sind. Schon heute kommen auf Autobahnen meist Streckenbeeinflussungsanlagen zum Einsatz, die durch Wechselverkehrszeichen über Gefahren, Geschwindigkeiten oder Überholverbote aufklären und mit Hilfe von Echtzeitinformationen für den optimalen Verkehrsfluss sorgen. In diesem Zusammenhang kann die Transpondertechnologie einen innovativen Beitrag leisten, um für die Zukunft weitere Informationen für einen optimalen Verkehrsfluss bereitzustellen. Für das Ziel intelligente Straßen zu bauen kann somit die Transpondertechnologie ein interessanter Ansatz darstellen.

Zentrale Entwicklungspunkte im Bereich der Temperaturmessung waren:

- Verfügbare Transpondertechnologien evaluieren
- Konzept für eine Ablege- Roboter erstellen
- IR- Temperaturmessung weiter entwickeln

Im Folgenden soll ein Beispiel gegeben werden, welche Transpondertechnologie zu Einsatz kommen könnte.

5.2.9 Elektromagnetische Backscatter-Kopplung für hohe Reichweiten

RFID-Systeme, die deutlich mehr als 1 m zwischen Lesegerät und Transponder überbrücken, werden als *Long-range-Systeme* bezeichnet. Diese werden auf den *UHF-Frequenzen* 868 MHz (Europa) und 915 MHz (USA), sowie auf den *Mikrowellenfrequenzen* 2,5 GHz und 5,8 GHz betrieben. Die kurzen Wellenlängen dieser Frequenzbereiche ermöglichen die Konstruktion von Antennen mit weitaus kleineren Abmessungen und besserem Wirkungsgrad, als dies auf Frequenzbereichen unter 30 MHz möglich wäre.

Mit heutiger Low-power-Halbleitertechnologie lassen sich Transponderchips mit einer Leistungsaufnahme von nicht mehr als 5 μW realisieren. Der Wirkungsgrad eines integrierten Gleichrichters kann im UHF- und Mikrowellenbereich mit 5 ... 25% angenommen werden. Bei einem Wirkungsgrad von 10% benötigen wir damit zum Betrieb des Transponderchips eine Empfangsleistung von $P_e = 50 \mu\text{W}$ am Anschluss der Transponderantenne.

Dies bedeutet, dass bei einer Strahlungsleistung des Lesegerätes von $P_s = 0,5\text{WEIRP}$ die Freiraumdämpfung einen Wert von 40 dB ($P_s/P_e = 10000/1$) nicht überschreiten darf, um an der Transponderantenne noch eine ausreichend große Leistung zum Betrieb des Transponders zu erhalten.

Abstand r	868 MHz	915 MHz	2,45 GHz
0,3 m	18,6 dB	19,0 dB	27,6 dB
1 m	29,0 dB	29,5 dB	38,0 dB
3 m	38,6 dB	39,0 dB	47,6 dB
10 m	49,0 dB	49,5 dB	58,0 dB

Ein Blick auf die obige Tabelle zeigt, dass damit bei einer Sendefrequenz von 868 MHz immerhin eine *Reichweite* von etwas über 3 m realisierbar wäre, bei 2,45 GHz könnten immerhin noch etwas über 1 m erreicht werden. Bei einer größeren Leistungsaufnahme des Transponderchips würde sich die erzielbare Reichweite dabei entsprechend reduzieren.

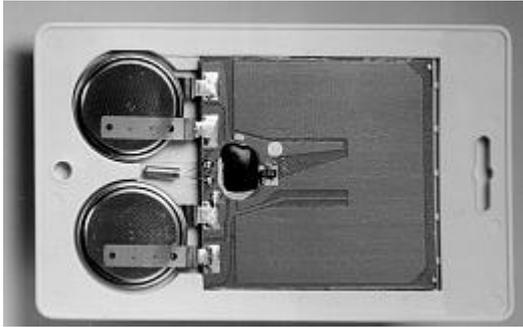


Abb. 23: Aufbau Transponderchip

Abb. 23 zeigt einen aktiven Transponder für den Frequenzbereich 2,45 GHz. Der Datenträger wird durch zwei Lithiumbatterien mit Energie versorgt. Die Mikrowellen-Antenne des Transponders ist als u-förmige Fläche auf der Leiterkarte zu erkennen. (Photo: Pepperl & Fuchs, Mannheim).

Um große Reichweiten bis zu 15 m zu erreichen oder aber auch Transponderchips mit einer größeren Leistungsaufnahme noch mit einer akzeptablen Reichweite betreiben zu können, verfügen Backscatter-Transponder häufig über eine Stützbatterie zur Energieversorgung des Transponderchips. Um die Batterie nicht unnötig zu belasten, verfügen die Mikrochips in der Regel über einen stromsparenden „power-down“- bzw. „stand-by“-Modus. Verlässt der Transponder das Feld eines Lesegerätes, so schaltet der Chip automatisch in den stromsparenden „power-down“-Mode. Die Stromaufnahme beträgt dann maximal noch einige μA .

Erst durch ein ausreichend starkes Signal in Lesereichweite eines Lesegerätes wird der Chip erneut aktiv und nimmt den normalen Betrieb wieder auf. Die Batterie aktiver Transponder stellt jedoch in keinem Falle Energie zur Datenübertragung zwischen Transponder und Lesegerät zur Verfügung, sondern dient ausschließlich der Versorgung des Mikrochips. Zur Datenübertragung zwischen Transponder und Lesegerät wird ausschließlich die Energie des elektromagnetischen Feldes eingesetzt, welches vom Lesegerät ausgesendet wird.

5.3 Fertiger Steuerungssystem

Für die Realisierung verschiedener Demonstratoren (Materialsteuerung, Temperaturmessung, Höhennivellierung) im Fertigerbereich wurde eine Integration der jeweiligen Funktionalitäten in das Bohlensteuerungssystem vorgesehen. In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Dynapac hat man hierzu ein neues Steuerungskonzept erarbeitet. Die Abb. 24 zeigt einen ersten Entwurf.

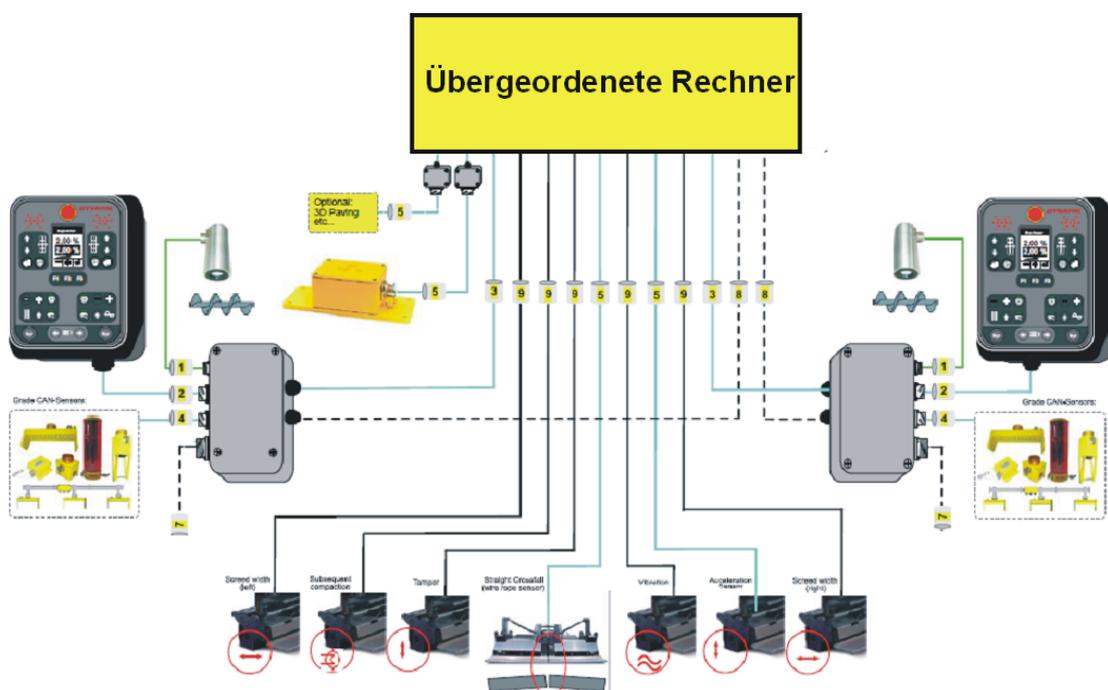


Abb. 24: Systemkonzept Bohlensteuerung

Das Blockschaltbild beinhaltet die beiden Steuereinheiten mit Bedienteil für die Bohlennivellierung als auch weitere Sensoren, die für die Realisierung der einzelnen Demonstratoren notwendig sind.

Die Integration folgender Demonstratoren in das Bohlensteuerungssystem wurde realisiert:

- D7 Mischgutlogistik
- D9 Verdichtungsarbeit
- D11 Nivellierung

5.3.1 Die Schichtdickenmessung beim Kompaktasphaldfertiger

Anhand der gesammelten Daten beim Baustelleneinsatz A4 bei Jena, wurde die Schichtdickenmessung beim Kompaktasphalt- Fertiger weiter optimiert. Bevor die Schichtdickenmessung näher betrachtet und die Anforderungen definiert werden, hier eine kurze Erläuterung zum Kompaktasphalt- System.

Das neue Kompaktasphalt- System von Dynapac bietet wirtschaftliche Lösungen für den Einbau von zwei Asphaltsschichten. Das Kompaktasphalt- System bringt Binder- und Deckschicht „heiß auf heiß“ unmittelbar nacheinander in einem einzigen Durchgang auf. Dies verbessert die Verzahnung der Schichten und damit die Haltbarkeit des Gesamtbelags. Zudem verlängert die Restwärme der heißen Binderschicht signifikant die für die abschließende Verdichtung verfügbare Zeit.

Das modulare System reduziert auch die Stärke der Deckschicht und ermöglicht so Einsparungen bei den Materialkosten. Die dünnere Deckschicht erlaubt zudem die wirtschaftliche Verwendung hochwertiger Mineralstoffe für Polierresistenz, Aufhellung und Kantenfestigkeit.

Prinzipiell arbeitet der Kompaktasphaldfertiger mit 2 voreinander laufenden Bohlen

Bohle 1 = Bindereinbau

Bohle 2 = Deckeneinbau (nur ca. 2cm mit 11er Korn)

Das Messprinzip der Dickenmessung für die Deckschicht

Mit zwei Seilzugsensoren werden die Höhendifferenzen von einer Bezugslinie zu den jeweiligen Bohlenhinterkanten gemessen und durch Subtraktion der beiden Messwerte die Schichtdicke der Deckschicht ermittelt. Abb. 25 verdeutlicht den Messaufbau.

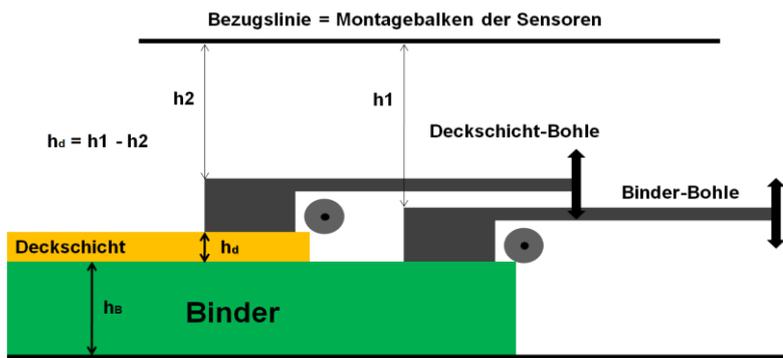


Abb. 25: Grundaufbau der Schichtdickenmessung beim Kompaktasphaltfertiger

Die Bezugslinie wird dabei über einen am Fertiger montierten Montagerahmen realisiert.

Die praktische Realisierung vom Messprinzip zeigt die Abb. 25 und Abb. 26 zeigt dazu die am Fertiger montierten Sensoren.



Abb. 26: Realisierte Schichtdickenmessung für die Deckschicht

Neben der Bestimmung der Deckschichtdicke wurde ebenfalls die Binderschicht in ihrer Stärke mit dem Bohlengeometrieverfahren ermittelt.

In Abb. 27 sieht man die montierte Sensorik der Schichtdickenmessung für den Binder am Zugarm der Binderbohle.



Abb. 27: Realisierte Schichtdickenmessung für den Binder

Soll das Dachprofil der einzubauenden Straße geändert werden, so ist dabei immer auf die Schichtdicke der Decke zu achten. D.h. soll vom Dachprofil 0% auf ein pos. Dachprofil verstellt werden, so muss zuerst die Deckenbohle verstellt werden, erst danach darf die Binderbohle verstellt werden (theoretisch dürften beide Bohlen hier parallel mit der Verstellung beginnen können).

Im umgekehrten Fall, bei der Dachprofilsteuerung zu kleineren Werten hin, muss zunächst die Binderbohle angesteuert werden, und die Deckenbohle darf erst dann mit der Verstellung beginnen, wenn die Maschine eine dem Abstand bzw. Bohle 1 und Bohle 2 entsprechende Wegstrecke zurück gelegt hat.

Weitere Anforderungen für die Bohlensteuerung in Verbindung mit der Schichtdickenregelung:

Die Eingabe des Zieldachprofils und die dazu benötigte Wegstrecke sollen nur an einer Bohle erfolgen, aber an beiden Bohlensystemen zur Verfügung stehen. D.h. hier müssten die beiden Bohlen mit einem bidirektionalen Gateway zusammen geschaltet werden.

5.3.2 Optimierung der Schichtdickenmessung

Die Schichtdickenmessung am Kompaktasphaltpfeger konnte man für die hintere Bohle noch weiter vereinfachen, wobei das Messprinzip aber nicht verändert wurde. Die Optimierungen beruhen hauptsächlich auf den gesammelten Daten beim Baustelleneinsatz A4 bei Jena (Sommer 2010).

Der Algorithmus der Sensorauswertung wurde ebenfalls weiter optimiert. Eine wegbezogene Berechnung der Schichtdicke war letztendlich der richtige Lösungsansatz um die bestmögliche Genauigkeit für das Messsystem zu erreichen. Insbesondere konnte man dadurch Messwertverfälschungen, die hauptsächlich beim Anfahren entstanden, weitestgehend eliminieren.

5.3.3 Ergebnisse der Schichtdickenmessung für die Binderschicht

Die Messwerte wurden mit Hilfe von einem CAN- Analysator aufgezeichnet und mit einem integrierten Visualisierungstool dargestellt, sowie als Datenfile auf dem Auswertungsrechner hinterlegt. Die Messdaten sind daher auch mit Hilfe von MATLAB weiter bearbeitet worden. Insbesondere konnte man verschiedene Filteralgorithmen im Nachhinein mit den aufgenommenen Messdaten überprüfen und optimieren. Letztendlich wurden die Verbesserungen so weit getrieben, dass die Schichtdickenmessung schon in der Praxis sinnvoll eingesetzt werden konnte.

Die Abbildungen 28 und 29 zeigen Messergebnisse für die Binderschicht und die Deckschicht. Während bei der Deckschicht die Messwertschwankungen im Bereich von 2 mm lagen, ergeben sich für den Binder Messwertschwankungen im Bereich von einem Zentimeter.

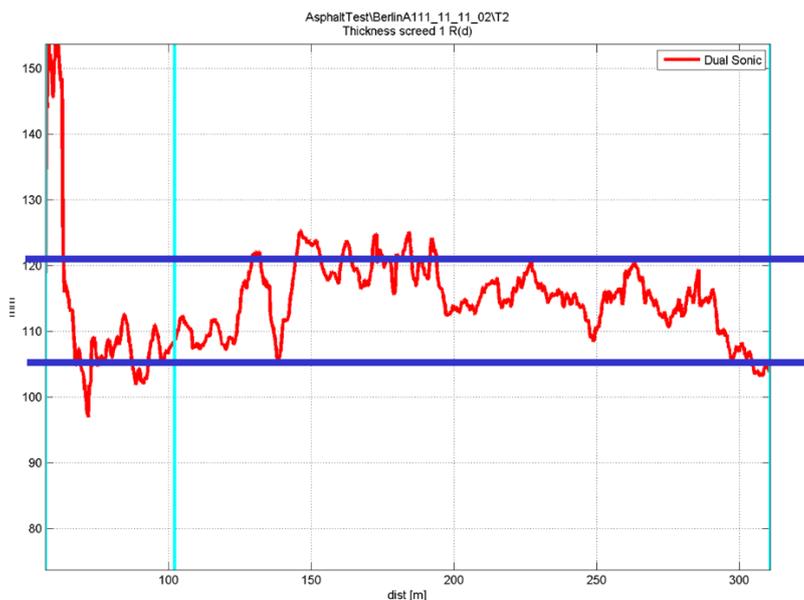


Abb. 28: Messergebnisse Schichtdickenmessung für Binder

Die Abb. 28 zeigt die Schichtdickenmesswerte über eine Strecke von 300m für die Deckschicht.

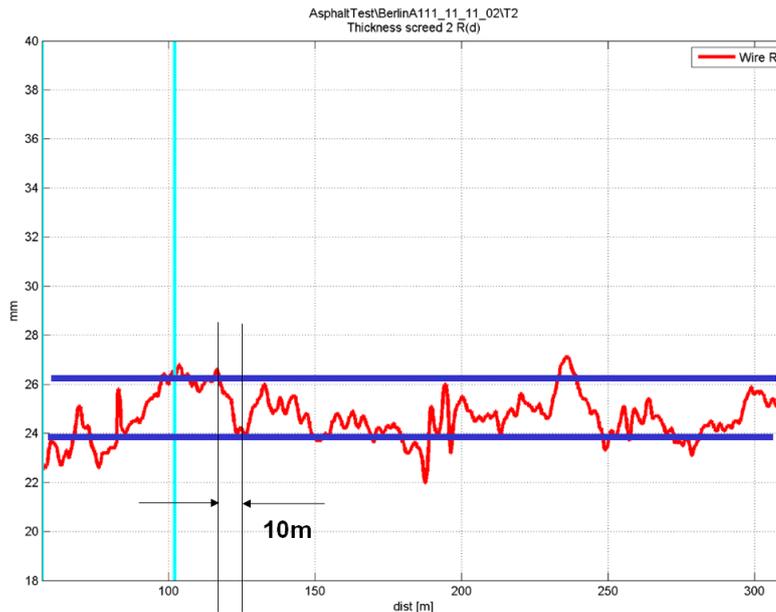


Abb. 29: Messergebnisse Schichtdickenmessung für Deckschicht

Da die Messungen, wie in Abb. 29 zu sehen ist, in einem Band von 2mm liegen, ist ein sehr gutes Ergebnis für die eingebrachte Schichtdicke. Ein manuelles Nachmessen der Schichtdicke hatte gezeigt, dass die kontinuierliche Schichtdickenmessung auch für die Deckschicht realistische Messwerte liefert.

5.4 Verdichtungsoptimierungen am Fertiger

5.4.1 Testziel

Die Messungen sollten Aufschluss darüber geben, ob es zukünftig möglich ist, mittels eines spez. "Acceleration-Sensors" die Bohlenschwingungen so zu analysieren, dass man daraus eine Anzeige über die optimale Bohleneinstellung bezüglich Vibration und Stampfer generieren kann.

Dies wäre eine Hilfe für das Bedienpersonal. Eine Gut / Schlecht oder evtl. auch Ampel Anzeige wurde in der Diskussion als schlecht befunden, da sie vor allem im Falle "GUT" zu Interpretationsfehlern führen könnte.

Begründung: Gut = keine, bzw. nur geringe Schwingungen, diesen Zustand könnte man im Extremfall erreichen, indem man die Vibration und den Stampfer komplett aus stellt, was für ein gutes Einbauergebnis allerdings kontraproduktiv wäre.

5.4.2 Montage des Beschleunigungs-Sensors

Zur Messung der beiden Schwingungsachsen (1x lotrecht, und 1x in horizontal in Fahrtrichtung) wurde der Sensor (siehe Abb. 30) unten seitlich an die Wange der Grundbohle montiert.

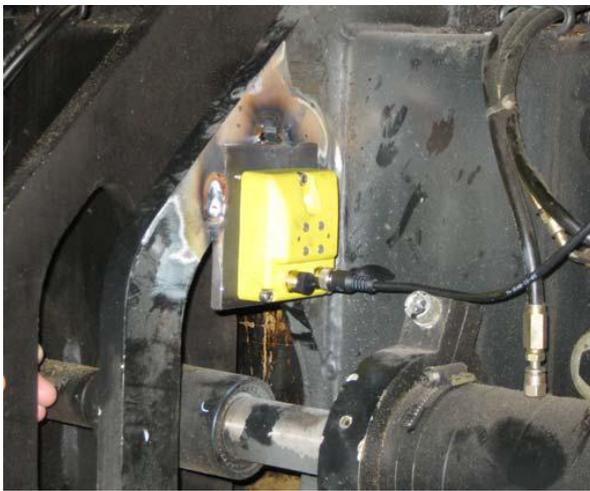


Abb. 30: Montage Beschleunigungssensor

5.4.3 Sensorbeschreibung

Bei dem eingesetzten "Acceleration - Sensor" handelte es sich um einen speziell für diesen Versuch entwickelte Komponente.

Der Sensor enthält zwei Sensorelemente, die jeweils die Beschleunigung in Y-Richtung (Vertikalachse) und X-Richtung (Längsachse, Fahrtrichtung) messen.

Die 4 Messwerte des Beschleunigungssensors wurden in Log-Dateien aufgezeichnet. Jeder Stampfer- bzw. Vibrationsfrequenzeinstellung ist eine Datendatei zugeordnet.

Die Abtastrate jedes einzelnen Messwerts betrug 4,0 KHz.

Sensorelement 1

Messbereich des ersten Sensorelements: $\pm 1,7g$.

Da die Sensorelemente auch statische Beschleunigung messen, hat das Ausgangssignal der Y-Achse bereits einen Offset von $a=1g$ durch die Erdgravitation.

Damit reduziert sich der weitere Aussteuerbereich der Y-Achse auf $0,7g$.

In den entsprechenden Messdaten ist die Übersteuerung dieses Sensorelements bei höheren Vibrationsfrequenzen deutlich zu sehen.

- Vertikal (y-Achse)
- Horizontal (x-Achse)
- Fahrtrichtung

Die gelbe Kurve ($K_y 1.7g$) zeigt durch ihre Asymmetrie deutlich die Übersteuerung des Sensorelements. (Begrenzung in pos. Y-Richtung). Die weitere Analyse stützt sich deshalb auf die Daten des zweiten Sensorelements ($\pm 18g$).

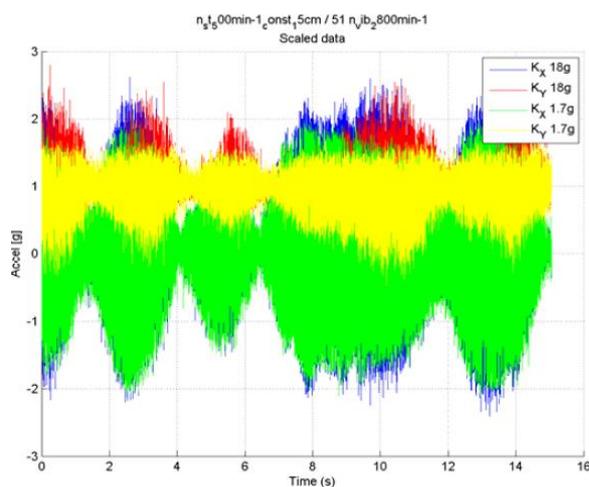


Abb. 31: Signale vom Beschleunigungssensor

Sensorelement 2

Messbereich des zweiten Sensorelements: $\pm 18g$.

Auch hier hat die Y-Achse einen statischen Offset $a = 1g$. Durch den größeren Messbereich spielt dieser jedoch keine Rolle. Der Aussteuerbereich beträgt $a_{Max} \geq \pm 17g$.

- Bohle auf ca. 3m ausgefahren
- Bohle auf Paletten abgesetzt, Stampfer hängt frei in der Luft - vor den Paletten.
- Kein Material unter, bzw. vor der Bohle
- Bohle ist in Schwimmstellung.

5.4.4 Durchgeführte Messungen

Die Messungen der Bohlenschwingungen wurden mit 2 unterschiedlichen Messprinzipien durchgeführt. Messungen mit dem 2 Achsen Acceleration Sensor und direkt mit einem Beschleunigungsmesssystem. Zusätzlich erfolgte eine Aufzeichnung aufgezeichnet auf dem Laptop, via 1MBit CAN-Bus. mit einem Spektrum-Analysator als Kontrollmessung.



Abb. 32: Spektrumsanalysator mit Sensor

Abschließend wurden die Verdichtungswerte mittels dem sog. "Leichten Fallgewicht" ermittelt. Diese Überprüfung konnte allerdings nur für die beiden Versuche mit den 15cm Schichtdicken vorgenommen werden (Spur 1 und Spur 2).

5.4.5 Datenauswertung

Zusammen mit den Messreihen 1-5, die bereits bei der Fahrt zur Teststrecke aufgezeichnet wurden, ergaben sich so 61 Protokolldateien, mit einem Gesamtumfang von mehreren 100 MByte. Die Auswertung der 61 Datensätze erfolgte für jeden Datensatz separat.

Jeder Datensatz musste gefiltert, skaliert und ausgewertet (berechnet) werden. Um die Signale genau analysieren zu können, wird das Amplitudenspektrum der Messungen betrachtet. Hierzu wurde eine Spektralanalyse (FFT) aller Messreihen durchgeführt.

Erst dann konnte in einem 2. Schritt die grafische Auswertung erfolgen. Das war aufgrund der großen Datenmenge eine sehr zeitraubende Aufgabe.

Nachfolgend ein Auszug aus diesen Daten beispielhaft für einen Datensatz:

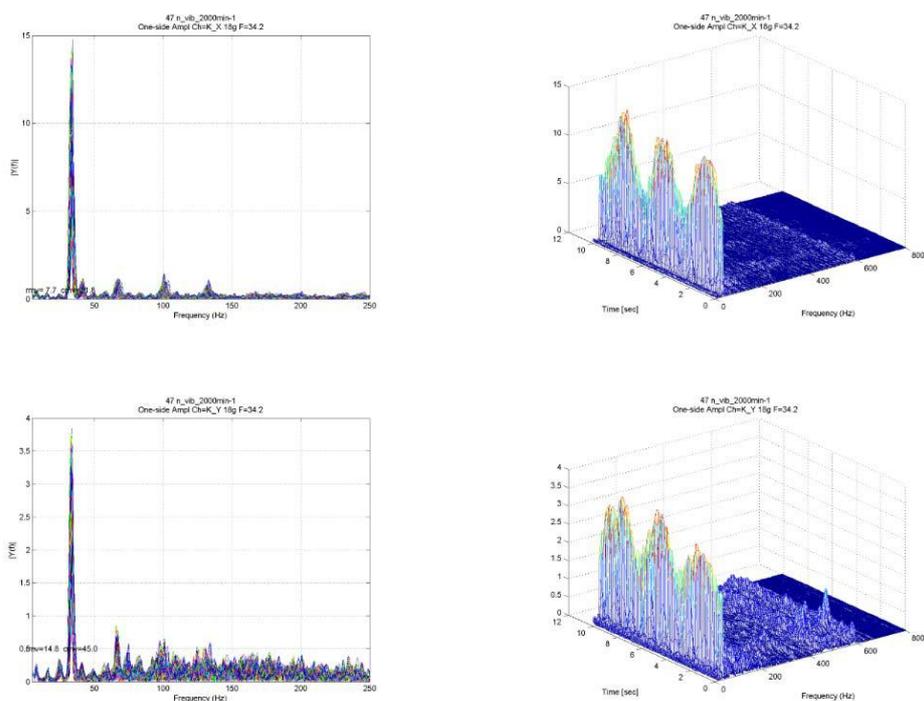
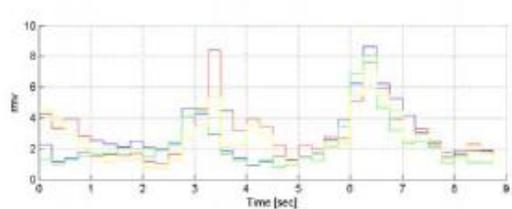
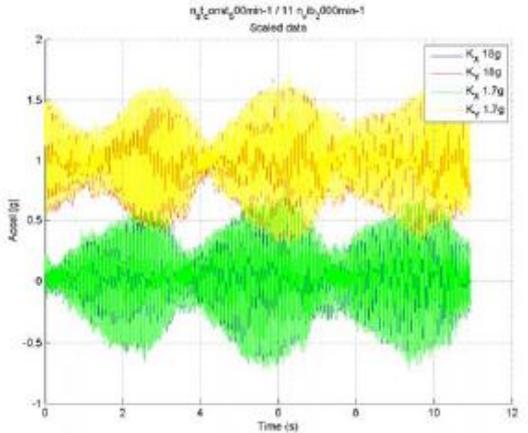
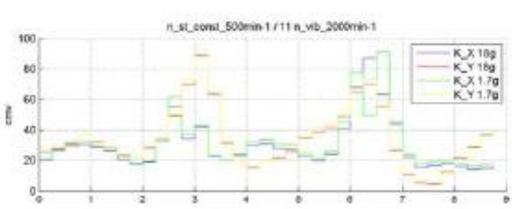
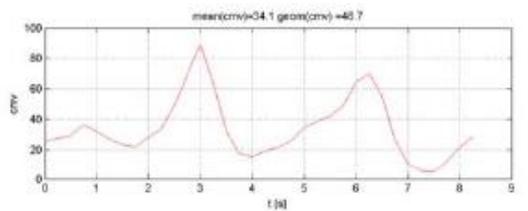
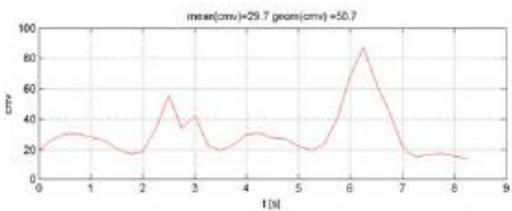
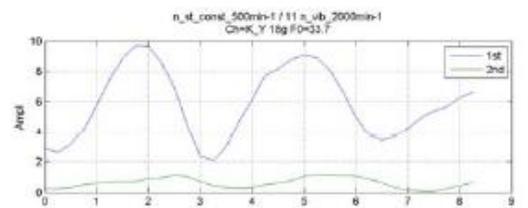
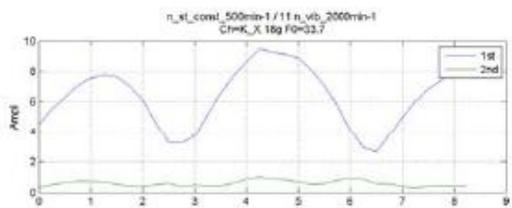
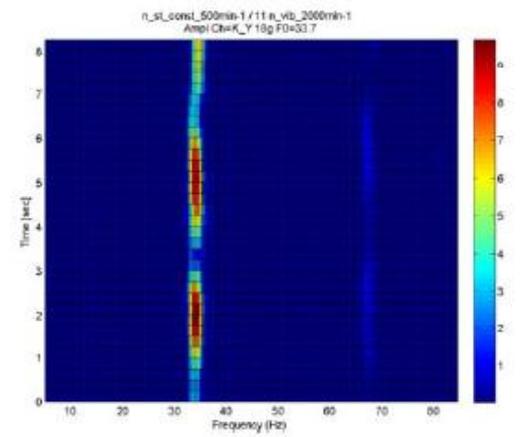
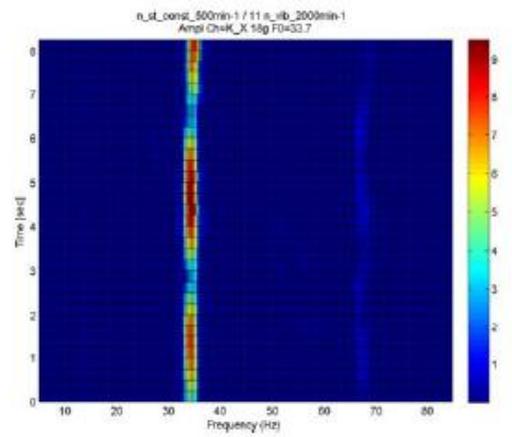
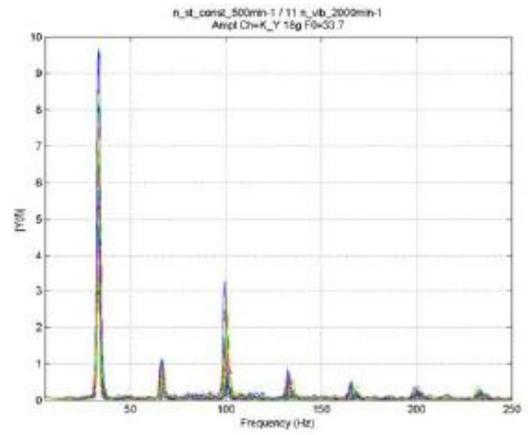
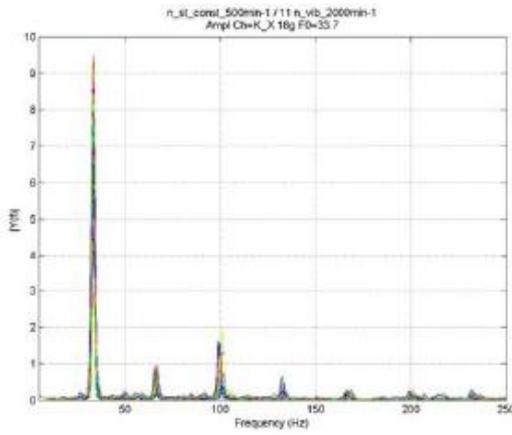


Abb. 33: Auswertung der Daten mittels FFT - Transformation



5.5 Ergebnisse Einbau

5.5.1 Temperaturmessung

Die zur Verfügung stehende Sensorik wurde sehr umfangreich an verschiedenen Stellen entlang der Prozesskette ausgetestet. Für die Auswertung wurde ein entsprechendes Auswerteprogramm geschrieben. Folgende Punkte sind momentan in diesem Analyseprogramm für die Temperatúrauswertung enthalten:

- Anzeige/Manipulation der Projekt Messdaten
- Geschwindigkeitsdiagramm
- Zeitdiagramm
- Temperaturzähldiagramm
- Report-Funktion für OnBoard Rechner und PC
- Qualitätsangabe für ein Segment
- Analysefunktionen auf Segmenten, z.B. min/max Temperatur

Neben einem Temperaturmessbalken, den man an die Bohle vom Straßenfertiger montiert, fand vor allem der Temperaturscanner beim Einsatz am Fertiger auch beim Bedienpersonal anklang. Dieser stellt in Zukunft die bevorzugte Variante bei der Temperaturmessung dar.

5.5.2 Die Schichtdickenmessung

Die Schichtdickenmessung wird sowohl beim Kompaktasphaltpfertiger, als auch beim Standardfertiger zum Einsatz kommen. Die aufgebauten Demonstratoren wurden fest am Fertiger montiert und werden derzeit kontinuierlich genutzt. Eine Weiterentwicklung der Demonstratoren für die Schichtdickenmessung soll zusammen mit OEM's stattfinden. Ziel ist es, eine flächendeckende Schichtdickenkontrolle in der Zukunft anbieten zu können.

5.5.3 Verdichtungsmessung an der Bohle

Die Verdichtungsmessung an der Bohle konnte nur ansatzweise demonstriert werden. Für den praktischen Einsatz sind die abgeleiteten Messergebnisse noch zu ungenau. Hier müssen in Zukunft weitere Untersuchungen erfolgen. Daneben gilt es zu klären, ob es noch weitere alternative Lösungsansätze gibt.

6 Messsystem zur Erfassung der Bohlenposition (AP4,AP5)

Für die Positionierung der Bohle während dem Asphalteinbau wird ein System benötigt, was ein exaktes und permanent durchgeführtes Einmessen der Einbaubohle bezogen auf eine vorgegebene Referenzebene ermöglicht. Das hierfür eingeplante Messsystem (Totalstation mit zugehörigem Rechner) konnte im Wesentlichen aus zwei Gründen nicht sinnvoll eingesetzt werden.

- Das Einmessen der Totalstation in der Praxis zeigt sich im Nachhinein betrachtet als zu aufwendig. Hauptsächlich beruht dies auf der Tatsache, dass die Reichweite der geforderten Positioniergenauigkeit nicht eingehalten werden kann und das Einmessen der Totalstation selbst einen hohen Zeitaufwand in der Praxis bedeutet.
- Für die eigentliche Positionieraufgabe werden mehrere Totalstationen benötigt, was letztendlich zu extrem hohen Kosten für den Endkunden führt. Eine spätere Vermarktung einer Messsystem-Technologie mit Totalstation, lässt eine hohe Marktdurchdringung somit nicht zu.

Das neue Messsystem besteht aus einem Lasertransmitter, der eine Laserebene erzeugt und einem Laserempfänger der in der Lage ist, einen proportionalen Abstandsmesswert bezogen auf die durch den Lasertransmitter vorgegebene Laserebene zu berechnen. Die Hauptentwicklung bezieht sich auf das Messsystem für die Abstandsmessung zur Laserebene und den benötigten speziellen Laserempfänger. Es wird eine Messwertauflösung im 10-tel Millimeterbereich gefordert. Weiterhin müssen auch Fehlereinflüsse, die durch Refraktionen in der Luft entstehen mit berücksichtigt werden. Für die Positionsbestimmung wird zusätzlich ein handelsübliches DGPS- System eingesetzt. Im Vergleich zu einem Messsystem mit Totalstation entsteht insgesamt ein Messverfahren, was annähernd gleiche und in Teilbereichen verbesserte Eigenschaften aufweist, jedoch flexibler und einfacher zu handhaben ist.

Die geforderte Messwertpräzision kann nur dadurch erreicht werden, indem eine komplexe Auswertung vom empfangenen Laserstrahl durchgeführt wird. Hierzu

gehören im Wesentlichen eine aufwendige Signalverstärkung sowie die Auswertung verschiedener Empfangsparameter mittels FPGA. Das folgende Blockschaltbild (Abb. 34) zeigt den prinzipiellen Aufbau vom proportionalen Laserempfänger.

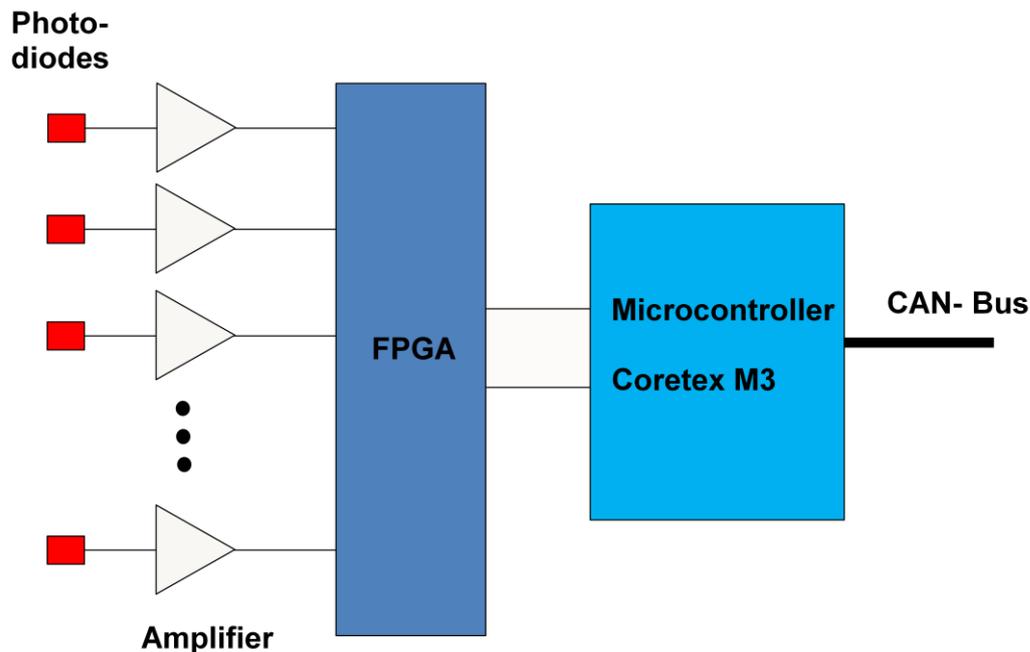
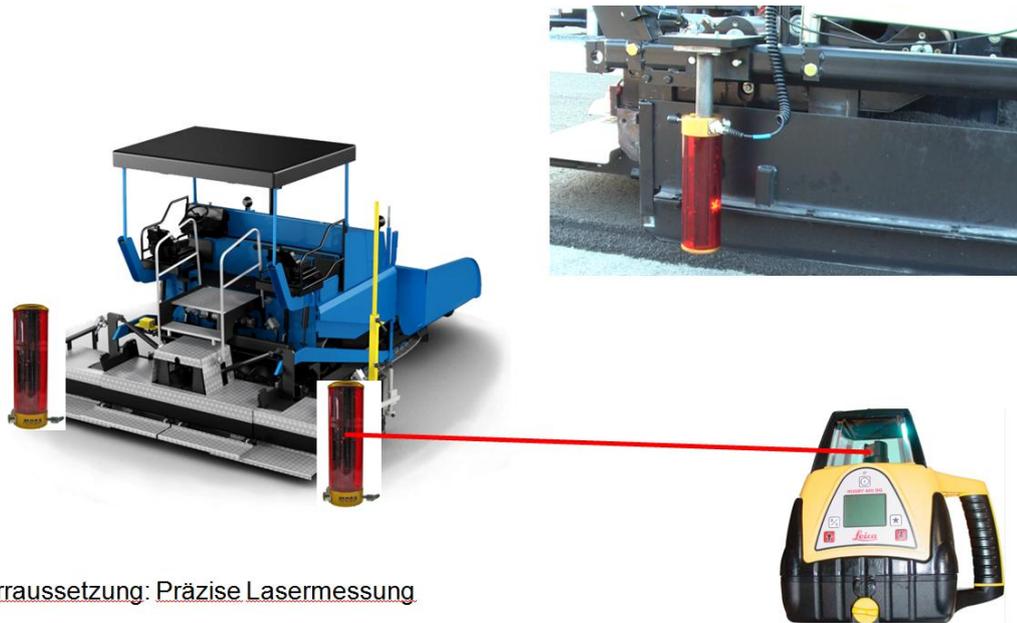


Abb. 34: Systemaufbau Laserempfänger

In der Applikation wird der proportionale Laserempfänger an der Bohlenhinterkante montiert. Der Lasertransmitter wird an geeigneter Stelle am Seitenrand der Straße aufgestellt und eingemessen. Im folgenden Blockschaltbild (Abb. 34) wird in vereinfachter Form der Systemaufbau dargestellt.

Die Abb. 35 zeigt die verwendeten Komponenten (Proportionaler Laserreceiver und Lasertransmitter) für die Erfassung der Bohlenposition. Insbesondere ist der Anbringungsort vom Laserempfänger an der Bohlenhinterkante zu beachten, weil man nur an dieser Stelle eine exakte Höhenposition der Bohle ermitteln kann. Alle heute im Einsatz befindlichen Nivellieranlagen messen hingegen die Bohlenposition etwa in Höhe der Verteilerschnecke, was in der Praxis immer wieder zu Problemen insbesondere beim Anfahren führt.



Vorraussetzung: Präzise Lasermessung

Abb. 35: Erster Aufbau der Bohlenpositionsbestimmung

Die Abb. 36 zeigt die gemessenen Höhensignale an der Bohlenhinterkante (rote Kurve), wobei der hintere Regelkreis noch im offline Modus betrieben wurde.

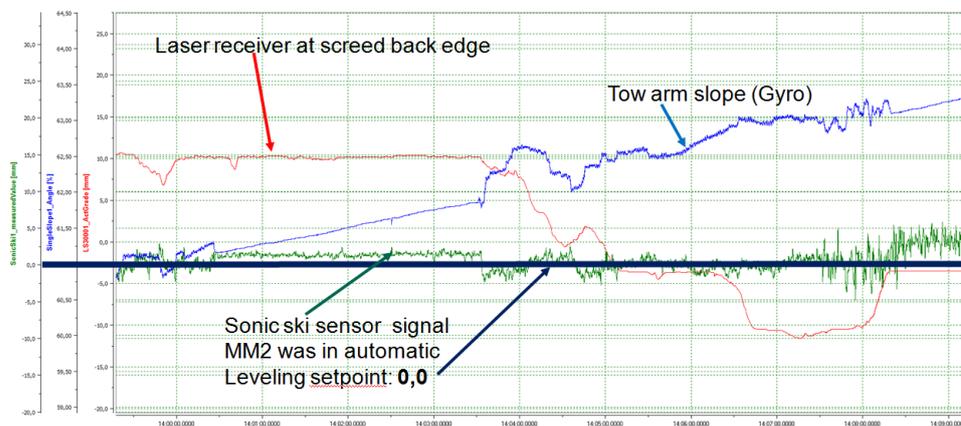


Abb. 36: Messergebnisse der Höhenlage an der Bohlenhinterkante

Im Folgenden soll nun ein Auszug bezüglich der technischen Realisierungsmöglichkeit für einen optimierten Lasertransmitter zur Bohlenpositionsbestimmung dargestellt werden. Hier werden die ersten notwendigen

Entwicklungsschritte und Voruntersuchungen erläutert. Die Entwicklung von einem Lasertransmitter, der sich automatisch einstellt, ist eine umfangreiche und komplexe Entwicklung, die im Rahmen vom PAST-Projekt nur ansatzweise erfolgen konnte. Im folgenden werden daher nur erste konzeptionelle Ansätze dargestellt.

6.1 Der Aufbau vom Lasertransmitter

Die Einstellung der Laserebene in X- und Y-Richtung erfolgt über zwei Schrittmotoren, die jeweils mit einem Spindeltrieb ausgerüstet sind (im Praxisbericht ausführlich beschrieben). In der Y- Richtung wird die Laserebene mit einem Neigungssensor ausgerichtet. Dieser Regelkreis hat immer einen Sollwert von Null Grad. In der X-Richtung orientiert sich das System durch eine Laser-Höhenmessung, der den Höhenmesswert per Funk dem LT zurücksendet.

Aus regelungstechnischer Sicht existieren zwei unterschiedlich reagierende Regelkreise, wenn man das jeweilige Messsystem in das Übertragungsverhalten der Regelkreisglieder mit einbezieht. Untersucht man beide Regelstrecken bis zum Spindeltrieb, so stellt man jedoch identische Systemreaktionen fest. Die Abb. 37 soll dies nochmals verdeutlichen.

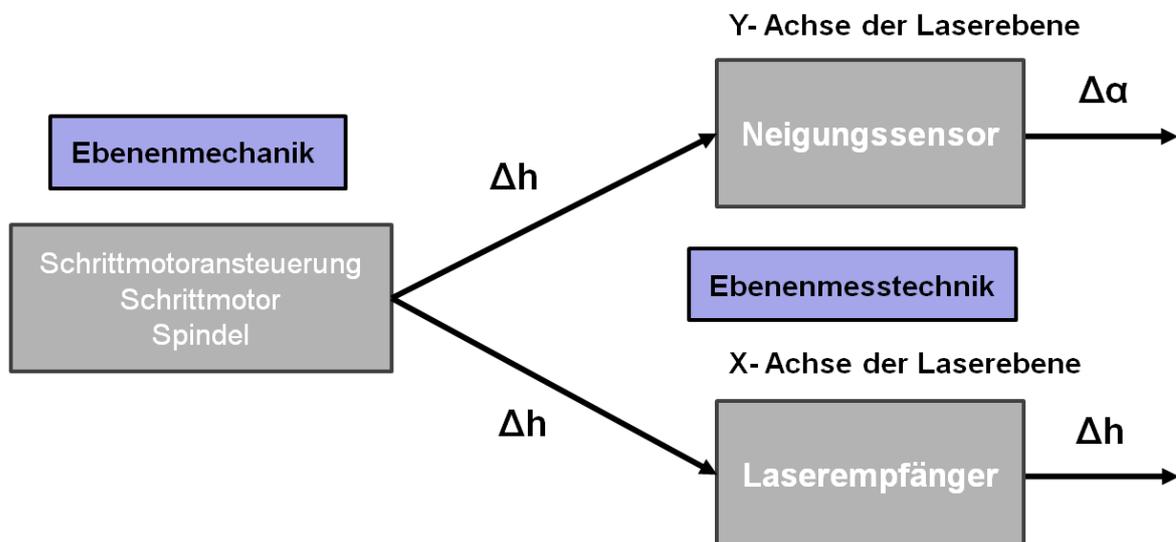


Abb. 37: Grundstruktur der Ebenenpositionserfassung

6.2 Identifizierung der Ebenenmechanik

Zur Identifikation der Ebenenmechanik muss man die Schrittmotoransteuerung, den Schrittmotor und die Spindel analysieren.

6.2.1 Kennwerte für die Schrittmotoransteuerung

Die Ansteuerung für den Schrittmotor erfolgt über einen integrierten Baustein, der wiederum von dem Mikrocontroller die gewünschte Stellgröße übertragen bekommt. Die Zeitverzögerungen in der Ansteuerungseinheit liegen im Bereich von Mikrosekunden und werden aus diesem Grunde nicht berücksichtigt. Für den Verstärkungsfaktor der Ansteuerungselektronik ergibt sich somit:

$$K_{st} = \frac{X_a}{X_e} = \frac{20Imp/sec}{1mm} = 20 \frac{Imp}{mm \cdot sec}$$

6.2.2 Bestimmung der Übertragungsfunktion des Schrittmotors

Der Schrittmotor lässt sich mit einem PT1 Übertragungsverhalten beschreiben. Die Zeitkonstante T_1 resultiert dabei hauptsächlich aus der Trägheit vom Schrittmotor. Aufgrund der geringen Ankermasse vom Schrittmotor ist jedoch die Zeitkonstante relativ gering. Um eine Abschätzung vorzunehmen, wird der Motor mit einer Schrittgeschwindigkeit angesteuert, wobei er gerade nicht mehr der Ansteuerungsfrequenz folgen kann und mehr oder weniger außer Tritt gerät. Diese Schrittfrequenz wird dann zur Berechnung der Zeitverzögerung zugrundegelegt. Der entsprechende Versuch ergab eine Grenzfrequenz von 200Schritte/sec. Es ergibt sich daraus folgende Zeitkonstante:

$$T_{schrittmotor} = \frac{1}{f_{grenz}} = \frac{1}{200 \frac{1}{sec}} = 0,005sec$$

Um auf der sicheren Seite zu liegen, wird für die Simulation eine Zeitkonstante von 0,01sec angenommen. Diese Zeitkonstante ist aber gegenüber der Integrierzeit fast vernachlässigbar, was in der Simulation dann auch sichtbar wird.

Der Verstärkungsfaktor vom Schrittmotor ergibt sich aus der Berechnung der Ein- und Ausgangssignale im eingeschwungenen Zustand:

$$K_{\text{schritt}} = \frac{X_a}{X_e} = \frac{\frac{1 \text{ Umd}}{24 \text{ sec}}}{\frac{1 \text{ Imp}}{\text{sec}}} = 0,042 \frac{\text{Umd}}{\text{Imp}}$$

Dieser Wert kann man auch im Datenblatt vom Motor entnehmen.

6.2.3 Bestimmung der Übertragungsfunktion der Spindel

Die Spindel wandelt die Umdrehungsgeschwindigkeit vom Schrittmotor in eine Positionsänderung (Höhenänderung) um. Die Umwandlung entspricht einem typischen I- Verhalten, weil solange eine konstante Umdrehungsgeschwindigkeit anliegt, die Spindel kontinuierlich die Höhenposition der ändert. Abb. 38 soll dies verdeutlichen.

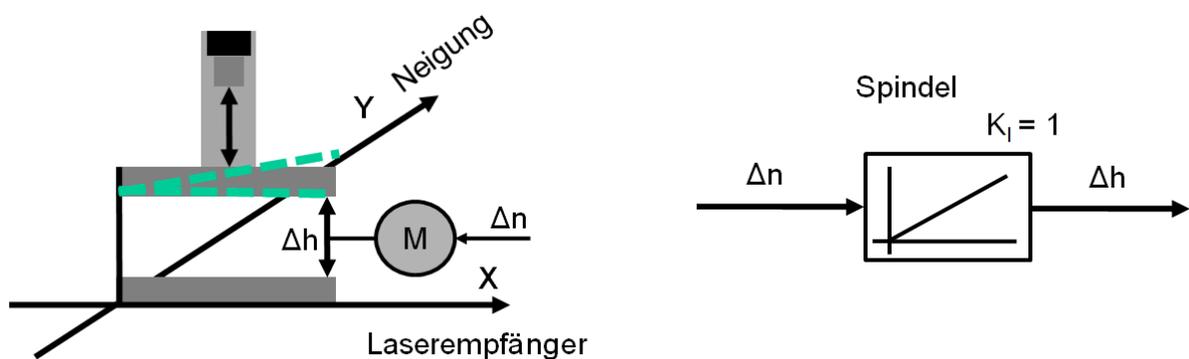


Abb. 38: Übertragungsverhalten Spindel

Für den Integrationsbeiwert ergibt sich:

$$K_{I_{SP}} = \frac{dy/dt}{x} = \frac{(\frac{dy}{dt})_{\text{max}}}{(x)_{\text{max}}} = \frac{4 \text{ mm/sec}}{4 \text{ Umd/sec}} = 1 \frac{\text{mm}}{\text{Umd}}$$

Der Integrationsbeiwert entspricht der Gewindesteigung der Spindel.

Für die Ebenenmechanik lässt sich schließlich das in Abb. 39 angegebene regelungstechnische Ersatzschaltbild für die Ebenenmechanik darstellen.

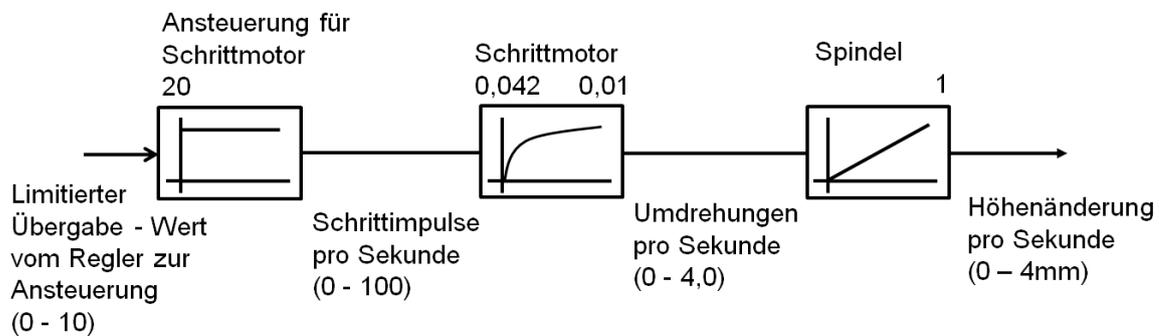


Abb. 39: Übertragungsverhalten der gesamten Ebenenmechanik

6.3 Die Identifizierung der Ebenenmesstechnik für die Y-Achse

Für die Neigungsregelung muss nun noch der Übergang von der Höhenänderung der Spindel in die Neigungsänderung der Ebenenmechanik betrachtet werden.

6.3.1 Die Ebenenverstärkung

Die Spindel liefert einen Höhen-Verstellbereich von +/- 10 mm. Die X-Achse besitzt eine Länge (vom Drehpunkt bis zur Höhenverstellung) von 40 mm. Daraus resultiert ein Verstellbereich für die Neigung von etwa $\pm 15^\circ$ was auch dem Messbereich vom Neigungssensor entspricht. Das zusätzliche Streckenglied der Ebenenmechanik kann als reines P-Glied ohne Zeitverzögerung angesehen werden. Für den Proportionalitätsfaktor ergibt sich:

$$K_{Ebene} = \frac{X_a}{X_e} = \frac{15^\circ}{10\text{mm}} = 1,5 \frac{^\circ}{\text{mm}}$$

Der Regelkreis für die Y- Achse wäre damit identifiziert und kann wie folgt als Blockschaltbild dargestellt werden:

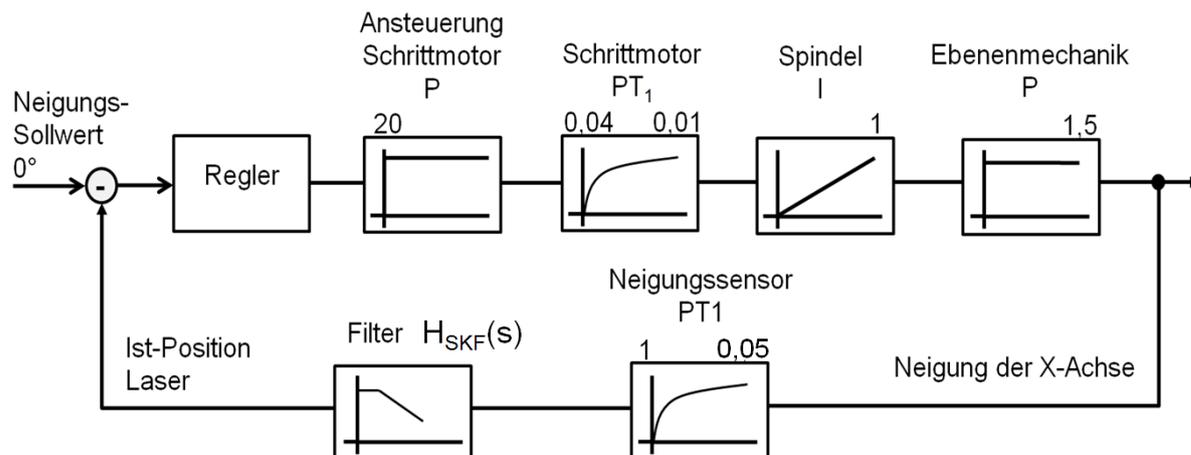


Abb. 40: Blockschaltbild für Y- Achse

6.4 Kennwerte für die Messtechnik in der X- Achse

Für die Ausrichtung der Referenzebene mit Hilfe vom Laser, ergibt sich für den Proportionalitätsfaktor der Ebenenmechanik eine Abhängigkeit vom Abstand zwischen Lasertransmitter und Laserreceiver. Dies wird sofort deutlich, wenn man den Verstärkungsfaktor, der sich für zwei unterschiedliche Abstände zwischen LT und LR ergibt, miteinander vergleicht.

Die Berechnung der unterschiedlichen Verstärkungsfaktoren soll hier exemplarisch für die Abstände von 1m und 10m erfolgen. Dabei wird die jeweilige Höhenänderung bei einem Step vom Schrittmotor betrachtet. Zunächst sollen jedoch in der Abb. 41 die geometrischen Verhältnisse zwischen LR und LT verdeutlicht werden.

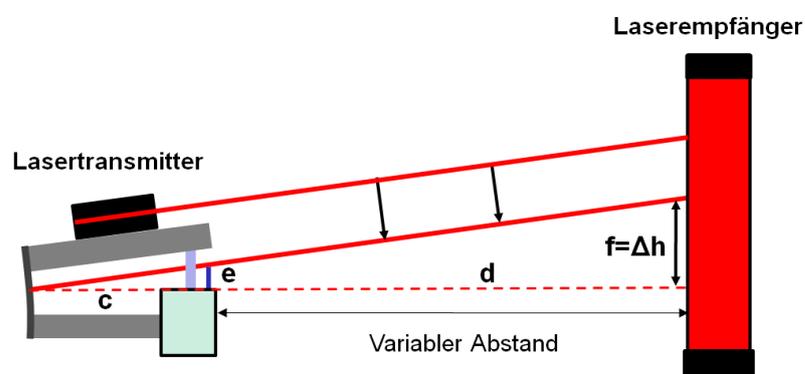


Abb. 41: Geometrische Verhältnisse zwischen LT und LR

Mit der nachfolgenden Rechnung kann man die unterschiedlichen Verstärkungsfaktoren ermitteln:

$$\frac{e}{f} = \frac{c}{c+d}$$

Folgende Längen sind gegeben: $c=60\text{mm}$, $e=0,0416\text{mm}$ und $d_1=1\text{m}$ und $d_2=10\text{m}$

$$f_{1m} = \frac{60 + 1000}{60} * 0,0416 = 0,73\text{mm}$$

$$f_{10m} = \frac{60 + 10000}{60} * 0,0416 = 6,97\text{mm}$$

$$K_{L_Ebene_1m} = \frac{Xa}{Xe} = \frac{\Delta h_{laser}}{\Delta h_{spindel}} = \frac{0,73\text{mm}}{0,0416\text{mm}} = 17,548$$

$$K_{L_Ebene_10m} = \frac{Xa}{Xe} = \frac{\Delta h_{laser}}{\Delta h_{spindel}} = \frac{6,97\text{mm}}{0,0416\text{mm}} = 167,54$$

Aus dieser Betrachtung ist ersichtlich, dass man je nach Abstand zwischen Lasertransmitter und Laserreceiver die Regelung der X- Achse entsprechend adaptieren muss. Die Adaption kann auf zwei Arten realisiert werden:

1. Abstand ist bekannt und der Regler entnimmt aus einer Tabelle den optimalen Verstärkungsfaktor.
2. Man führt einen minimalen Höhenschritt aus und ermittelt die Höhenänderung am Laserempfänger.

6.4.1 Bestimmung der Übertragungsfunktion des Laserempfängers

Der Laserempfänger generiert eine Zeitverzögerung T die aufgrund der Rotation vom LT entsteht. Der LT dreht normalerweise mit einer Geschwindigkeit von 20 Umdrehungen / sec, was einer Zeitkonstanten von 50msec entspricht. Für die Simulation in Simulink wird der Laser näherungsweise als PT1-Glied beschrieben. Die Übertragungsfunktion des PT1-Glieds lautet dann wie folgt:

$$G_{Laser}(s) = \frac{K}{1 + sT} = \frac{1}{1 + 0,05s}$$

Die Verstärkung K des Laserempfängers beträgt immer eins, da das Eingangssignal und das Ausgangssignal vom Amplitudenwert her identisch sind.

6.5 Ergebnisse der Bohlenpositionsbestimmung

Der grundsätzliche Gedanke vom Bohlenpositioniersystem konnte auf der Baustelle in Berlin mit einem handelsüblichen Lasertransmitter und einem Standard Laserempfänger der Fa. MOBA ausgetestet werden. Dabei stellte sich heraus, dass der messtechnische Teil in dieser Anwendung ohne Probleme zu realisieren ist.

Die Optimierung der automatischen Nivellierung ist jedoch nicht ohne weiteres realisierbar, weil hier vor allem mehrere Zeitkonstanten in der Regelstrecke (Zugarm, Bohle, Traktor, Fahrgeschwindigkeit..) zu kompensieren sind. Dies führt letztendlich zu vermaschten Regelkreisen, die jedoch nur mit Hilfe von weiteren Sensoren zu stabilisieren sind. Details zur Lösung dieser Problematik sind während dem Projekt analysiert worden, wobei entsprechend Lösungsansätze ausgearbeitet wurden.

Für eine praktikable Nutzung vom Bohlenpositioniersystem wäre ein Lasertransmitter, der sich automatisch ausrichten kann, ein erheblicher Vorteil beim einrichten der Baustelle. Ein solcher Lasertransmitter ist aber eine sehr aufwendige und komplexe Entwicklung. Für einen Entwicklungsstart benötigt die Fa. MOBA noch weitere Informationen von Bauunternehmern und OEM's.

7 Nachverdichtung (AP5)

Die Schichtdickenmessung an der Walze ist eng mit der Positionsbestimmung verknüpft, weil nicht die Schichtdicke direkt, sondern nur die Schichtdickenänderung bezogen auf eine bestimmte Position ohne großen Aufwand zu ermitteln ist. Die Schichtdickenänderung selbst ist mit der Unterstützung verschiedener Sensoren zu untersuchen. Im Einzelnen sollen folgende Sensoren in die Messung mit einbezogen werden:

- Neigung
- Beschleunigung
- Ultraschallsensoren
- Beschleunigung und Ultraschall

Alle Messungen wurden immer Positionsbezogen durchgeführt. Daher wurde im ersten Schritt die Erfassung und Abspeicherung der Position auf der Basis sogenannter Grids realisiert. Geplant ist im nächsten Schritt, dass alle Messwertdaten, die das System während dem Verdichtungsprozess erzeugt, einem Grid- Speicherplatz zugeordnet werden.

7.1 Aufbau des Grids

Das Grid repräsentiert das Arbeitsgebiet einer Walze während dem Verdichtungsprozess. Dabei wird eine Zelle als Basiseinheit für das Grid angenommen. Diese Zelle hat die Breite der Walze und eine Länge von ca. 5m (geplant ist eine Reduzierung auf 1m). Für diesen rechteckigen Bereich der Straße wird zunächst die Anzahl der Überfahrten gespeichert. Im nächsten Schritt wird neben der Anzahl der Überfahrten auch das jeweilige Setzungsmaß vom Asphalt abgespeichert.

Für jede Zelle wird die Ausrichtung in einem Koordinatensystem so gespeichert, dass die vertikale Anzeige des Rasters auch entsprechende Kurven darstellen kann.

Zur Zeit kann die Walze maximal 6 Fertigungsbahnen befahren. Insgesamt sind in dem System ca. 3000m Arbeitsgebiet vorgehalten, d.h. 600 Zellen pro Bahn. Das Grid besteht somit aus 3600 Zellen zur Repräsentation des Arbeitsgebiets.

Die Zählung der einzelnen Zeilen (Spuren) erfolgt in der bisherigen Implementierung derart, dass die vorderste Zeile zugleich auch als die 1. Zeile betrachtet wird. Da dieses Konzept sehr intuitiv ist, gilt dies auch für die hier beschriebene Implementierung des Grids; insgesamt ergeben sich also maximal 600 benutzbare Reihen.

Abb. 42 zeigt die konkret verwendeten Datenstrukturen zur Darstellung des Grids. Dieses Diagramm kann als Grundlage zum Verständnis über den Aufbau des Grids hilfreich sein.

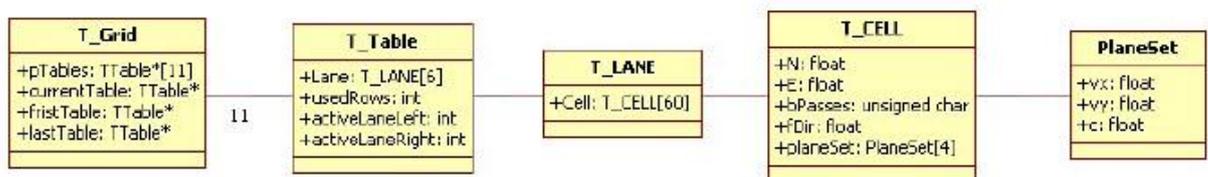


Abb. 42: Datenstruktur zur Repräsentation des Grids

Die offensichtlichste Variante zur Repräsentation einer Zelle, nämlich die vier Eckpunkte zu speichern, wird hier nicht angewandt, da dies unnötig Speicherplatz verbrauchen würde. Stattdessen wird der Mittelpunkt der Strecke der beiden oberen Punkte (Punkte P1 und P4) als Zellpunkt gespeichert. Zusätzlich wird die Ausrichtung der Zelle im Speicher abgelegt.

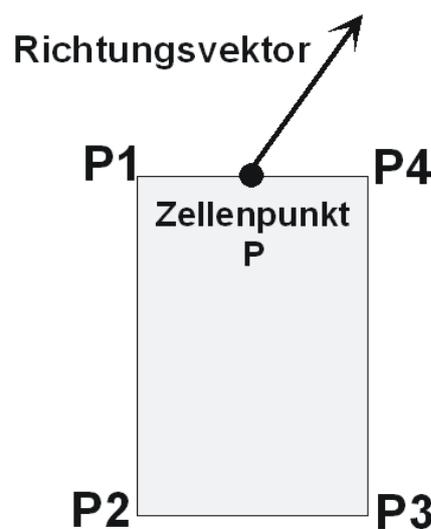


Abb. 43: Aufbau vom Grid

Die vier Eckpunkte werden über die folgenden beiden Gleichungen bestimmt:

$$x_{\text{gesucht}} = x_{\text{gegeben}} + \text{distanz} \cdot \sin(\text{ausrichtung}) \quad (1)$$

$$y_{\text{gesucht}} = y_{\text{gegeben}} + \text{distanz} \cdot \cos(\text{ausrichtung}) \quad (2)$$

Die Ausrichtung einer Zelle ist der Winkel zwischen der vertikalen Achse eines Koordinatensystems und der Richtung in die sich die Walze bewegt. Die Berechnung der Ausrichtung erfolgt mit Hilfe eines Kalmanfilters, der basierend auf dem mathematischen Modell der Walze entsprechende Positions-Korrekturen durchführen kann. Dabei versucht der Kalmanfilter das Messwerttrauschen zu reduzieren, indem er mit Hilfe von einem Prozessabbild Messwerte vorhersagt, die dann gezielt in die Messwertermittlung einfließen.

Zusätzlich wird für jede Kante jeder Zelle die Normalenform der Geradengleichung aufgestellt, um eine schnelle Bestimmung der Orientierung eines Punktes, der in Bezug zu dieser Geraden steht, zu ermöglichen.

Die Berechnung der Geraden erfolgt prinzipiell mit Hilfe von Dreiecken. So werden zuerst mit Hilfe der Formeln (1) und (2) die Eckpunkte ermittelt. Anhand des ersten Dreiecks (P1; P2; P3) soll das Vorgehen vorgestellt werden.

Ausgehend von der Normalenform der Geradengleichung $ax + by = c$ kann für eine Strecke der Normalenvektor sowie die Konstante c (c ist das Skalarprodukt des Normalenvektors sowie eines Ortsvektors, in diesem Fall $\sim P1$) wie folgt berechnet werden:

$$n_{x1} = P1_y - P2_y$$

$$n_{y1} = P2_x - P1_x$$

$$c1 = n_{x1} \cdot P1_x + n_{y1} \cdot P1_y$$

Nach dem gleichen Verfahren kann man die Normalenformen der beiden weiteren Geraden des Dreiecks bestimmen, die durch die Punkte (P2; P3) respk. (P3; P1) gegeben sind.

Um zu überprüfen, dass die berechneten Normalenvektoren in die richtige Richtung zeigen, wird dies mit einem Testpunkt überprüft. Der Testpunkt berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$t_x = P1_x + P2_x + P3_x$$

$$t_y = P1_y + P2_y + P3_y$$

Nun wird der Testpunkt in eine der drei Gradengleichung eingesetzt. Ist bspw. $t_x - n_{x1} = t_y - n_{y1}$, dann liegt der Punkt in dem Dreieck, d.h. die Normalenvektoren weisen in die richtige Richtung. Wenn nicht, dann muss die Richtung der Vektoren umgekehrt werden, d.h. die Vorzeichen für n_x , n_y und c sind zu invertieren.

Analog kann für die beiden Geraden (P3; P4) und (P4; P1) die Normalenform aufgestellt und mit einem weiteren Testpunkt überprüft werden.

Eine Fertigungsbahn besteht aus derzeit aus 60 Zellen, die gedanklich hintereinander angeordnet sind; sie beschreiben also die Bahn einer Walze. Wie bereits erwähnt stehen insgesamt 6 Bahnen bereit, von denen die Walze natürlich nicht alle nutzen muss. Initial wird die Walze auf die 4. Spur von links gesetzt, so dass 2 weitere Bahnen nach rechts bzw. 3 Bahnen nach links zur Verfügung stehen.

Eine Tabelle umfasst nun die bereits angesprochenen 6 Fertigungsbahnen mit jeweils 60 Zellen. Ziel ist es insgesamt ein Arbeitsgebiet von 3000m zu realisieren, wozu man maximal 11 Tabellen benötigt.

Die Verwaltung der 11 Tabellen erfolgt im Grid, dies stellt somit die Repräsentation des Rasters dar. Die 11 Tabellen werden hier in Form eines Ringspeichers verwaltet. Daher ist es notwendig die aktuelle Tabelle sowie die erste und letzte Tabelle zu speichern

Sollte die Walze wieder in neues Arbeitsgebiet einfahren, wird der Inhalt der bis dahin ersten Tabelle komplett gelöscht und hier eine neue Reihe/Zeile eröffnet (d.h. das Arbeitsgebiet verkleinert sich schlagartig auf 3005m); zusätzlich müssen die Grenzen des Grids (d.h. die Zeiger zur ersten bzw. letzten Tabelle) verschoben werden. Durch diese Konstruktion ist immer ein Arbeitsgebiet von mehr als 3000m gewährleistet.

7.2 Die Systemausrüstung auf der Walze

Neben dem Monitor für die Darstellung der aktuellen Überfahrten sowie die Überwachung der Anzahl der Überfahrten, wurden verschiedene GPS- Systeme auf der Baustelle in Berlin ausgetestet. Damit das System für die Überwachung der

Verdichtung auch wirtschaftlich einsetzbar ist, muss das GPS- System in einem Preisrahmen von unter 1000€ realisierbar sein. Dabei ist eine annähernde RTK- Genauigkeit (Genauigkeiten im Bereich von 10cm bis 30cm) die Voraussetzung für eine hinreichende Verdichtungsüberwachung.

Abb. 44 zeigt die verwendeten Komponenten auf der Walze und beispielhaft den Displayinhalt.

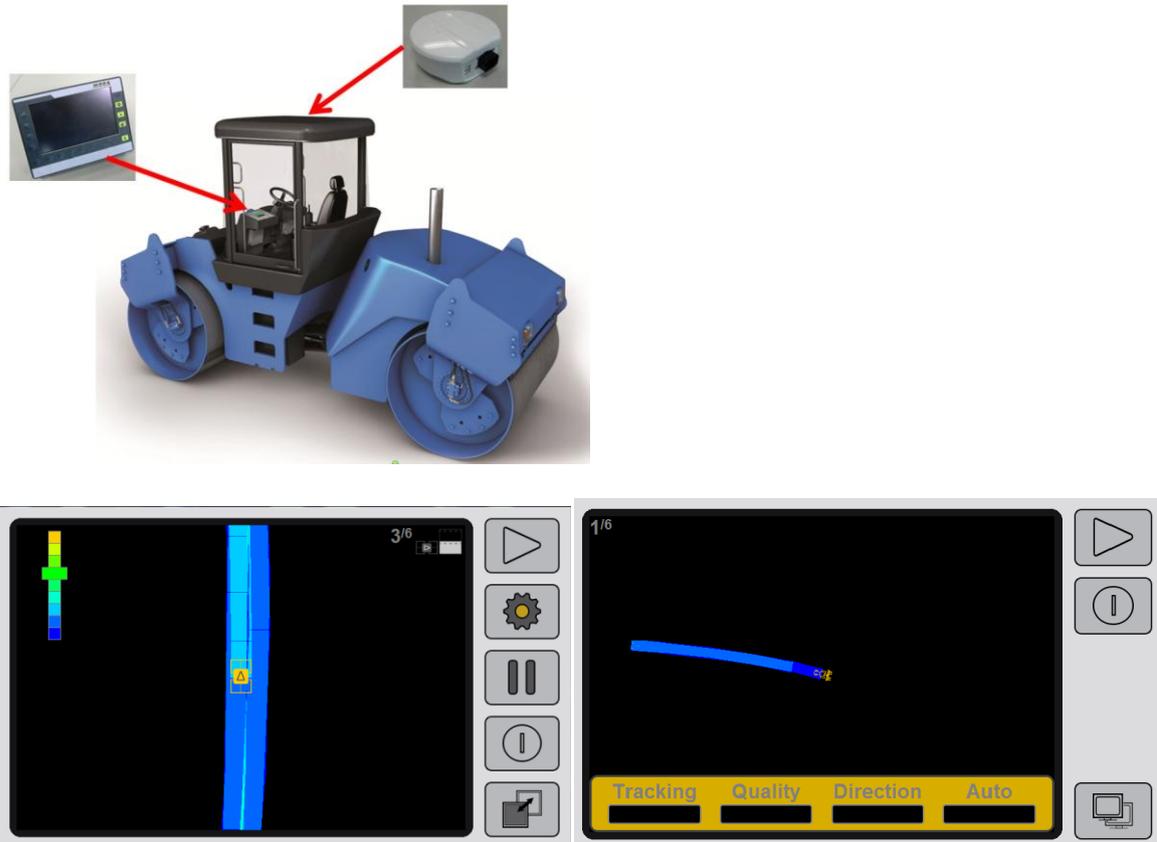


Abb. 44: Bildschirmdarstellung der Walzenüberfahrten

Letztendlich entscheidet die Positionsgenauigkeit und Verfügbarkeit der Position über die Qualität der zu erreichenden Ergebnisse. Von daher soll das hier eingesetzte RTK- Verfahren für den speziellen Einsatzfall im Folgenden näher erläutert werden.

Bei der Positionsbestimmung als Real Time Kinematic (RTK) geht es darum, dass die Position in (Quasi-)Echtzeit im bewegten Receiver (Rover) bestimmt werden

kann. Dafür wird eine sogenannte Basisstation genutzt. Die Basisstation wird an einem bekannten Punkt aufgestellt und sendet, meist über Funk oder GSM, Korrekturdaten an den Rover.

Da die Position der Basisstation bekannt ist, kennt man auch die Abweichung der über GPS berechneten Position. In dem Rover wird nun davon ausgegangen, dass der Fehler gleich dem Fehler in der Basisstation ist. Dadurch wird der Fehler korrigiert und es kann in Echtzeit eine Positionsbestimmung im Zentimeter- oder Millimeter-Bereich erreicht werden.

Bei beiden Receivern wird die Trägerphasenmessung zur Positionsbestimmung eingesetzt, um möglichst genaue Positionen zu erhalten.



Abb. 45: Referenzstation und Walze im Einsatz

7.2.1 Die RTKLib

RTKLib ist ein Open-Source Paket für standalone (eigenständige) und präzise Positionsbestimmungen. Das Paket beinhaltet Bibliotheken und Applikationen, welche unter Windows CE und Windows laufen.

Zu den Applikationen gehören zum einen RTKConv, RTKNavi, RTKPlot und RTKPost. Im Folgenden werden nur die Applikationen beschrieben, die in dem

Projekt verwendet wurden. RTKConv konvertiert aus Rohdaten der GNSS-Receiver Daten im RINEX-Format. RINEX steht für Receiver Independent Exchange Format und wurde als Standard eingeführt, um Daten zwischen verschiedenen Receivern austauschen zu können.

Eine weitere Applikation ist das RTKNav, welches verschiedene Formate von GNSSReceivern interpretieren kann um daraus eine Position zu berechnen. RTKNav wurde ebenfalls als eine Windows CE Version unter dem Namen RTKRcv für die Tests genutzt. In Abb. 46 erkennt man die vom GPS – System generierten Daten mit der entsprechenden Signalverfügbarkeit.

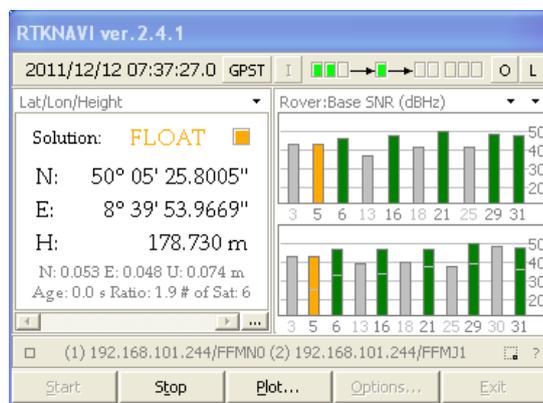


Abb. 46: DGPS Daten

In dem RTKPlot (Abb. 47) kann man sich die berechneten Positionen grafisch anzeigen lassen. Man kann sich sowohl in Echtzeit die Positionen des RTKNav anzeigen lassen, als auch später eine Datei mit Positionsangaben rein laden. Die verschiedenen Status der Lösungen werden auch in verschiedenen Farben dargestellt.

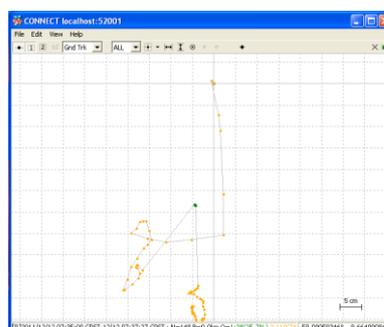


Abb. 47:RTK Plot

Als nächstes wird das System beschrieben, welches zum Einen für die Tests auf der Teststrecke bei MOBA und zum Anderen auf der Baustelle der A111 bei Berlin genutzt wurde. Für beide Tests wurden Positionsbestimmungen mit dem RTK-Verfahren verwendet. Dies bedeutet, dass immer eine Basisstation über Funkmodems Korrekturen versendet hat.

In Abb. 48 ist der schematische Aufbau der Basisstation zu sehen. Für die Basis wurde ein L1/L2-Empfänger von Leica genutzt. Dieser wurde als Basisstation konfiguriert und hat die Korrekturen über ein Funkmodem übertragen. Das Datenformat der Korrekturen war RTCM SC-104 Version 3.03. RTCM steht für Radio Technical Commission for Maritime Services und ist eine US-amerikanische Organisation, welche Normungen in der maritimen Telekommunikation durchführt.

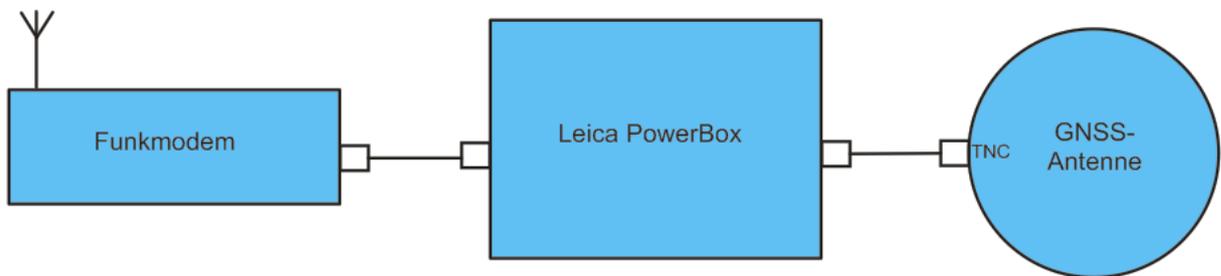


Abb. 48: Prinzip Basisstation von Leica

7.3 Ergebnisse Nachverdichtung

Eine Grundanforderung an das Messsystem auf der Walze bestand darin, dass eine gleichmäßige Verdichtungsarbeit über die gesamte Straßenbreite sicher gestellt werden konnte. Dies wurde mit einem optimierten GNSS- Empfänger und einer entsprechenden Visualisierungssoftware realisiert. Eine weitere Anforderung war es, ein möglichst kostengünstiges System zu entwickeln, damit das Messsystem auch als Standardausrüstung für eine Walze zum Einsatz kommen kann. Die Grundvoraussetzungen hierfür sind mit dem Demonstrator geschaffen worden.

Am System anschließbar sind weitere Sensoren, die sowohl die Verdichtung als auch die Schichtdickenänderung ermitteln und als Demonstrator vorhanden sind. Die Fa. MOBA hat beschlossen sowohl die Sensorik als auch das Messsystem mit Positionierungseinheit weiter bis zur Marktreife zu entwickeln.

Es hat sich bei Tests auf dem MOBA- Testgelände herausgestellt, dass die Reichweite für das BT- Netzwerk trotz Antennenoptimierung limitiert ist. Für die Kommunikation Fertiger – LKW ist BT bei weitem ausreichend und außerdem eine kostengünstige Lösung. Für die Kommunikation Fertiger- Walze hingegen ist eine Erhöhung der Funkreichweite sinnvoll und notwendig, um einen möglichst störungsfreien Betrieb zu gewährleisten. Im WLAN- Bereich führten neue Entwicklungen (basierend auf IEEE 802.11N) zu einer Erhöhung der Sendereichweite, ohne das die Sendeleistung erhöht werden musste. Es wurde daher entschieden, neben BT auch ein WLAN- Netzwerk speziell für die Kommunikation Fertiger- Walze aufzubauen und auszutesten.

Weiterhin ergaben Untersuchungen mit aktuellen Internet- Technologien (GPRS, UMTS) die Möglichkeit einer nahezu Echtzeitkommunikation über das Internet zwischen Fertiger und Walze. Voraussetzung hierfür ist natürlich, das ein Mobilnetz vorhanden ist.

Im Folgenden soll nun alle die Kommunikationstechnologien in Bezug auf Anwendungsmöglichkeiten sowie die Koexistenz zwischen folgenden Funksystemen näher betrachtet werden:

- BT (Weiterführung von Bericht 4)
- WLAN

8.1 Bluetooth BT

Über der Wireless Stack-Schicht sitzt normalerweise die Applikation, die die Daten dank Wireless Stack von A nach B transportieren lassen kann, ohne sich um die Sicherung, Verbindungsüberwachung etc. kümmern zu müssen. Falls mehrere Anwendungen über das gleiche Protokoll kommunizieren sollen, bietet es sich an zwischen die Applikation und den Stack noch eine weitere Schicht einzuführen, die als „Communication Protocol“ oder Darstellungsschicht bezeichnet wird. So ist sichergestellt, dass die Daten auf beiden Seiten der Verbindung gleich interpretiert werden auch wenn dort unterschiedliche Applikationen arbeiten.

Bei MOBA kommunizieren die meisten Geräte über den CAN-Bus und entsprechend spezifizierte Nachrichten, so dass es aus Gründen der Kompatibilität nahe liegt, das gleiche Datenformat auch für die Kommunikation über Wireless zu nutzen. Dazu wurde ein Kommunikationsprotokoll entworfen, welches die Bezeichnung „CAN over Wireless“ trägt.

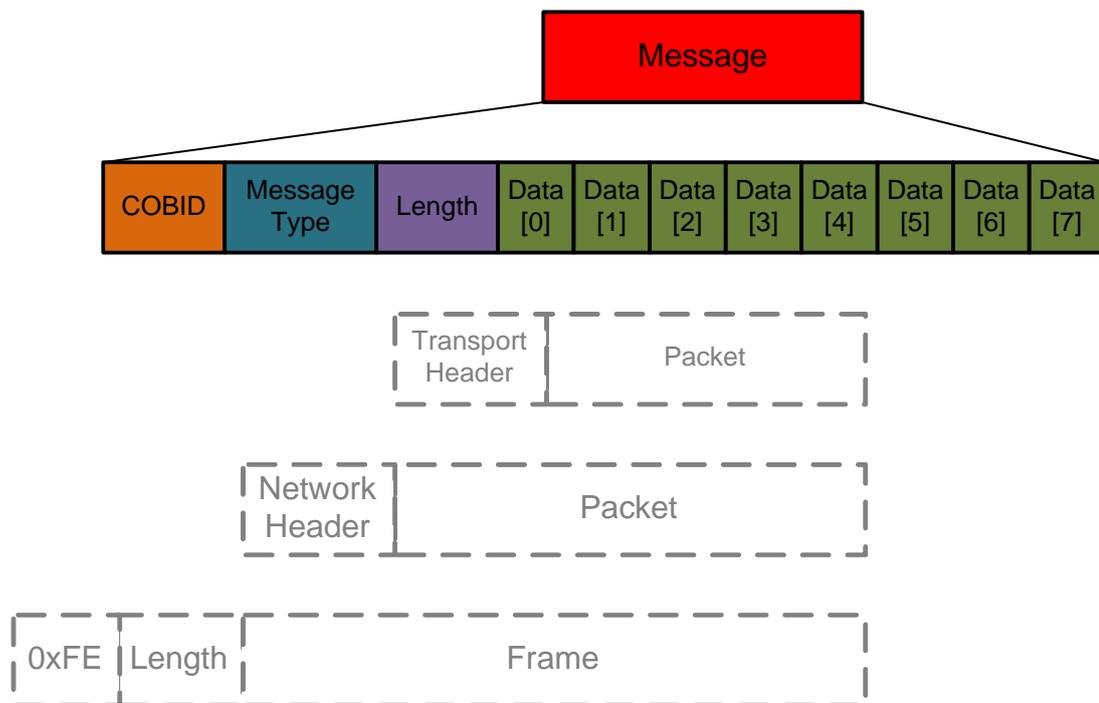


Abb. 50: Aufbau einer CAN over Wireless Nachricht

Die „CAN over Wireless“ Nachricht wird zu einem „strukturlosen“ Bytestrom serialisiert und der Transportschicht übergeben. Der Aufbau einer CAN-Nachricht und die Überführung in die entsprechenden Sendepakete ist in Abb. 50 dargestellt. Sie besteht aus der **COBID** dem **Message Typ** der **Länge** der gültigen Datenbytes und bis zu acht **Datenbytes**. Genau so wird auf der Seite der Gegenstelle der strukturlose Bytestrom dank der bekannten Struktur wieder in eine CAN-Nachricht umgewandelt und der Applikation zugeführt.

Damit die Applikation diese Schnittstelle genau so nutzen kann, wie eine herkömmliche CAN-Schnittstelle ist es außer der Datenumwandlung notwendig, auch alle Fehler- und Zustandscodes, die vom Wirelessstack geliefert werden, in ein

„CAN-konformes“ Format umzuwandeln. Alle diese Aufgaben übernimmt der **CANoverWireless Layer**, der an anderer Stelle näher beschrieben wird.

8.1.1 Multipoint Verbindungen (Bluetooth)

Genau genommen handelt es sich bei „Multipoint“-Verbindungen mit Bluetooth um viele einzelne „Point to Point“-Verbindungen. Dabei hält der Multipoint-Master zu jedem einzelnen verbundenen Slave eine extra Verbindung. Will man über diesen Mechanismus z.B. ein CAN Netzwerk nachbilden, welches von Haus aus ja eine Broadcast-Struktur besitzt, so muss für eine einzige CAN-Nachricht jeweils eine weitere Nachricht pro Bluetoothverbindung vom Master zu den Slaves übertragen werden.

Die Gesamtzahl N der zu übertragenden Nachrichten ist somit von der Anzahl der verbundenen Slaves und der Anzahl der Einzelnachrichten abhängig und kann so beschrieben werden:

$$N = \text{Nachrichten} \cdot \text{Slaves}^2$$

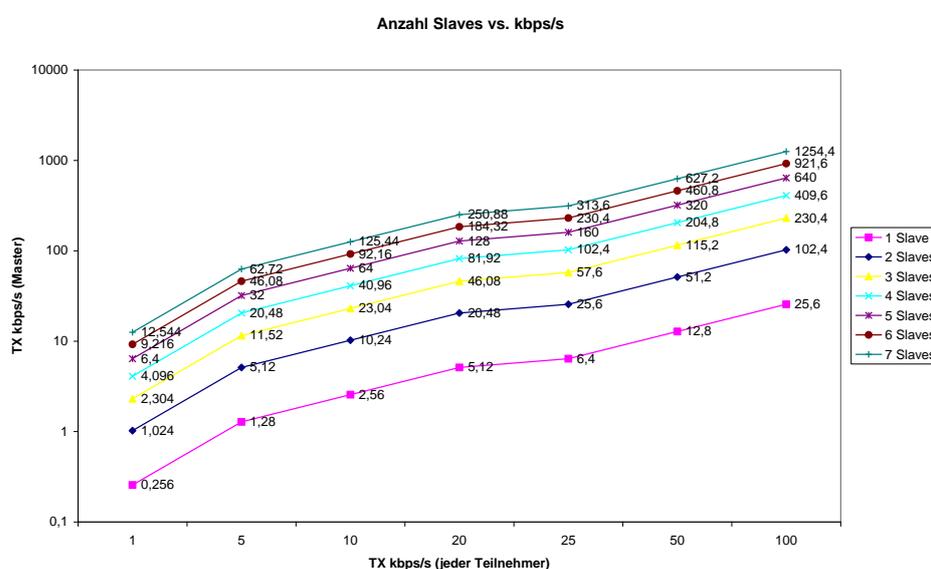


Abb. 51: Datenübertragungskapazität der Teilnehmer

Die Abb. 51 verdeutlicht die Abhängigkeit der Übertragungsrate von der Anzahl der eingebundenen Slaves im Netzwerk.

8.2 WLAN

WLAN ist die Abkürzung für Wireless Local Area Network, was man mit "Kabelloses Lokales Netzwerk" übersetzen kann. Dahinter steckt ein sehr praktisches lokales Funknetz, das es ermöglicht die Vorteile des Internets mobil einsetzbar zu gestalten.

Das größte Problem bei WLAN-Netzwerken ist die Qualität des Funkgebietes und dessen Schnelligkeit. Je weiter man sich von der Sendequelle entfernt, desto geringer wird die Übertragungsgeschwindigkeit. Daher sind in der jüngeren Vergangenheit neue Modulationstechniken entstanden, die es erlauben die Datenübertragung per WLAN sowohl sicherer zu gestalten, als auch die Reichweite zu erhöhen.

Der für WLAN verwendete Standard ist der Standard IEEE 802.11 und dessen Nachfolger, denn seit der Entstehung von WLAN wurden die Standards immer wieder verändert und verbessert. Abb. 52 zeigt alle Standards die sich auf WLAN beziehen.

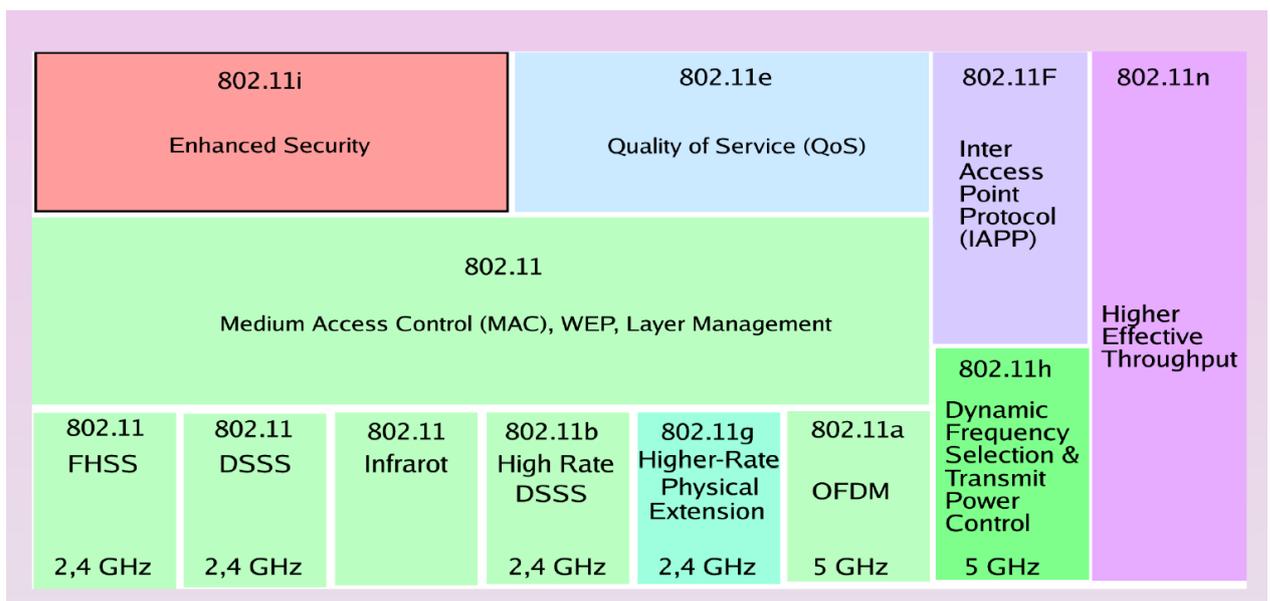


Abb. 52: Frequenzen und Standards

WLAN ist also ein Computernetzwerk, das praktisch gesehen das Ethernetkabel durch eine Funkverbindung ersetzt. Für das Arbeiten mit dem Computer bedeutet dies aber keinen Unterschied zu einer Verbindung mit einem Ethernetkabel, denn für

ein Betriebssystem wie zum Beispiel Windows und die Programme erscheint es bei einer WLAN-Verbindung so, als ob der Computer über ein Ethernetkabel angeschlossen wäre.

8.2.1 Koexistenz zwischen ZigBee, BT und WLAN

Der Einsatz von drahtlosen Systemen in lizenzfreien Frequenzbändern wirft grundsätzlich die Frage nach der Koexistenz mit anderen Systemen auf. Die Verfahren Zig Bee, BT und WLAN verwenden das ISM Frequenzband (2,4GHz).

Sowohl WLAN als auch ZigBee verwenden das DSSS- Verfahren. Die Datenübertragung erfolgt hierbei in vom Nutzer wählbaren Kanälen. Diese Kanäle sind breiter als beim FHSS- Verfahren. WLAN benutzt eine Bandbreite von 22MHz, ZigBee hingegen 2 MHz pro Kanal. Bei WLAN sind 13 Kanäle und bei ZigBee 16 Kanäle (2,4GHz) definiert, die sich teilweise überlappen. WLAN ist für Sendeleistungen bis zu maximal 100mW ausgelegt, ZigBee hingegen nur für Leistungen bis zu 10 mW. WLAN kann somit ZigBee bis zur vollständigen Funktionsuntüchtigkeit stören und somit eine Datenübertragung mit ZigBee unmöglich machen. Dies ist auch der Hauptgrund, warum wir uns gegen ZigBee entschieden haben.

Betrachtet man BT und WLAN, so benutzt BT beim FHSS eine Frequenzsprungrate von 1600 Hops/sec und WLAN nur 2,5 Hops/sec. BT hat aufgrund der höheren Sprungrate deutliche Vorteile. Trotzdem ist insgesamt BT optimiert für die Funkdatenübertragung im Nahbereich und WLAN optimiert für größere Entfernungen.

Die Interoperabilität zwischen BT und WLAN ist prinzipiell aufgrund der unterschiedlichen Übertragungsverfahren möglich. Dies wird insbesondere dadurch gewährleistet, dass bei BT 72 Kanäle zur Verfügung stehen mit einer kleineren Bandbreite und bei WLAN 13 Kanäle mit einer hohen Bandbreite. Zusammen mit der extrem unterschiedlichen Frequenzsprungrate ist die Wahrscheinlichkeit sehr gering, dass WLAN die BT- Kommunikation vollständig stört. BT wird immer einen Kanal treffen, auf dem WLAN momentan nicht sendet.

8.2.2 Vergleich BT und WLAN

- WLAN übersteigt BT in seiner Reichweite und Übertragungsgeschwindigkeit
- WLAN mit der Neuerung 802.11N ermöglicht eine Verdopplung der Sendereichweite
- BT hat geringer Stromverbrauch und ist kostengünstig und somit gut einsetzbar für die Kommunikation zwischen Fertiger und LKW.
- Video- Signale können über BT übertragen werden.

8.3 Ergebnisse Kommunikation

Die Untersuchungen haben abschließen gezeigt, dass nicht nur eine Kommunikationstechnologie entlang der Prozesskette zum Einsatz kommen wird, sondern eine Kombination von WLAN, BT und Internet. Geplant und teilweise realisiert sind zum Beispiel Netzwerkkarten, die sich automatisch den Gegebenheiten anpassen und immer nach der idealen Möglichkeit des Internetzugangs suchen. Es gibt bereits Karten, die automatisch von UMTS auf WLAN umschalten, sobald ein Hot-Spot in der Nähe ist.

Eine Hauptkomponente, die als Demonstrator realisiert wurde, ist eine direkte Verbindung von dem internen Maschinenbus CAN ins Internet oder vom Maschinenbus auf WLAN.

Ein Nachteil von WLAN ist immer noch die beschränkte Reichweite dieser Technologie. Sie hängt grundsätzlich von verschiedenen Faktoren ab, wobei die Räumlichkeiten und die direkte Umgebung am Wichtigsten sind. Daneben spielen Antenne und Sendeleistung natürlich eine entscheidende Rolle.

Die Kommunikation über einen Internet-Server wird in Zukunft von der Fa. MOBA stark vorangetrieben werden. Die Vorteile der Datenspeicherung, sowie der flexible Zugriff auf die abgelegten Daten, ergeben völlig neue Möglichkeiten bei der Datenauswertung und der Visualisierung. So kann der Baustellenleiter unabhängig vom Ort sich jeder Zeit einen umfassenden Überblick verschaffen, wie der momentane Einbaufortschritt aussieht und ob alle Qualitätsparameter eingehalten werden.

9 Test und Erprobung (AP7)

Insgesamt wurden auf zwei Baustellen die Demonstratoren am Fertiger angebracht und während dem realen Asphalteinbau ausgetestet. Die Erprobung fand an unterschiedlichen Fertigern auf verschiedenen Baustellen statt. Alle Demonstratoren konnten dabei entsprechend ausgetestet werden.

Die Aufgaben beim Baustellentest bestanden im Wesentlichen aus folgenden Punkten:

- Anbau aller Komponenten
- Inbetriebnahme der Demonstratoren
- Kontrolle der Demonstratoren

Neben den Demonstratoren kamen weitere Elektronikeinheiten hinzu, die man für die Kommunikation der Einzelkomponenten im Gesamtsystem benötigte. Damit insgesamt die Funktionalität der installierten Demonstratoren im und am Fertiger sichergestellt werden konnte, und die Zusammenarbeit mit anderen Systemkomponenten optimal funktionierte, mussten noch weitere Interfaceschaltungen und Sensoren am Fertiger installiert werden. Dabei handelte es sich um folgende Komponenten:

- MOBA Matic
- Neigungssensor für Bohle
- 4 Dual Sonics für Abstandsmessungen an der Bohle
- Wire Ropes
- GD-320 Display zur Visualisierung von Testberechnungen
- Pave IR + Operand (GPS, Odometer an Wegrad)
- Temperatur Messung mit seperatem SC106 + 2 Sensoren für Auswurftemperatur
- Temperatur-Scanner Prototyp + MPC118
- GPS Antenne + MPC118
- Laptop zum Daten Loggen / Tracen,

Größte Aufmerksamkeit gab es beim Baustellentest in Bezug auf das Temperaturerfassungssystem (Temperatur-Bar und Temperatur-Scanner), was die Temperatur direkt hinter dem Fertiger aufzeichnete. Beim Warten auf Material konnte man die (abkühlende) Temperatur der gerade eingebauten Schicht auf der Anzeige verfolgen. Interessant war zu beobachten, dass der Nutzen dieser Anzeige ohne umfangreiche Erklärungen schnell erkannt wurde, und dass man die Temperaturüberwachung nicht als Arbeitskontrolle ansah. Darüber hinaus kamen Verbesserungsvorschläge von den Baustellenmitarbeitern, die insbesondere auf die Handhabung von dem Temperaturmesssystem abzielten.

Insgesamt wurden beim Baustellentest auf der Autobahn A4 bei Jena ca. 2 GByte Messdaten gesammelt. Auf der Baustelle in Berlin kam in etwa nochmals die gleiche Datenmenge hinzu. Die graphische Darstellung aller Messdaten in diesem Bericht würde den Berichtumfang sprengen. Auszugsweise sollen daher einige Messergebnisse dargestellt werden.

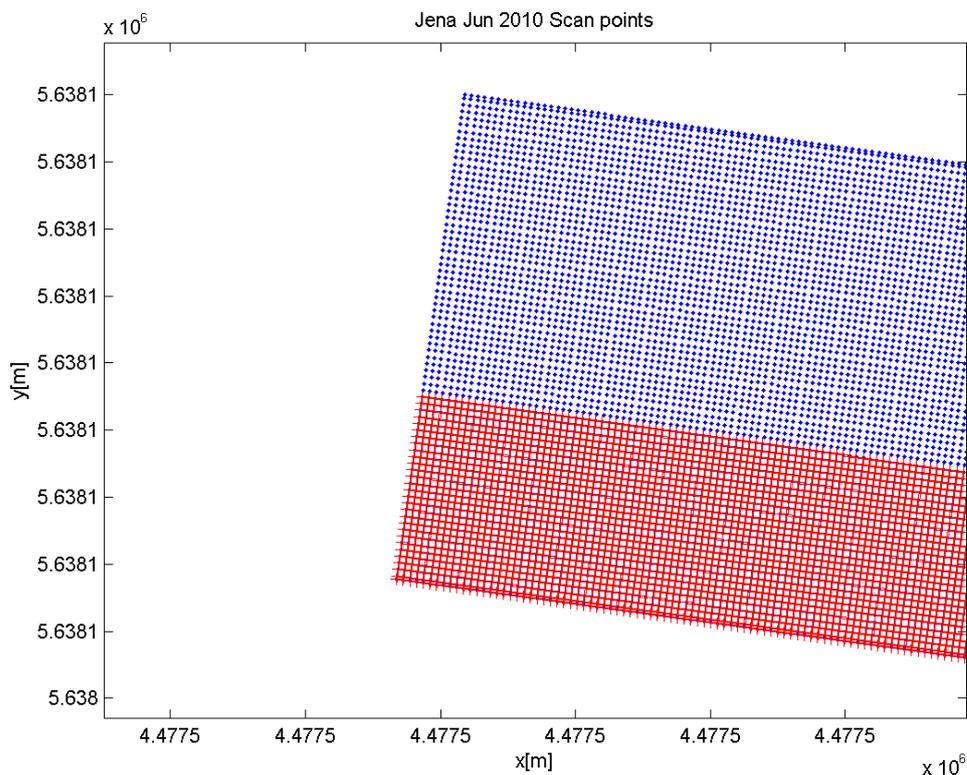


Abb. 53: Rasterdaten der Messungen

Abb. 53 zeigt die Struktur der aufgezeichneten Scan-Punkte über die Wegstrecke. Jeder abgespeicherte Punkt ist räumlich dargestellt und kann nach einer entsprechenden Kalibrierung auch als absolute Raumkoordinate aufgefasst werden. Die oben dargestellten Rasterdaten wurden vor und nach dem Einbau aufgezeichnet. Abb. 54 und 55 zeigen Schichtdickenwerte an, die aufgrund der Rasterdaten über eine Strecke von ca. 1600m ermittelt wurden.

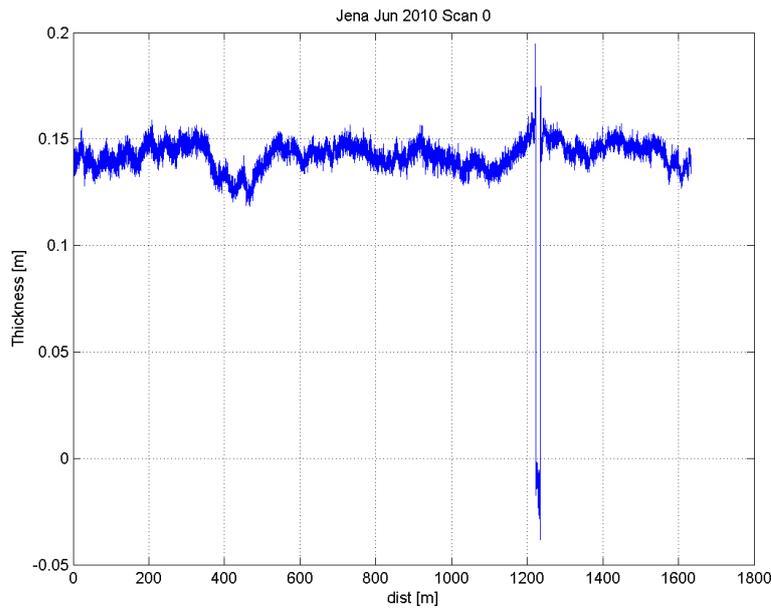


Abb. 54: Schichtdickenmittelwert

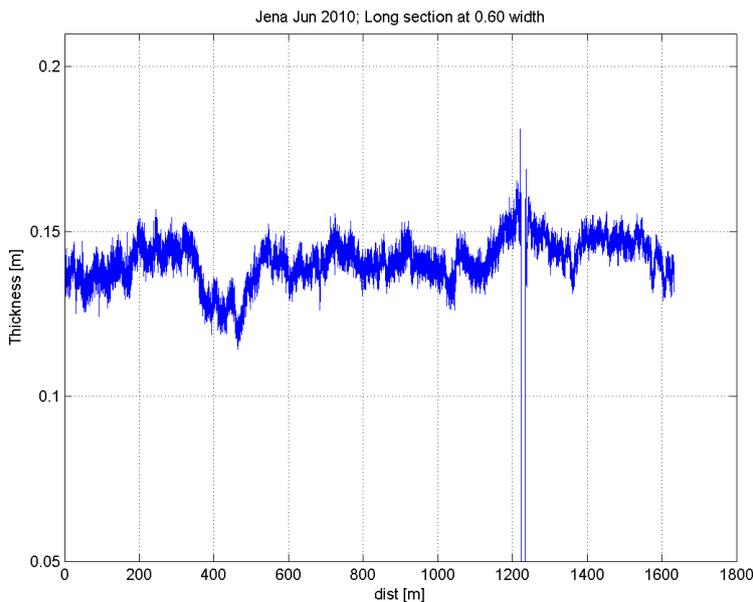


Abb. 55: Schichtdicke für Sektion 0.6

9.1 Schichtdicke

Die kontinuierliche Schichtdickenmessung korreliert sehr gut mit den von Hand durchgeführten Messungen. Abweichungen gab es immer dann, wenn der Mess-Untergrund nicht sauber bzw. uneben war.

Abb. 56 zeigt die Höhenkurven über die Einbauwegstrecke vor und nach dem Asphalteinbau. In Abb. 57 und 58 wird das Höhenprofil nochmals räumlich dargestellt.

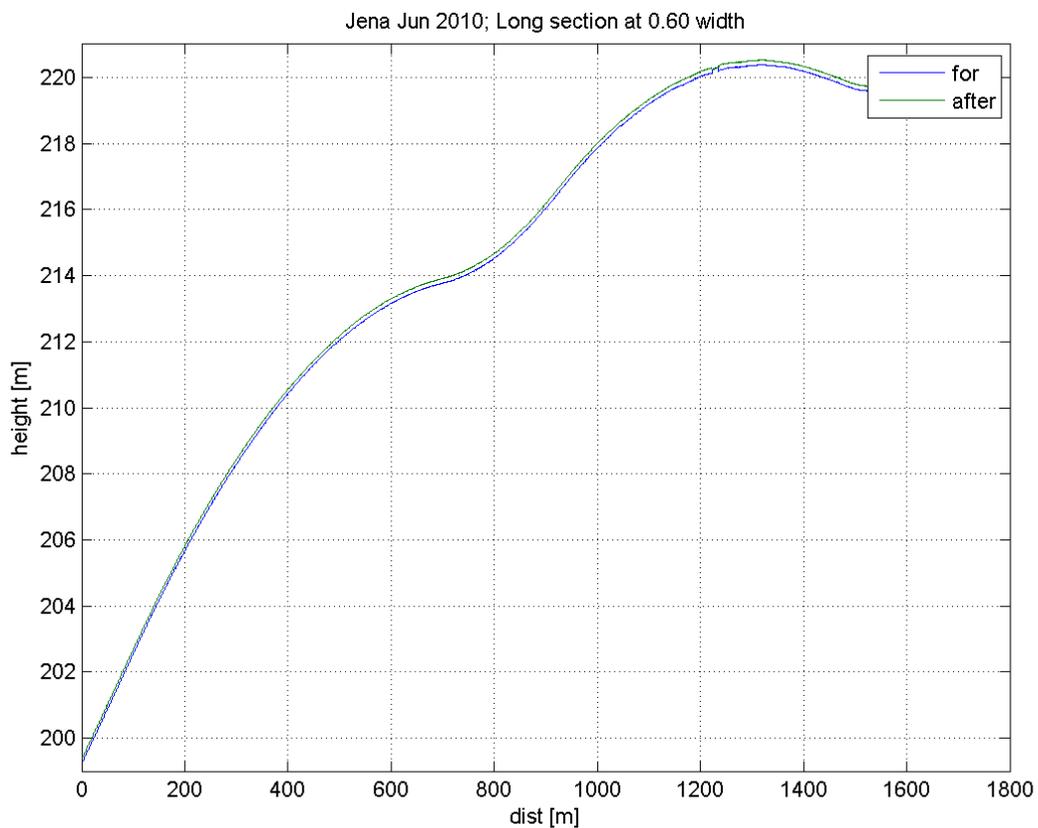


Abb. 56: Höhenprofil

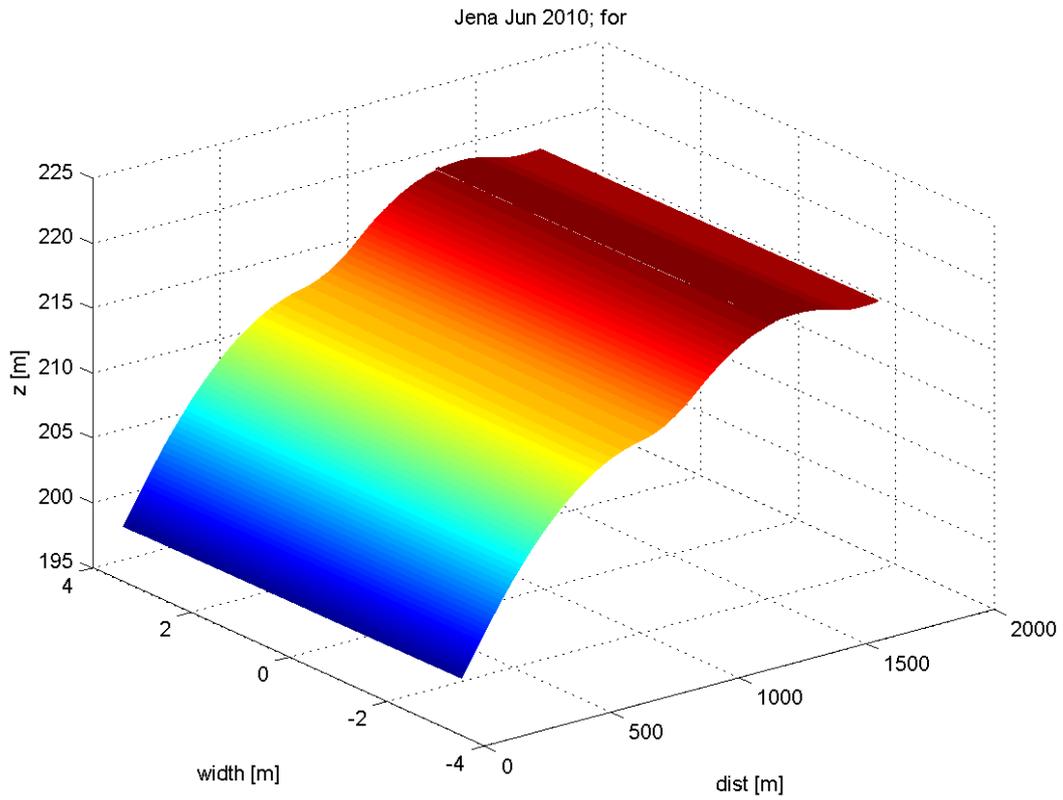


Abb. 57: Höhenprofil räumlich dargestellt

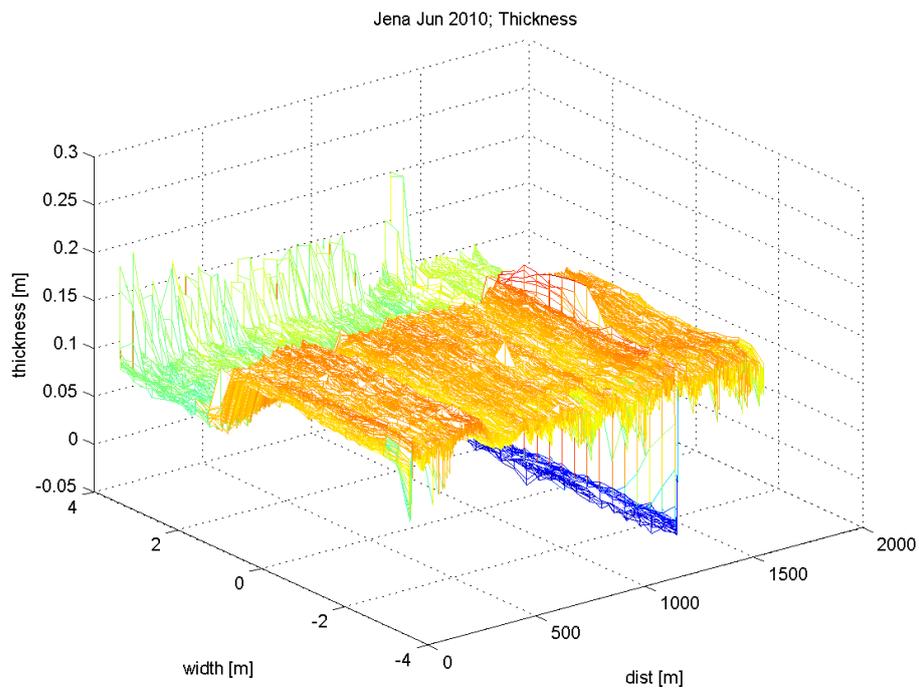


Abb. 58: Schichtdicken- Messwerte über Bohlenbreite und Wegstrecke

Abb. 59 zeigt die Darstellung der berechneten Schichtdickenwerte über die Bohlenbreite und die Wegstrecke. Hier wurden für die Messwertauswertung nur die Rohmesswerte zugrundegelegt. Glättungsfunktionen in Verbindung mit Bereichsbegrenzungen ergeben eine optimierte Darstellung der Messwerte.

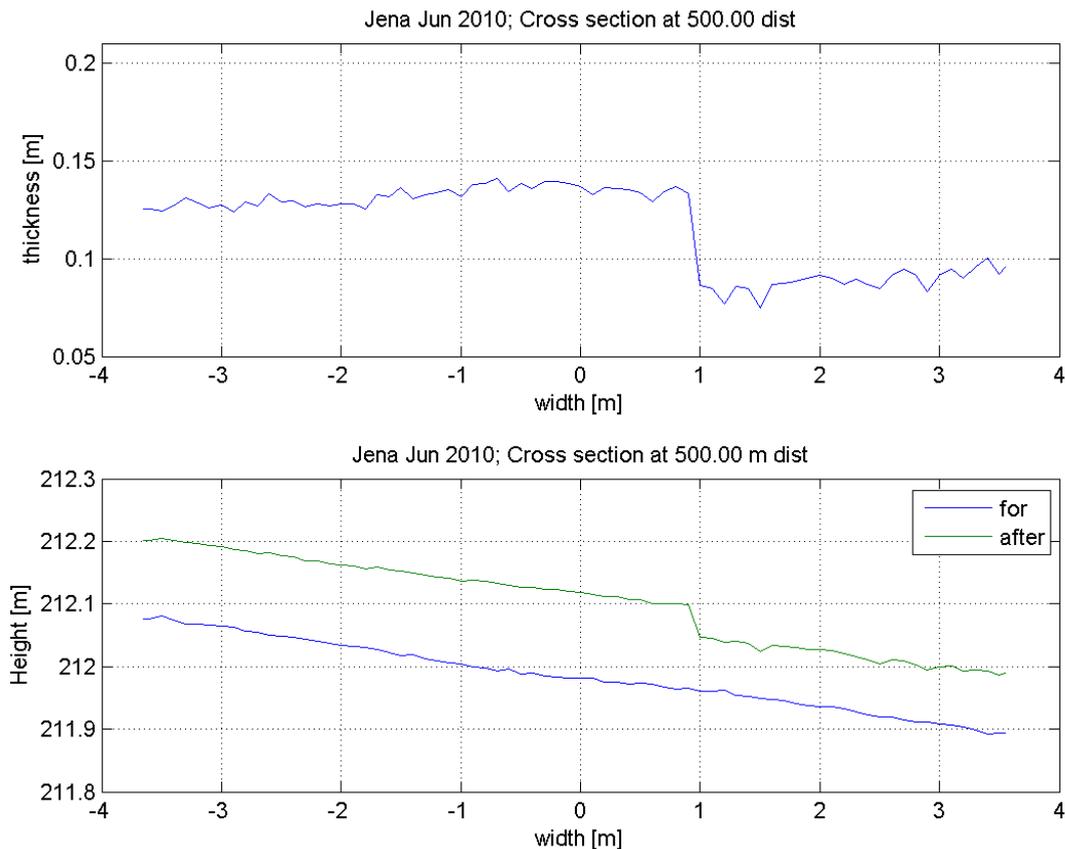


Abb. 59: Querprofil

Abb. 60 zeigt nochmals die Schichtdickenmesswerte im Querschnitt in Verbindung mit den absolut gemessenen Höhenwerten an.

9.2 Optimierungspotential

Filtereinstellung bzw. Filteralgorithmen bedürfen einer weiteren Optimierung. Dies gilt vor allem für die Messwertaufnahme. Ein entsprechender Vorfilter muss dafür

sorgen, dass nur Messwerte in die Berechnung einfließen, die einen hohen Korrelationsgrad mit den ermittelten Schichtdicken besitzen.

Weitere Anforderungen, die aus der Baustellenpraxis abgeleitet wurden:

- Der Binder darf nie durch das Deckenmaterial "drücken", es muss sichergestellt sein, dass die Decke immer $\geq 2\text{cm}$ trägt. (= Schichtdickenmessung der Decke)
- Wenn das Dachprofil der einzubauenden Straße geändert werden soll, so ist dabei immer auf die Schichtdicke der Decke zu achten. D.h. soll vom Dachprofil 0% auf ein pos. Dachprofil verstellt werden, so muss zuerst die Deckenbohle verstellt werden, erst danach darf die Binderbohle verstellt werden (theoretisch dürften beide Bohlen hier parallel mit der Verstellung beginnen können).
- Im umgekehrten Fall, bei der Dachprofilsteuerung zu kleineren Werten hin, muss zunächst die Binderbohle angesteuert werden, und die Deckenbohle darf erst dann mit der Verstellung beginnen, wenn die Maschine eine dem Abstand zw. Bohle 1 und Bohle 2 entsprechende Wegstrecke zurück gelegt hat.
- Die Eingabe des Zieldachprofils und die dazu benötigte Wegstrecke sollen nur an einer Bohle erfolgen, aber an beiden Bohlensystemen zur Verfügung stehen. D.h. hier müssten die beiden Bohlen mit einem bidirektionalen Gateway zusammen geschaltet werden.

Wird das Gateway von den beiden Bohlensystemen erkannt, ändert sich die Funktion der Dachprofilverstellung leicht. Wenn ein Dachprofil-Sollwert und ein dazugehöriger Wegwert an einem System eingegeben wird, sorgt das Gateway dafür, dass diese Information auch dem anderen Bohlensystem zur Verfügung stehen.

Auch den Start der Verstellung gibt das Gateway an das andere System weiter. Weiterhin muss der Abstand zwischen Bohle 1 und Bohle 2 beiden Systemen bekannt sein, damit die Decke bei kleiner werdenden Werten um diese Distanz verzögert beginnt.

Die nächsten Bilder zeigen zusätzlich Komponenten, die für die Schichtdickenmessung am Fertiger benötigt wurden.

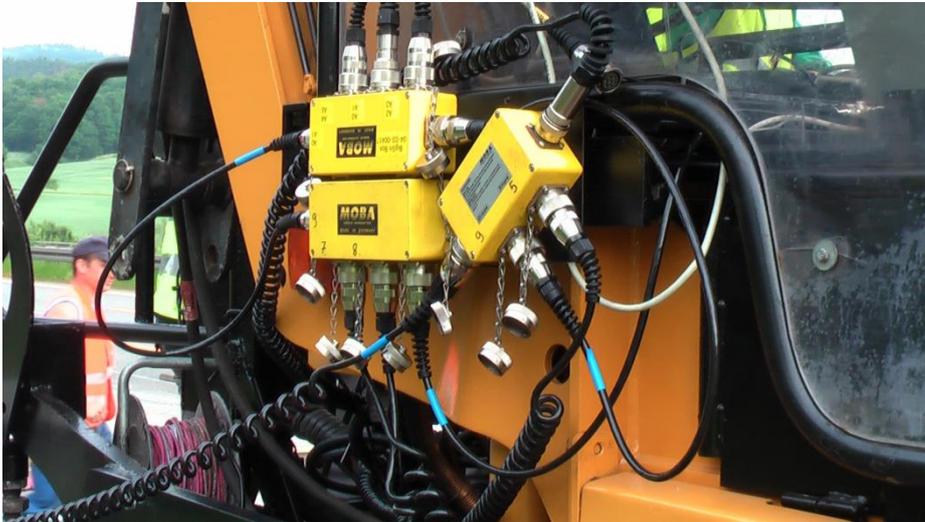


Abb. 60: Interfaceboxen für Schichtdickenmessung

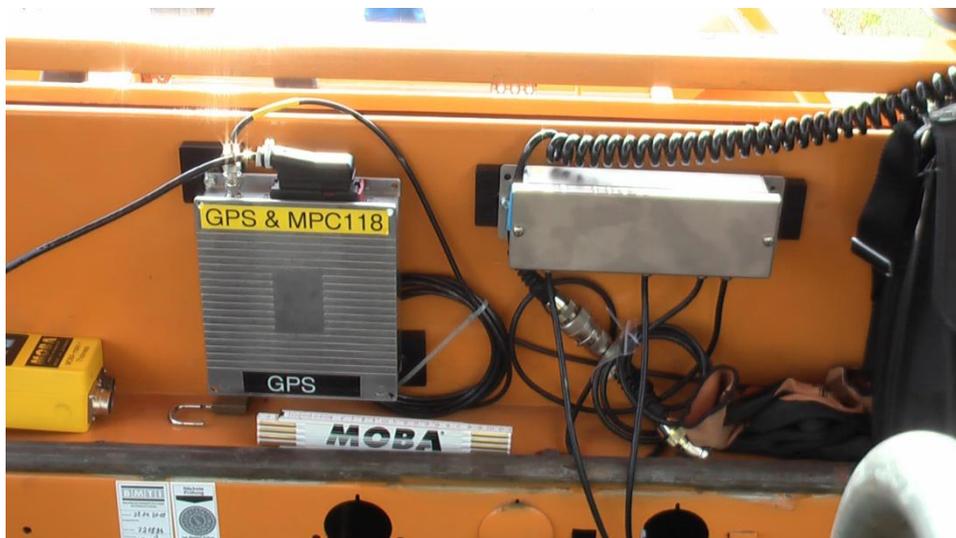


Abb. 61: Auswerteeinheiten für die Positionsbestimmung



Abb. 62: Zwei getrennte GPS – Antennen für Positionsbestimmung



Abb. 63: Wegrad zur Distanzberechnung



Abb. 64: Anzeige für die Schichtdickenmessung

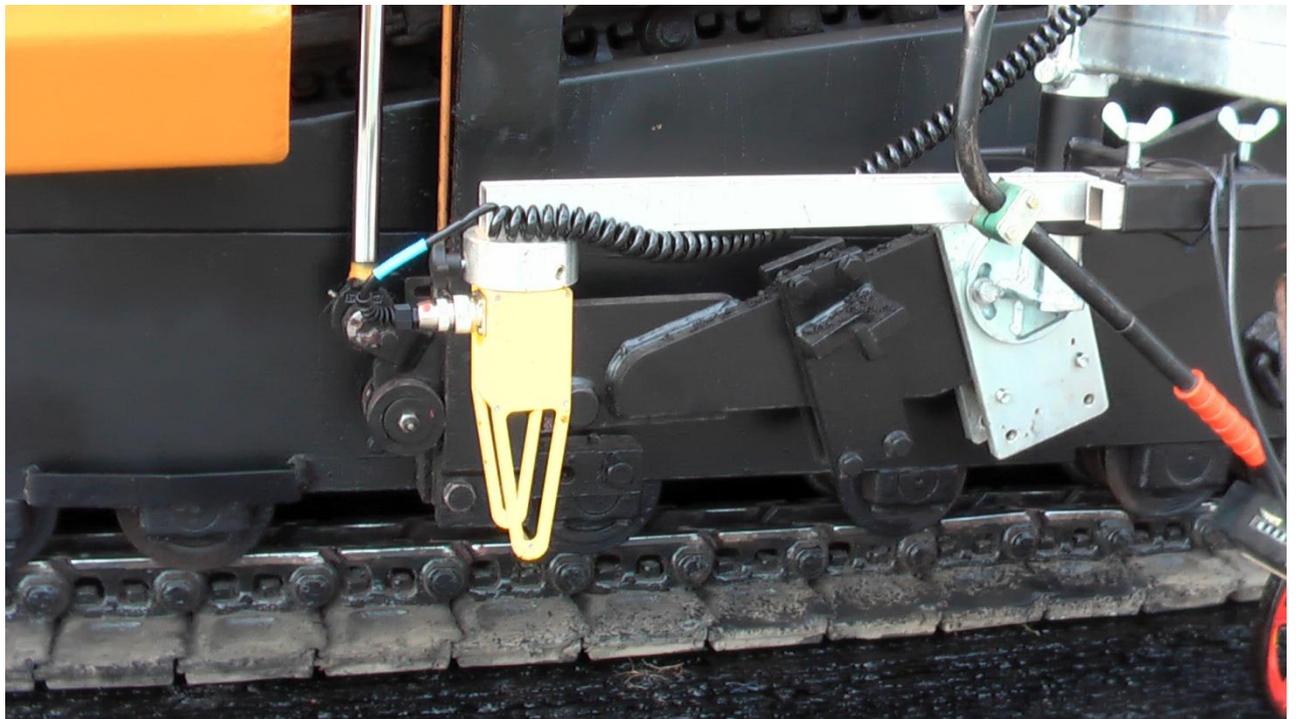


Abb. 65: Schichtdickensensor am Fertigerzugarm

Insgesamt wurden drei unterschiedliche Fertiger mit den Demonstratoren ausgerüstet. Die folgenden Blockschaltbilder (Abb. 67 bis 69) geben einen Überblick über die notwendigen Verdrahtungen sowie die gesamte Systemzusammenstellung.

9.3 Aufbau vom Compact- Asphaltfertiger AM300

Generell sind alle Demonstratoren über ein CAN- Bussystem miteinander derart verbunden, dass die Messwertdaten an eine zentrale Datenkommunikationsstelle (WINCE- Rechner) angekoppelt sind.

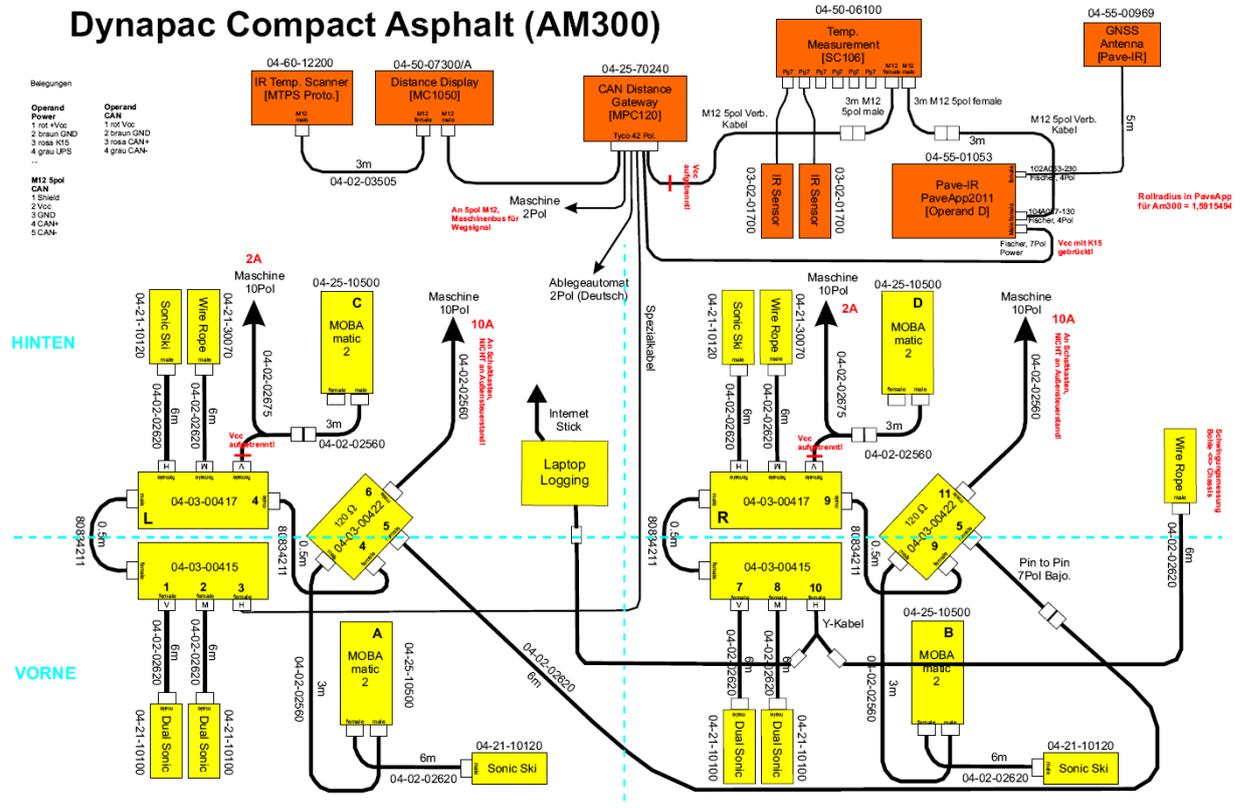


Abb. 66: Dynapac Kompaktasphaltfertiger Systemaufbau der Demonstratoren

Der Fertiger ist mit folgenden Messsystemen (Demonstratoren) bestückt:

- GPS für exakte Positionsbestimmung
- Schichtdickenmessung
- Materialsteuerung
- Nivelliereinheit
- Kommunikationseinheit zur Maschine
- Kommunikationseinheit zur Ankopplung ans Internet
- Temperaturmessung im Paver
- Temperaturscanner hinter dem Fertiger

9.5 Die Ausrüstung vom Straßenfertiger CM250

Dynapac Compact Asphalt (CM2500)

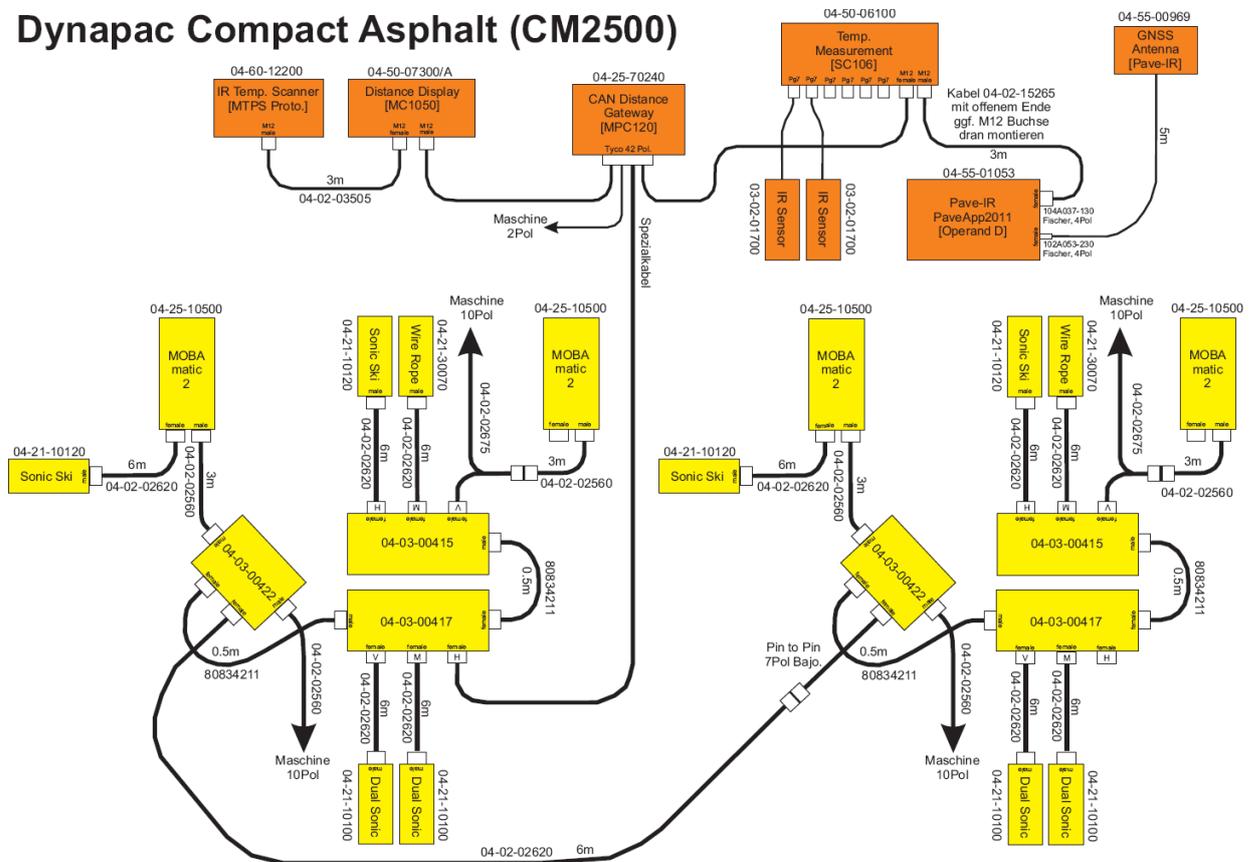


Abb. 68: Kompaktasphaltfertiger CM2500 Systemaufbau der Demonstratoren

Der Fertiger ist mit folgenden Messsystemen (Demonstratoren) bestückt:

- GPS für exakte Positionsbestimmung
- Schichtdickenmessung
- Materialsteuerung
- Nivelliereinheit
- Kommunikationseinheit zur Maschine
- Kommunikationseinheit zur Ankopplung ans Internet
- Temperaturmessung im Paver
- Temperaturscanner hinter dem Fertiger

Die Abb. 69 soll quasi mit Hilfe von zwei Betrachtungsebenen die Kommunikationsstruktur in der Maschine und gleichzeitig das Kommunikationsprinzip maschinenübergreifend verdeutlichen.

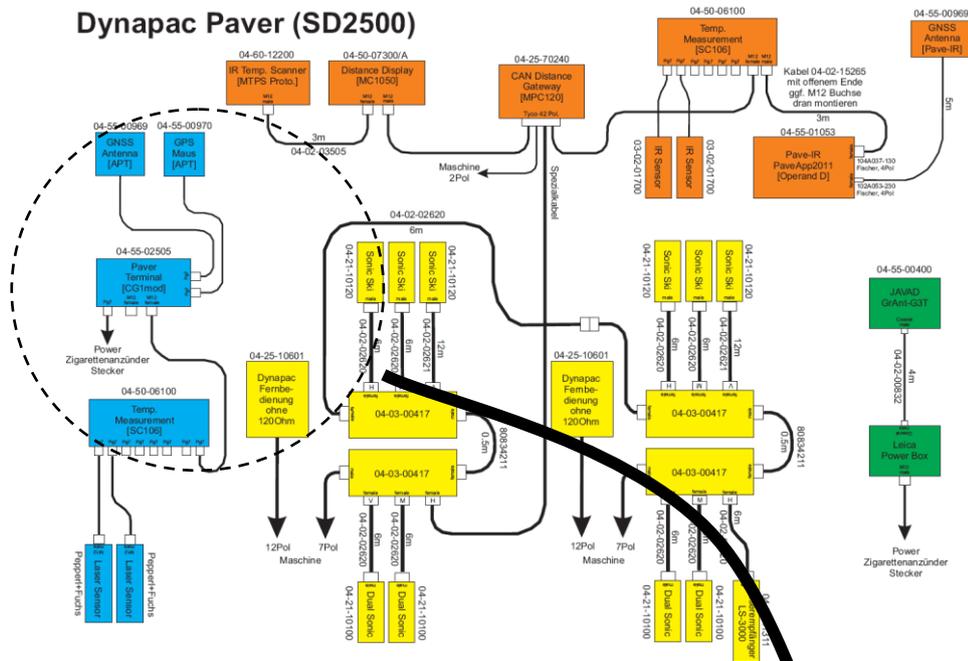
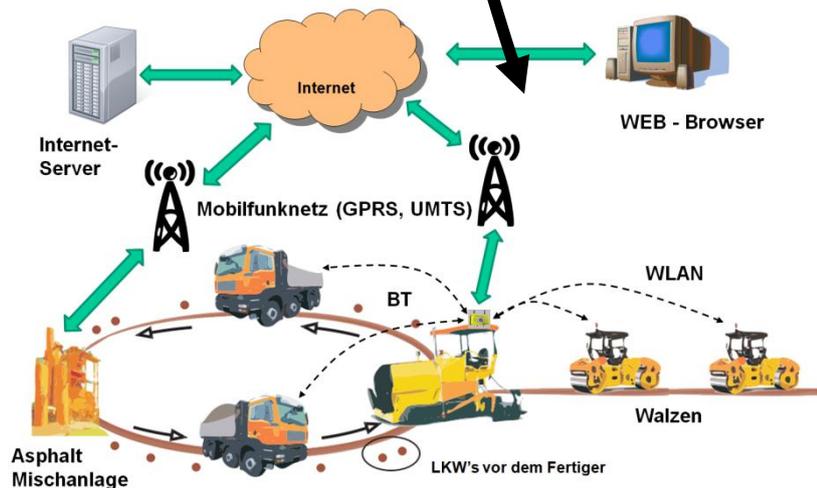


Abb. 69: Kommunikation eingebettet im Systemaufbau



9.6 Die Temperaturmessung mittels Infrarotscanner

Der Temperaturscanner wurde für den Baustelleneinsatz in Berlin nochmals überarbeitet. Die wesentlichen Verbesserungspunkte liegen zum einen in der Optimierung vom Scan- Antrieb und zum Anderen wurde die Auswertung der Signale weiter verbessert. Der eigentliche Messkopf konnte man verkleinern und die Auswerteelektronik wurde im Gehäuse integriert. Die folgenden Bilder illustrieren den Infrarotscanner im praktischen Einsatz auf der Baustelle.



Abb. 70: Montage IR- Temperatur- Scanner

Die Abb. 71 zeigt die Auswertung und Visualisierung der Messdaten am Rechner mit entsprechender Histogrammdarstellung für die Temperaturverteilung. Das hierfür verwendete Programm wurde eigens für die Auswertung der Daten im Onlinebetrieb entwickelt.

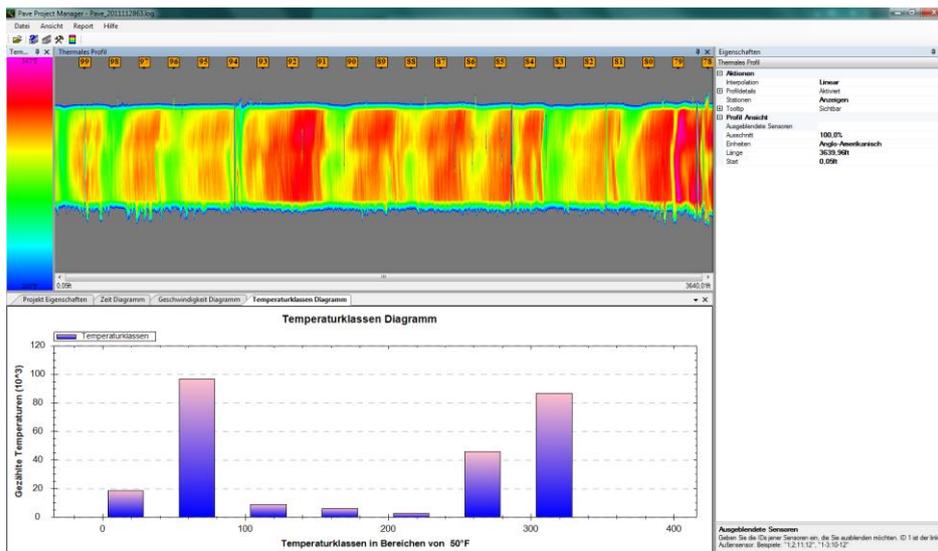


Abb. 71: Temperatur - Histogramm

Neben der Auswertung im Rechner wurden auch zahlreiche Temperaturkurven im Förderbereich des Fertigers aufgezeichnet. Abb. 72 zeigt insbesondere den Temperaturverlauf bei häufigem Fahrunterbrechungen vom Fertiger. Deutlich zu erkennen ist das Absinken der Materialtemperatur im Stillstand. Die Materialabkühlung führt letztendlich auch dazu, dass beim erneuten Anfahren vom Fertiger sich ein Einschwingverhalten einstellt. Genau an diesem Punkt lassen sich für die Zukunft noch weitere Verbesserungen mit Hilfe der hier verwendeten Messtechnik erzielen.

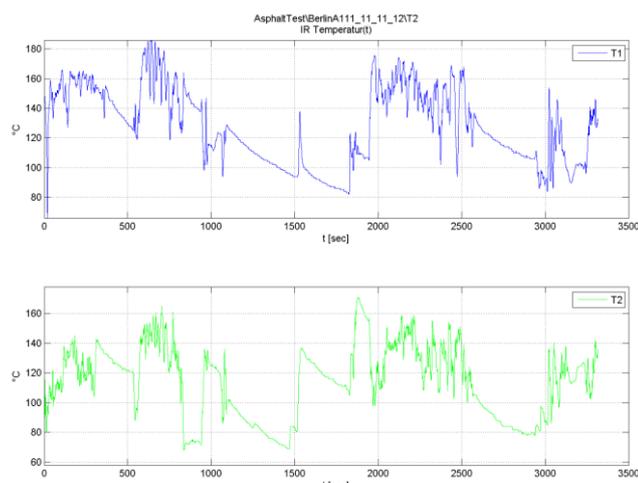


Abb. 72: Temperaturverlauf bei Stillstand

weiter zu verfolgen. Um eine effiziente Ermittlung der Kerntemperatur zu ermöglichen müssen folgende Prozessparameter zur Verfügung stehen:

- Anfangstemperatur
- Startzeitpunkt
- Umgebungstemperatur
- Sonneneinstrahlung
- Windgeschwindigkeit

Die Berechnung anhand eines Abkühlungsmodells wird in Heft 58 Uni Karlsruhe beschrieben. In dem untenstehenden Diagramm (Abb. 74) sind nochmals die Temperaturverläufe dargestellt und die dazugehörige mathematische Beziehung zur Berechnung der Kerntemperatur.

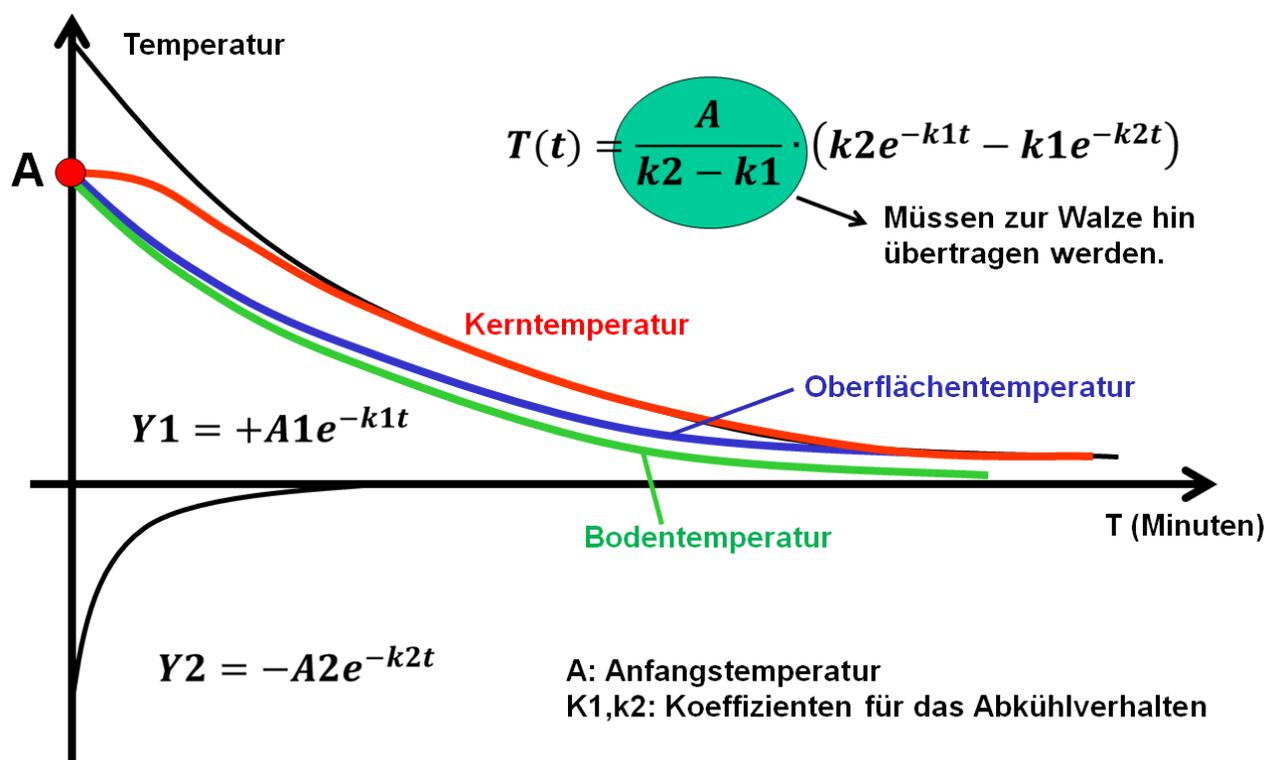


Abb. 74: Rechenmodell für die Asphalt Kerntemperatur

Die Faktoren k_1 und k_2 stehen im direkten Zusammenhang mit den auf der Baustelle vorhandenen aktuellen Umweltbedingungen. Insbesondere sind dies:

- Lufttemperatur
- Bodentemperatur
- Windstärke
- Sonneneinstrahlung

Um die Faktoren genauer zu bestimmen müssen noch weitere Temperaturmessungen bei unterschiedlichen Umweltbedingungen durchgeführt werden. Der nächste Baustelleneinsatz (geplant im Oktober) soll daher auch weitere Messergebnisse liefern, die nach entsprechender Auswertung für die Ermittlung der Temperaturkoeffizienten benutzt werden können.

9.6.1 Testdaten der Teststrecke

Für Tests auf der MOBA- Teststrecke wurde auf einem Wagen ein Windows CE Rechner aufgebaut. Auf diesem Rechner lief RTKRcv, wobei die Rohdaten der GNSS-Empfänger aufgezeichnet wurden. Anschließend fand die Positionsbestimmung unter Einbeziehung von Referenzdaten statt.

Der Aufbau des Testsystems ist in Abb. 75 zu sehen. Die Rohdaten und die errechnete Position des GPS-Receiver werden über eine serielle Schnittstelle an den Windows CE Rechner (Operand D) übertragen. Die Korrekturen der Basisstation werden von dem Funkmodem empfangen und auf den GPS-Receiver und den Operand D aufgeteilt, damit RTKRcv und der GPS-Receiver die gleichen Korrekturen nutzen können.

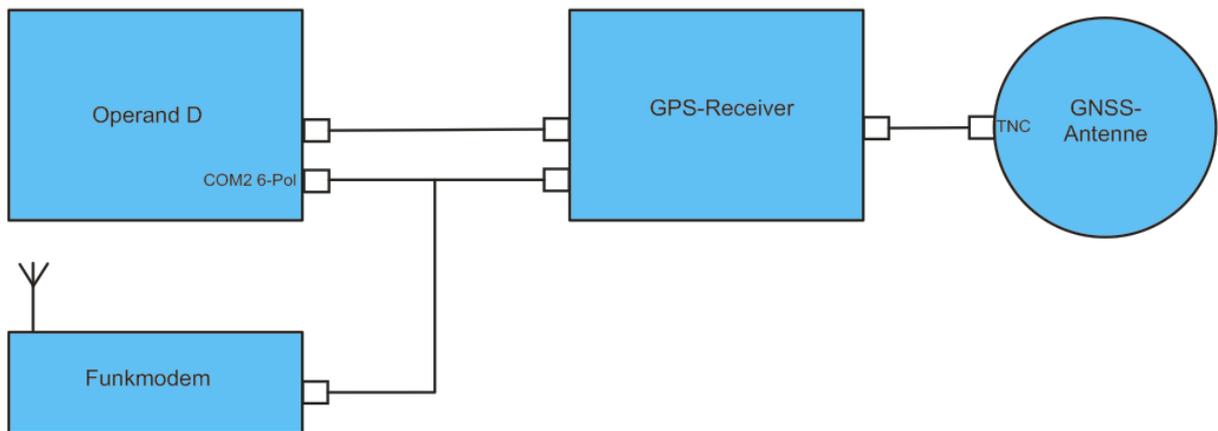


Abb. 75: Aufbau GNSS- System

Mit diesem Aufbau wurden zwei kommerzielle Receiver getestet. Der Javad4 Sigma mit der Javad G3T Antenne und von NovAtel5 die SmartAG. Bei der SmartAG sind der Einfrequenz-GPS-Receiver und die Antenne in einem Gehäuse verbaut.

Weiterhin wurde mit der Kalman – Filtertechnik versucht die Positionsgenauigkeit zu erhöhen. Hierzu sollen nochmals einige Optimierungseinstellungen dargestellt werden.

9.7 Optimierung über die Geschwindigkeit

Parametername		Original	Test1
DefaultEKFObserve_R_GPS	Def_R_GPS	0.09	0.018
DefaultEKFObserve_R_Velocity	Def_R_Velocity	0.0001	0.0001
EKFProcessNoise_WQW[0]	Def_Q_GPS	0.0625	0.0625
EKFProcessNoise_WQW[1]	Def_Q_GPS	0.0625	0.0625
EKFProcessNoise_WQW[2]	Def_Q_Velocity	0.00025;	0.0625

EKFProcessNoise_WQW[3]	Def_Q_Phi	0.000625;	0.05
------------------------	-----------	-----------	------

Bei diesem Versuch wurde ein Stopp mitten in der Kurve initiiert, und nach einer Verweilzeit von ca. 2 Minuten die Fahrt fortgeführt. Dieser Versuch sollte überprüfen, ob die verwendeten Filtertechnologien (Kalman-Filter) auch korrekt eingestellt sind.

Die Ergebnisse nach der Optimierung zeigt Abb. 76

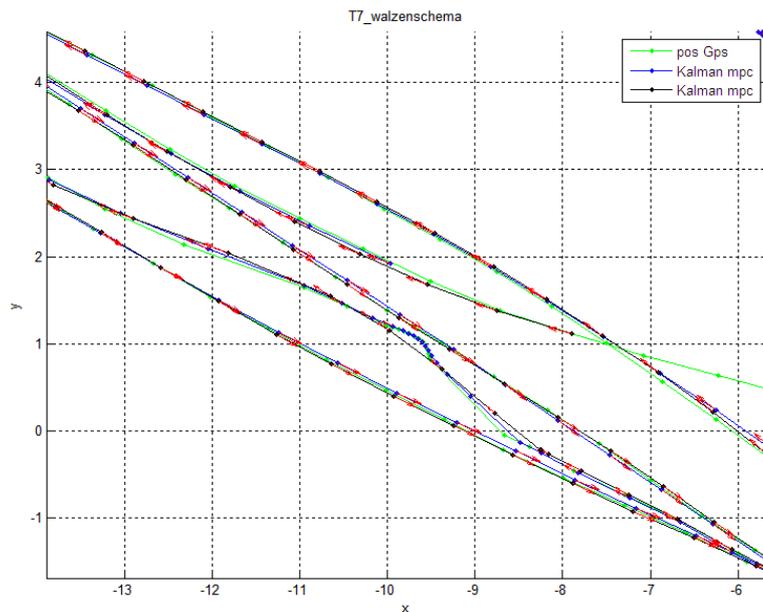


Abb. 76: Ergebnisse nach Optimierung

9.7.1 Geradeausfahrt mit Spurwechsel

Bei diesem Versuch sollte die Reproduzierbarkeit der Überfahrten für eine Bestimmte Spur überprüft werden. Das untenstehende zeigt die eingestellten Optimierungsparameter.

9.7.2 Kalmanfilter Vergleich mit unterschiedlichen Kovarianzen

Parametername		Original	Test1
DefaultEKFObserve_R_GPS	Def_R_GPS	0.09	0.09

DefaultEKFObserve_R_Velocity	Def_R_Velocity	0.0001	0.0001
EKFProcessNoise_WQW[0]	Def_Q_GPS	0.0625	0.0625
EKFProcessNoise_WQW[1]	Def_Q_GPS	0.0625	0.0625
EKFProcessNoise_WQW[2]	Def_Q_Velocity	0.00025;	0.0625
EKFProcessNoise_WQW[3]	Def_Q_Phi	0.000625;	0.05

Die aufgezeichneten Ergebnisse der geradeausfahrt mit Spurwechsel zeigt Abb. 77.

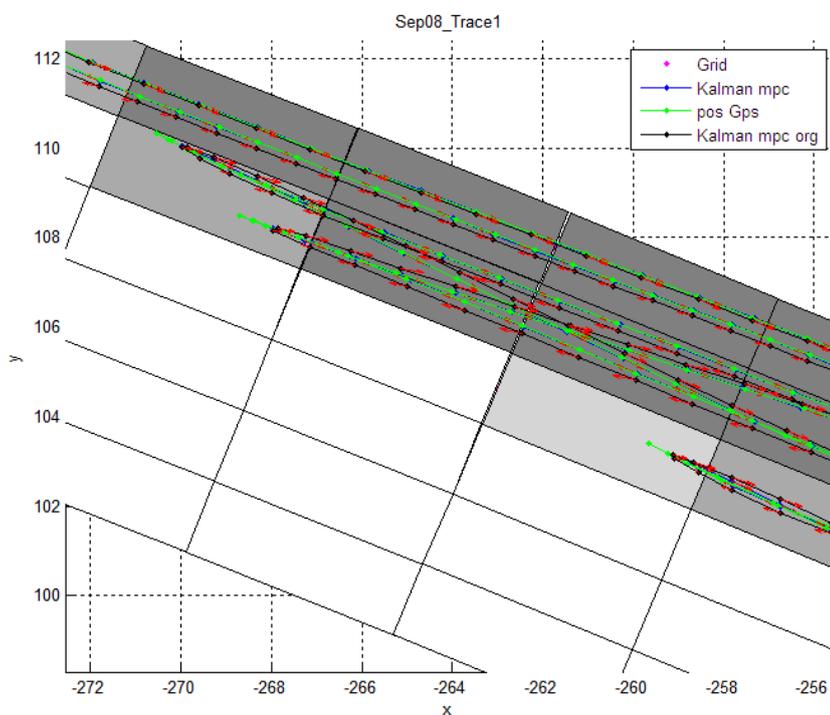


Abb. 77: Ergebnisse mit Spurwechsel

9.7.3 Auswertung der Positionsmessdaten beim Walzensystem

Die aufgezeichneten Positionsmessdaten sollen einen Aufschluss darüber geben, in wie weit die Zuhilfenahme von Lenkwinkel und Fahrgeschwindigkeit die Positioniergenauigkeit einer Walze erhöhen kann. Die Einbindung der zusätzlichen Informationen erfolgt über einen speziell für diese Anwendung entwickelten Kalman-Filter. Die einzelnen Funktionen, die für die Positionsermittlung bzw. die Erhöhung der Positioniergenauigkeit verantwortlich sind wurden in der Praxis auf einer realen Baustelle ausgetestet. Dazu wurden die Daten in verschiedenen Situationen aufgezeichnet und getrennt betrachtet.

Die folgenden Abbildungen zeigen die unterschiedlichen Testfälle. In der Abb. 78 ist die gesamt Teststrecke dargestellt.

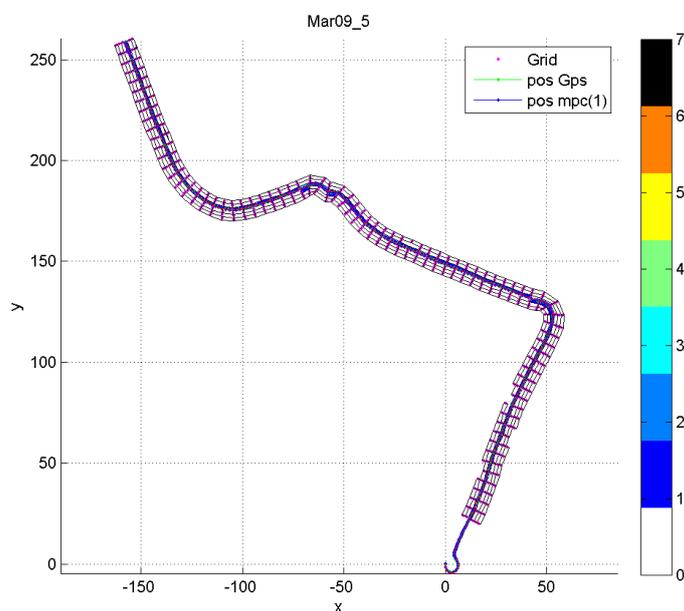


Abb. 78: Aufzeichnung der GPS- Positionen an der Teststrecke

Die Abb. 79 zeigt die Auswertung der Positionsdaten für Kurvenfahrten.

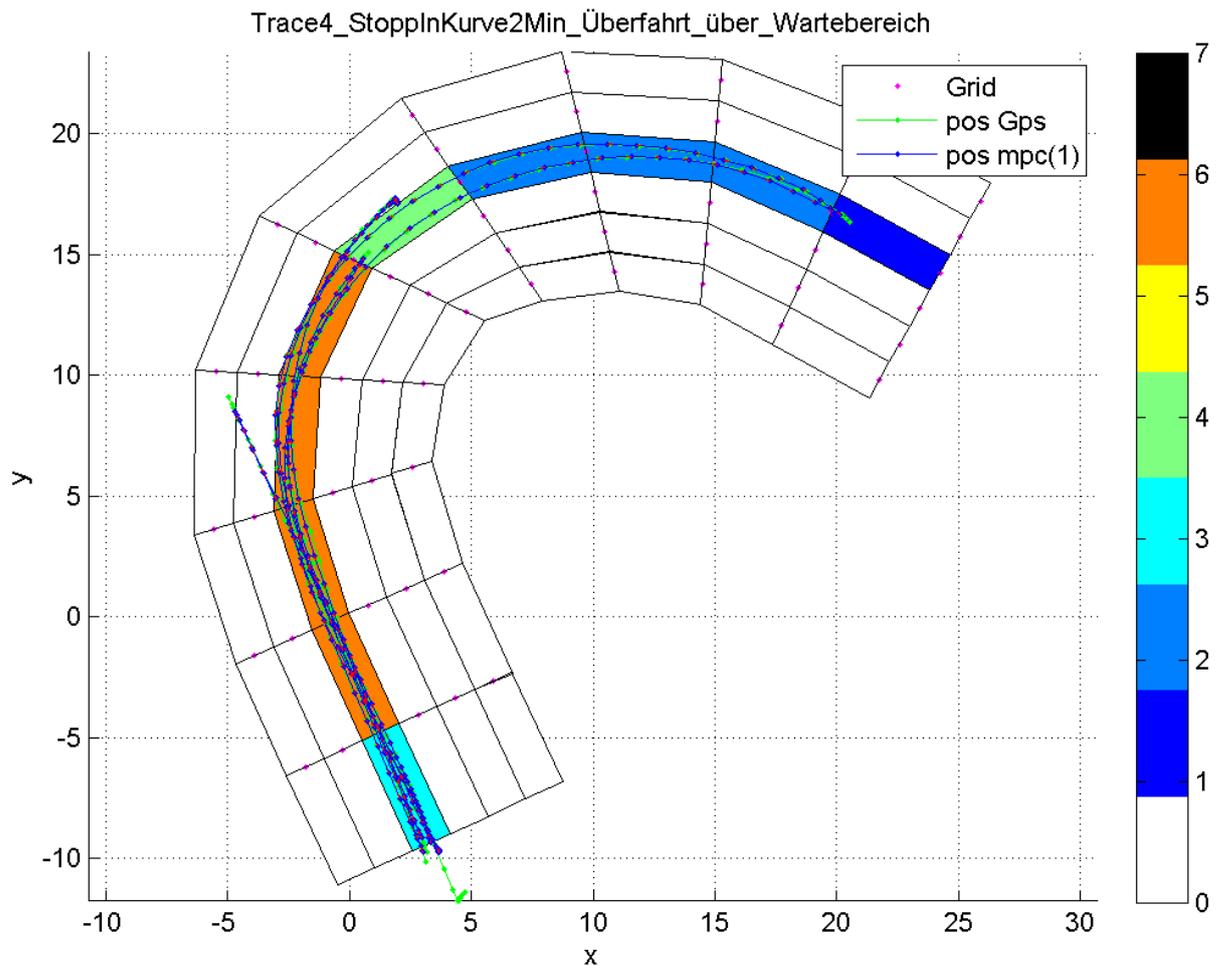


Abb. 79: Aufzeichnung der GPS- Positionen in der Kurve

Bei diesem Versuch wurde ein Stopp mitten in der Kurve initiiert, und nach einer Verweilzeit von ca. 2 Minuten die Fahrt fortgeführt. Dieser Versuch sollte überprüfen, ob die verwendeten Filtertechnologien (Kalman- Filter) auch korrekt eingestellt sind.

Abschließend kann man feststellen, dass alle Demonstratoren an den beiden Testbaustellen zum Einsatz kamen und zum großen Teil erfolgreich in der Anwendungen betrieben werden konnten. Im folgenden sollen nun die Demonstratoren dargestellt werden, wo eine Weiterentwicklung stattfindet.

10 Entwicklungsschwerpunkte ausgehend von PAST

Ausgehend vom Forschungsprojekt PAST wird MOBA eine Reihe von Demonstratoren, die während den Forschungsarbeiten entstanden sind, weiter entwickeln und vermarkten. Eines der wesentlichen und wichtigsten Erkenntnisse vom PAST-Projekt ist, dass es in keinster Weise genügt einen einzelnen Prozess zu optimieren. Vielmehr muss man den gesamten Prozess informationstechnisch zusammenschalten, um dann kontinuierlich die einzelnen Schwachstellen durch entsprechende Messtechnik und Regelungstechnik verbessern.

Insbesondere die Temperaturmessung entlang der gesamten Prozesskette, sowie die Systemintegration von Demonstratoren direkt in den Fertiger (z. B. Schichtdickenmessung) werden Schwerpunkte für zukünftige Entwicklungen im Hause MOBA sein.

Im Folgenden sollen nun die Demonstratoren aufgezeigt werden, wo eine Weiterentwicklung und eine geplante Markteinführung für die Bauma in 2013 vorgesehen ist. Abb. 80 zeigt die Entwicklungsschwerpunkte im Überblick.

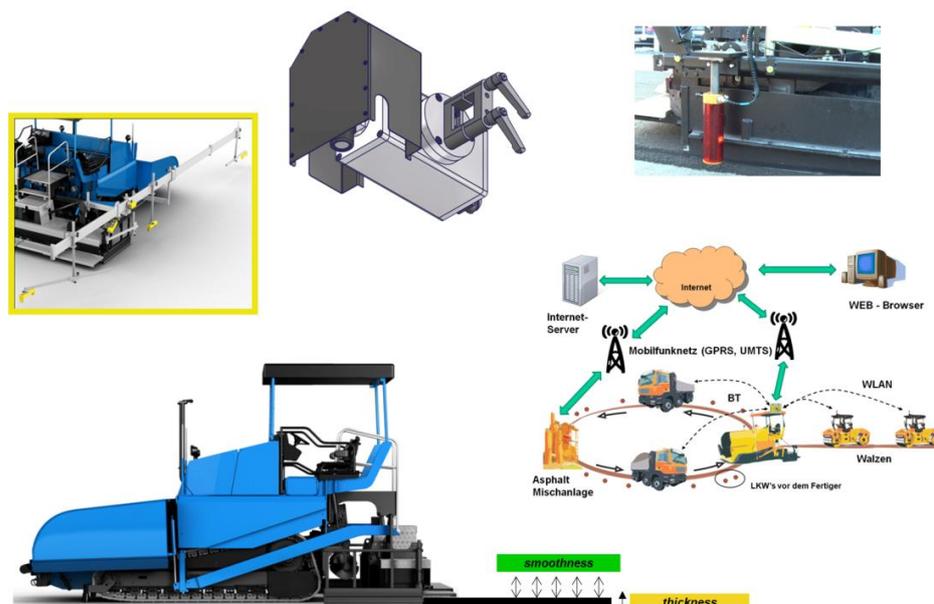


Abb. 80: Weiterentwicklungen am Fertiger

10.1 Der Temperaturscanner

Der Temperaturscanner tastet die Temperatur kontaktlos hinter der Bohle ab, und liefert damit die tatsächlich erreichte Einbautemperatur. Diese Temperatur wird dann zu Dokumentationszwecken auf einen Rechner übertragen, der schon in der Lage ist, vor Ort entsprechende Auswertungen zu liefern.

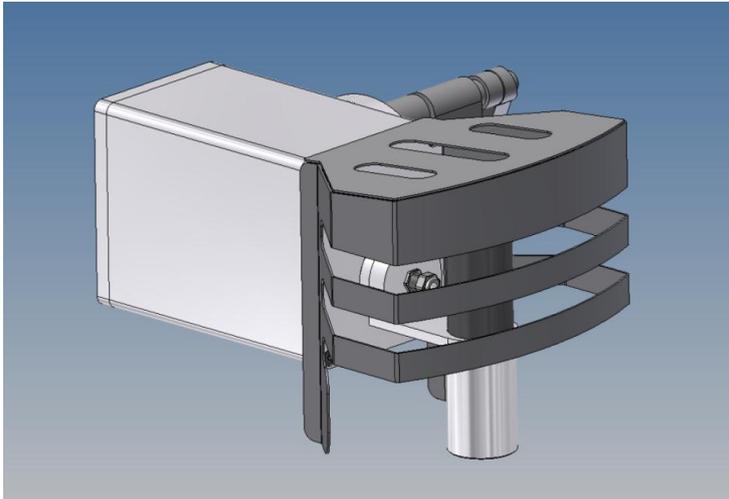


Abb. 81: Aktueller Aufbau vom Temperaturscanner

Der Temperaturscanner ermittelt bei einem Temperaturscan von einer Sekunde über die gesamte Bohlenbreite etwa 100 Messpunkte. Abb. 82 stellt die einzelnen Messpunkte in einer Punktmatrix dar.

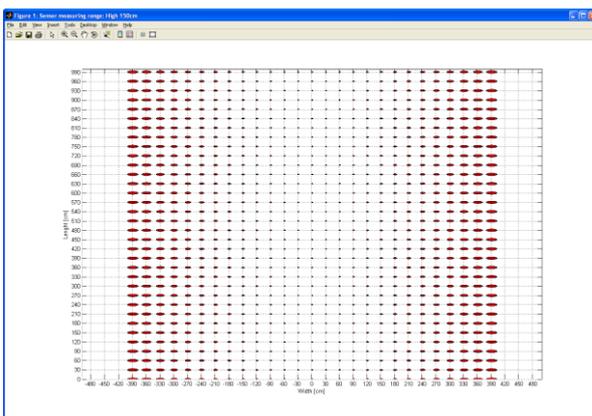


Abb. 82: Punktdiagramm vom Temperatur-Scanner

Ziel ist es, eine flächendeckende Asphalttemperaturmessung anbieten zu können. Das Messsystem selbst soll hinter dem Fertiger montierbar sein und direkt die Einbautemperatur aufzeichnen.

10.2 Die Schichtdickenmessung

Generell muss zwischen der Schichtdickenmessung am Kompaktasphaltfertiger und der Schichtdickenmessung am Standard-Straßenfertiger unterschieden werden, wobei die Entwicklung für den Standard-Straßenfertiger aus markttechnischen Gründen Vorrang besitzt. Für den Kompaktasphaltfertiger wird der Demonstrator weiter zusammen mit der Fa. Kirchner und der Fa. Dynapac betreut und weiterentwickelt.



Abb. 83: Sensoren für Schichtdickenmessung

In Abb. 83 sehen wir die montierte Sensorik am Zugarm der Bohle. Die Sensorinformationen werden einem übergeordneten Rechnersystem übertragen und hier zur Anzeige gebracht.

Die Schichtdickenmessung wird von der Fa. MOBA durch hinzufügen von weiteren Sensoren weiter verbessert werden. Ziel ist es, bis zur nächsten Bauma(2013) ein verkaufsfähiges Messsystem vorzustellen.

10.3 Systemintegration in den Fertiger

Die Integration der Demonstratoren steht an erster Stelle bei der weiteren Entwicklung. Zusammen mit der Fa. Dynapac werden die hier aufgeführten Demonstratoren in die Maschine schrittweise integriert. An erster Stelle steht dabei die Schichtdickenmessung und die Temperaturmessung an verschiedenen Stellen im Straßenfertiger. Die Abb. 84 zeigt nochmals den grundsätzlichen Systemaufbau.

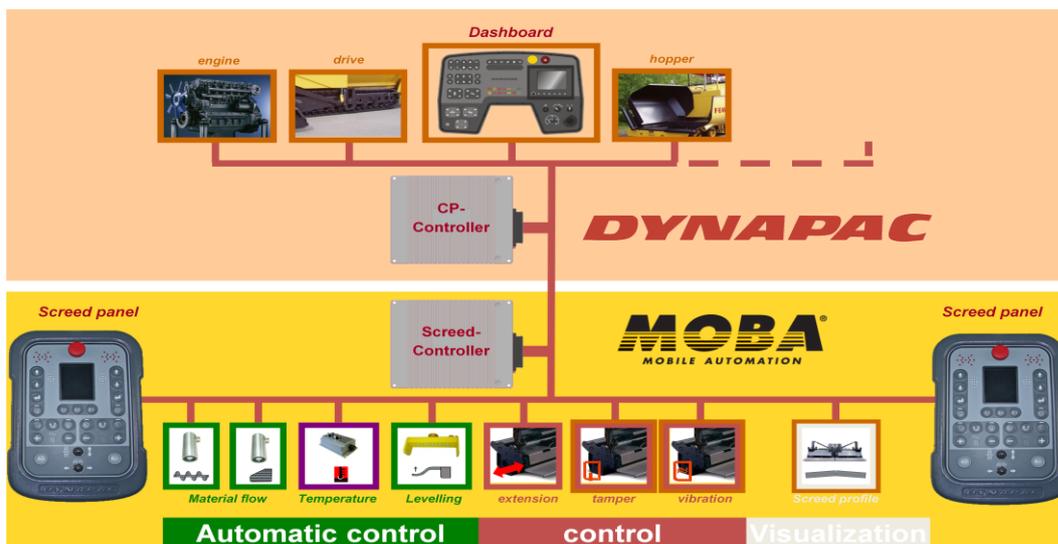


Abb. 84: Systemaufbau vom Dynapac Fertiger

Die grundsätzliche Überlegung geht davon aus, dass die zusätzlichen Funktionen softwaremäßig in den entsprechenden Prozessrechnern zu implementieren sind. Zu den jeweiligen Funktionen gehören Sensoren, die in der Regel über eine CAN-Schnittstelle verfügen und schon eine Signalvorverarbeitung bereitstellen, damit der zugehörige Prozessrechner nicht mit Filteralgorithmen überlastet wird.

Die Integration von Funktionen in den Straßenfertiger ist eine generelle Tendenz bei den Herstellern. Die Fa. MOBA wird ihre Entwicklungsaktivitäten diesem Trend entsprechend ausrichten.

10.4 Integration in MM2

Durch den modularen Systemaufbau kann die MOBA-matic II (das Standard-Nivelliersystem der Fa. MOBA) mit den verschiedensten Sensoren kombiniert und so jederzeit an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden.

Für die Zukunft ist es geplant, die MOBA-matic II konsequent mit weiteren Funktionen, die die Qualität vom Einbauprozess ermitteln, zu erweitern.

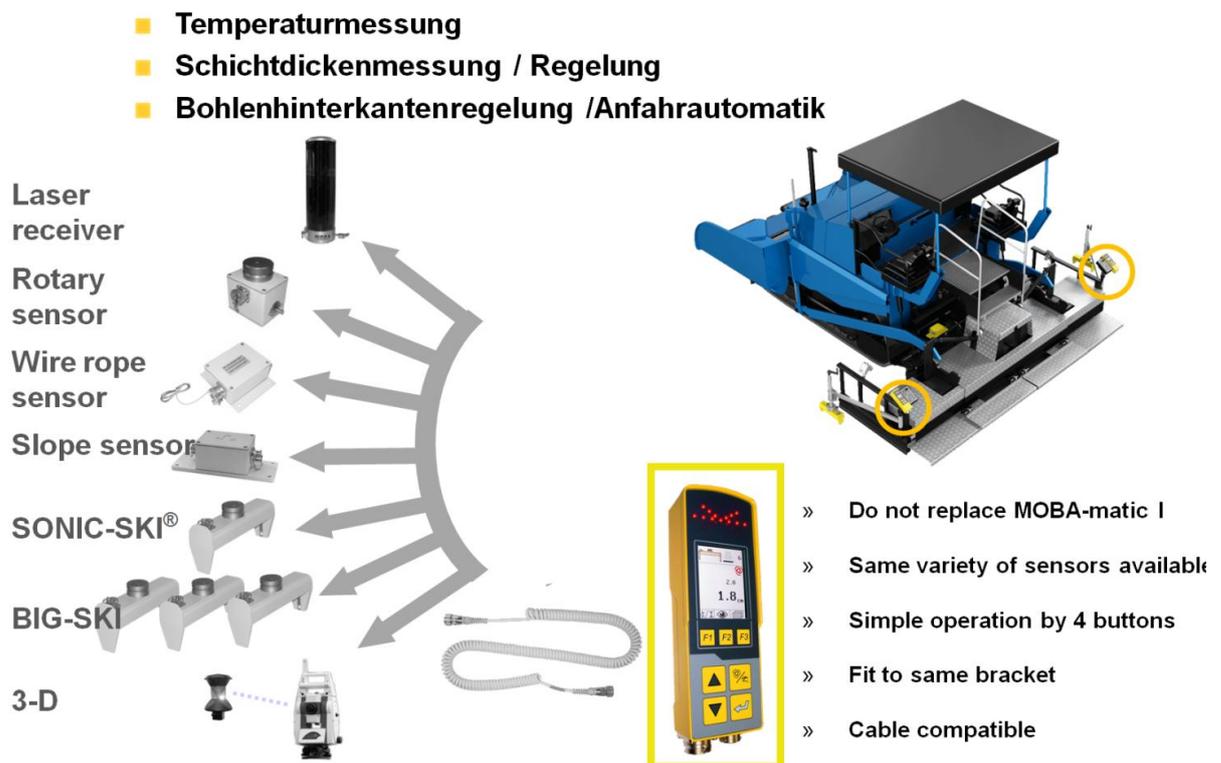


Abb. 85: MOBA matic Sensor - Anschlussmöglichkeiten

10.6 Kommunikation

Die Fa. MOBA wird die Kommunikation entlang der Prozesskette über folgende Kommunikationsdienste konsequent ausbauen:

- WLAN
- BT
- Internet

Der prinzipielle Aufbau ist nochmals in Abb. 87 dargestellt.

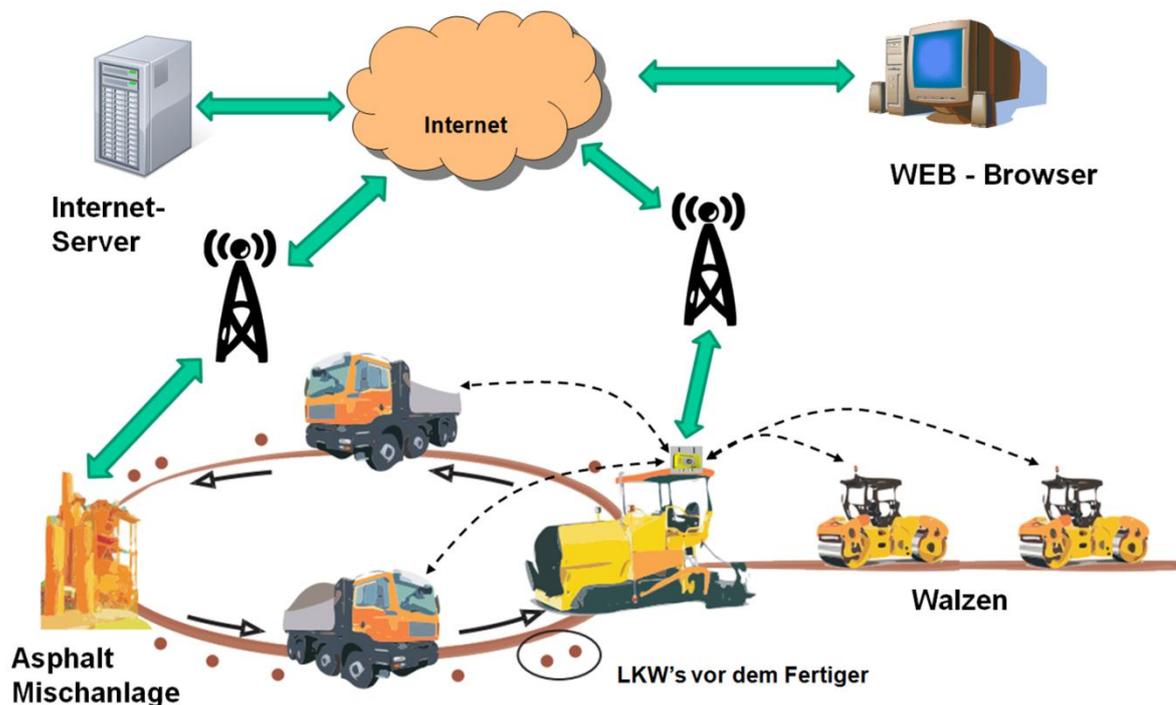


Abb. 87: Übersicht Kommunikation im Internet

Die Kommunikations-Demonstratoren sind nach dem Test in Berlin im Nov. 2011 weiter auf unterschiedlichen Fertignern im Einsatz. Zusammen mit der englischen Firma BARDON (große Straßenbaufirma) wurde beschlossen, ein Kommunikationssystem am Fertiger aufzubauen, was eine flexible und modulare Ankopplung von Messsystemen zur Aufnahme von Einbauparametern ermöglicht. Zusätzlich werden alle Daten auf einen firmeneigenen Server übertragen. Die Basis hierfür bilden die entstandenen Demonstratoren im PAST – Projekt.

11 Innovationen

Die wichtigsten Innovationen, die mit dem PAST- Projekt erzielt wurden, können grob in drei Kategorien aufgeteilt werden.

- Kommunikationstechnik
- Sensortechnik
- Verfahrenstechnik

11.1 Kommunikation

Die gesamte Datenkommunikation wurde so strukturiert, dass alle Informationen zu einer zentralen Kommunikationseinheit am Fertiger zusammenlaufen. Dies ist mit den lokalen Funksystemen BT und WLAN realisiert worden. Über eine Internetverbindung am Fertiger gehen die Daten dann weiter zu einem speziell für die Tests eingerichteten Server.

11.2 Sensortechnik

Alle zum Einsatz gebrachten Sensoren müssen den rauen Umgebungsbedingungen standhalten. Daher wurde auch insbesondere an den Ultraschallsensoren und Temperatursensoren Weiterentwicklungen durchgeführt, die einen Einsatz am Fertiger und an der Walze erst ermöglichten.

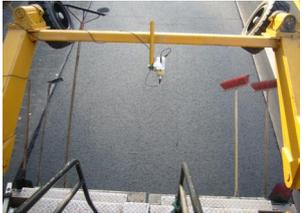
11.3 Verfahrenstechnik

Von der verfahrenstechnischen Seite gibt es hauptsächlich 3 Innovationsschwerpunkte zu nennen:

- Kontinuierliche Temperaturmessung hinter dem Fertiger mit Echtzeitdatenauswertung.
- Kontinuierliche Schichtdickenmessung mit Regelung
- Kontinuierliche Verdichtungsüberwachung mit Kerntemperaturanzeige

Alle drei genannten Verfahren sind bei der Fa. MOBA als Entwicklungsschwerpunkte definiert worden. In der folgenden Tabelle werden im Überblick nochmals die wesentlichen Innovationen dargestellt.

Nr.	Demonstrator		Innovation
2	LKW-Lademulde mit integrierter Temperaturmessung		Fest installierte Temperaturmesseinrichtung direkt am LKW.
4	Abstandsmessung Fertiger – LKW		Abstandsmessung wird dem LKW- Fahrer visualisiert für einen optimalen Andockprozess.
10	Mess- und Kommunikationseinrichtung zur Bestimmung der Schichtdicke (Fertiger)		Schichtdickenmessung am Kompaktasphalt- Fertiger zur Schichtdickensteuerung beiter Bohlen.
11	Nivellierungseinrichtung mit Schichtdickenregelung		Der Nivellieralgorithmus wurde mit der Schichtdickenregelung erstmalig verknüpft.
12	Anfahrautomatik für den Fertiger (Optimierung der Nivellierung beim Anfahren)		

<p>13</p>	<p>Temperaturmessung im Fertiger</p>		<p>Permanente Überwachung der Temperatur im Fertiger.</p>
<p>15</p>	<p>Belagsdicke und Asphalt-Kerntemperatur Walze</p>		<p>Die Asphaltkerntemperatur wurde erstmalig über ein Abkühlmodell ermittelt. Zusätzlich wurden der Verdichtungsfortschritt aufgezeichnet.</p>
<p>16</p>	<p>Temperaturmessung hinter der Bohle</p>		<p>Mittels kontinuierlicher Asphalt-Temperaturmessung hinter der Bohle konnte beim Einbauen ein Temperaturprofil erstellt werden.</p>
<p>17</p>	<p>Zentrale Kommunikationseinheit am Fertiger</p>		<p>Alle Messdaten wurden auf einen Internetserver geschrieben und standen hier für eine Weiterverarbeitung bereit. Eine erste temporäre WEB-Seite ist eingerichtet worden.</p>

12 Veröffentlichungen

Folgende Veröffentlichungen wurden von der Fa. MOBA zur Vorstellung vom PAST-Projekt genutzt:

- VDBUM – Tagung 2011 in Harsewinkel
- Präsentation an der Testbaustelle in Jena
- Präsentation an der Testbaustelle in Berlin
- FGSV Kolloquium 2012 in Kassel
- Präsentation bei verschiedenen OEM- Kunden
- Veröffentlichungen in der Bauzeitschrift Bauportal

Weitere Aktionen und Präsentationen sind geplant, unter anderem:

- Vorstellung von PAST auf der Bauma2013
- Präsentation von PAST beim VDMA
- Präsentationen bei Kunden
- Präsentationen bei Behörden
- Präsentationen in Europa (Schweden, Norwegen, Frankreich, Österreich ...)

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Prozesssicherer automatisierter Straßenbau (PAST) Projektpartner MOBA Mobile Automation AG	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Herr Dipl.-Ing. Alfons Horn Vorstand Entwicklung VP Engineering	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.01.2012
	6. Veröffentlichungsdatum 31.07.2012
	7. Form der Publikation Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) MOBA Mobile Automation AG Kapellenstraße 15 D-65555 Limburg	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 19S8003E
	11. Seitenzahl 125
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 19
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 90
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	

18. Kurzfassung

PAST steht für "Prozesssicherer automatisierter Straßenbau" und ist ein Verbundprojekt mit 8 Projektpartnern. Ziel von dem Projekt war es, den Einbauprozess von Asphalt im Straßenbau so zu optimieren, dass sowohl die Qualität, als auch die Effizienz beim Einbau verbessert wird. Vor allem wollte man die bekannten Schwachstellen, die hauptverantwortlich für Qualitätseinbußen waren, näher analysieren und mit Hilfe der Methoden der modernen Prozessautomation entsprechend reduzieren. Die wichtigsten Aufgaben der Fa. MOBA im Rahmen vom Projekt bestanden in der Untersuchung und Erprobung möglicher Kommunikationstechniken, sowie die Optimierung von Einzelprozessen entlang der gesamten Prozesskette. Die wesentlichen Fortschritte, die im Projekt erreicht wurden, können wie folgt kurz zusammengefasst werden:

- Durchgängige Temperaturkontrolle an allen Stellen der Prozesskette
- Schichtdickenmessung beim Standardfertiger
- Schichtdickenmessung beim Kompaktasphaltfertiger
- Neue Ansätze für die Ebenheitsmessung
- Positionierungssysteme für den Fertiger
- Optimierung der Mischgutlogistik im Fertiger
- Aufbau einer Kommunikationsstruktur über den gesamten Einbauprozess
- Applikationsbezogene Optimierung der Positionsbestimmung an der Walze

19. Schlagwörter

PAST, prozesssicherer Straßenbau, Straßenbau, Überwachung beim Einbau von Straßenbelägen

20. Verlag

21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title Prozesssicherer automatisierter Straßenbau (PAST) Projektpartner MOBA Mobile Automation AG	
4. author(s) (family name, first name(s)) Herr Dipl.-Ing. Alfons Horn Vorstand Entwicklung VP Engineering	5. end of project 31.01.2012
	6. publication date 31.07.2012
	7. form of publication Final Report
8. performing organization(s) (name, address) MOBA Mobile Automation AG Kapellenstraße 15 D-65555 Limburg	9. originator's report no.
	10. reference no. 19S8003E
	11. no. of pages 125
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	13. no. of references 19
	14. no. of tables 1
	15. no. of figures 90
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	

18. abstract

PAST stands for “Prozesssicherer automatisierter Straßenbau“ (Process-reliable automated road construction) and is a joint project with 8 project partners. The project aimed for optimizing the asphalt construction process to improve both, the quality as well as the efficiency. Above all, the known weak points, primarily responsible for quality loss, should be further analyzed and, using the methods of modern process automation, reduced accordingly. MOBA’s most important tasks regarding the project consisted in analyzing and testing possible communication techniques as well as optimizing single processes along the entire process chain. The essential progress achieved in the project can be summed up as follows:

- Permanent temperature control at every position of the process chain
- Layer size measuring for the standard paver
- Layer size measuring for the compact asphalt paver
- New approaches to flatness measuring
- Positioning systems for the paver
- Optimizing the paver’s mixture logistics
- Creating a communication structure along the entire paving process
- Application-relevant optimizing of the roll’s positioning

19. keywords

20. publisher

21. price