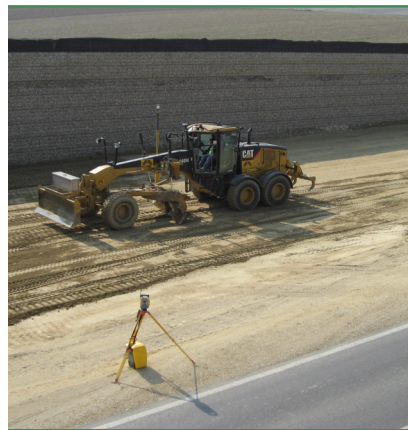


# MASTERARBEIT



## **EINSATZ VON GPS GESTEUERTEN BAUMASCHINEN IM ERD- UND STRAßENBAU**

Christoph Graggober, BSc

Vorgelegt am  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
Projektentwicklung und Projektmanagement

Betreuer  
Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Hofstadler

Mitbetreuender Assistent  
Dipl.-Ing. Wolfgang Lang

Graz, am 3. März 2011



## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen / Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

---

(Unterschrift)

## **STATUARY DECLARATION**

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz,

---

(signature)

## Danksagung

An dieser Stelle danke ich allen Personen, die mir während meiner Diplomarbeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Hofstadler und Herrn Dipl.-Ing. Wolfgang Lang.

Besonderer Dank gebührt meinen Eltern, die mir meine Ausbildung ermöglicht und mich die gesamte Zeit hindurch unterstützt haben.

Graz, am (Datum)

\_\_\_\_\_

## Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit dem Einsatz von Maschinensteuerung, im Speziellen dem Einsatz von GPS gestützten Steuerungssystemen im Erd- und Straßenbau.

Ausgehend von der Klärung der grundlegenden Tätigkeiten des Erd- und Straßenbaus, sowie der Arbeitsweise der zum Einsatz kommenden Baumaschinen wird der Einfluss von Maschinensteuerungssystemen auf den Baubetrieb erörtert. Ein Einblick in die Funktionsweise von Satellitennavigationssystemen und deren Ortungsmethoden soll hierbei zum besseren Verständnis der technischen Grundlagen beitragen.

Durch die Betrachtung von vorliegenden Produktivitätsstudien in denen Leistungsvergleiche zwischen GPS gesteuerten Baumaschinen und konventionell betriebenen Baumaschinen durchgeführt wurden, wird untersucht in welchen Bereichen, und insbesondere in welchem Ausmaß eine Steigerung der Leistung durch den Einsatz von GPS Steuerungssystemen erreicht wird.

Daraus wird ersichtlich, dass durch den Einsatz von GPS basierten Steuerungssystemen die Leistung von Baumaschinen gesteigert werden kann und gleichzeitig ein großes Einsparungspotential im Bereich der Vermessungsarbeiten erreicht wird. Demgegenüber stehen die höheren Investitionskosten für die Maschinenausrüstung und ein Mehraufwand in der Datenaufbereitung.

## Abstract

This master thesis deals with the use of machine guidance, in particular the use of GPS machine guidance systems in earth- and road construction.

The impact of machine guidance systems on construction operation is discussed based on basic operations in earthwork and road construction as well as modes of operating machines. An insight into the functionality of satellite navigation systems and their detection methods should lead to a better understanding of the technical basics.

Through consideration of productivity studies on performance comparisons between GPS guided and conventional construction machines, the performance increase through the use of GPS machine guidance systems is examined.

The outcome of this analysis is, that on the one hand dozers can improve their performance considerably through the use of GPS based systems and on the other hand time spent on surveying can be reduced. In contrast to that, construction companies have to face with higher investment costs for machinery and equipment as well as an increase in time for data processing.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Erdbauarbeiten</b>	<b>2</b>
2.1	Baustoff Boden .....	2
2.1.1	Unterscheidung nach der Kornbindung des Bodens .....	2
2.1.2	Unterscheidung nach der Gewinnung des Bodens .....	3
2.1.3	Unterscheidung nach betriebstechnischen Überlegungen .....	3
2.2	System des Erdbaus .....	4
2.2.1	Lösen und Laden .....	5
2.2.2	Transport des Bodenmaterials .....	6
2.2.3	Einbau des Bodens .....	6
2.3	Toleranzen .....	7
<b>3</b>	<b>Straßenbauarbeiten</b>	<b>8</b>
3.1	Aufbau des Straßenkörpers .....	8
3.2	System des Straßenbaus .....	8
3.2.1	Der Untergrund .....	9
3.2.2	Der Unterbau .....	9
3.2.3	Oberbau .....	10
3.3	Toleranzen .....	11
<b>4</b>	<b>Baumaschinen des Erd- und Straßenbaus</b>	<b>13</b>
4.1	Hydraulikbagger .....	15
4.1.1	Aufbau .....	16
4.1.2	Arbeitsweise .....	18
4.1.3	Arbeitsausrüstung .....	18
4.1.4	Reichweitendiagramme (Grabkurven) .....	20
4.2	Planierraupe .....	21
4.2.1	Aufbau .....	21
4.2.2	Arbeitsweise .....	22
4.2.3	Arbeitsausrüstung .....	23
4.3	Grader .....	25
4.3.1	Aufbau .....	25
4.3.2	Arbeitsweise .....	26
4.3.3	Arbeitsausrüstung .....	28
4.4	Schwarzdeckenfertiger .....	29
4.4.1	Aufbau .....	30
4.4.2	Arbeitsweise .....	30
4.5	Betondeckenfertiger .....	32
4.5.1	Aufbau .....	32
4.5.2	Arbeitsweise .....	33
<b>5</b>	<b>Satellitennavigation</b>	<b>35</b>
5.1	Prinzip der Satellitenortung .....	36
5.2	Anforderungen an Navigationsdienste .....	38
5.3	Satelliten und deren Umlaufbahnen .....	39
5.3.1	Low-Earth-Orbit Satelliten (LEO) .....	41
5.3.2	Medium-Earth-Orbit Satelliten (MEO) .....	41
5.3.3	Highly-Elliptical-Orbit Satelliten (HEO) .....	41
5.4	Laufzeitmessung .....	42
5.5	Arten der Positionsbestimmung .....	43

5.5.1	Point Positioning.....	43
5.5.2	Precise Point Positioning .....	44
5.5.3	Relative Positioning.....	44
5.6	Fehlerquellen und Störungen .....	46
5.6.1	Systembedingte Fehler .....	46
5.6.2	Ausbreitungsbedingte Fehler .....	48
5.6.3	Störungen .....	49
5.7	NAVSTAR GPS.....	50
5.7.1	Aufbau .....	51
5.7.2	Signale.....	55
5.7.3	Genauigkeit .....	55
5.8	GLONASS .....	56
5.8.1	Aufbau .....	56
5.8.2	Signale.....	58
5.8.3	Genauigkeit .....	59
5.9	GALILEO .....	59
5.9.1	Aufbau .....	60
5.9.2	Dienste.....	62
5.9.3	Signale.....	63
5.9.4	Genauigkeit .....	63
5.10	Improved GPS.....	64
5.10.1	Differential Global Positioning System (DGPS) .....	64
5.10.2	Satellite Based Augmentation System (SBAS).....	66
5.10.3	Assisted Global Positioning System (A-GPS).....	67
5.10.4	High Sensitivity Global Positioning System (HSGPS) .....	67
5.11	Anwendungsbereiche .....	68
<b>6</b>	<b>Anwendung von Ortungssystemen</b>	<b>69</b>
6.1	Entwicklung .....	69
6.2	Allgemeines .....	70
6.2.1	Maschinensteuerung mittels Rotationslaser .....	70
6.2.2	Maschinensteuerung mittels Totalstation.....	71
6.2.3	Maschinensteuerung mittels Satellitenortung .....	71
6.3	Datenaufbereitung.....	72
6.4	Maschinenausrüstung .....	75
6.4.1	Allgemeines .....	75
6.4.2	Bagger .....	75
6.4.3	Raupe .....	79
6.4.4	Grader.....	82
6.4.5	Schwarzdeckenfertiger .....	87
6.4.6	Betondeckenfertiger .....	88
6.5	Baustellennetzwerk .....	89
6.5.1	Referenzstation .....	89
6.5.2	Repeater.....	92
6.5.3	Datensynchronisierung .....	93
6.6	Anwendungsbereiche.....	93
<b>7</b>	<b>Leistungsermittlung und -vergleich</b>	<b>101</b>
7.1	Leistungsermittlung nach der Berechnungsmethodik an der TU Graz .	101
7.2	Einfluss von Maschinensteuerungssystemen auf die Leistung .....	103
7.3	Einsparungspotentiale und Investitionen.....	104
7.3.1	Einsparungen bei Vermessungsarbeiten .....	104
7.3.2	Einsparungen bei Hilfsarbeiten.....	105



7.3.3	Einsparungen bei Betriebsstoffen.....	105
7.3.4	Investitionen in die Ausrüstung.....	106
7.3.5	Schulung von Personal .....	107
7.3.6	Größerer Aufwand für die Datenaufbereitung.....	107
7.4	Maschinen Leistungsvergleich .....	108
7.4.1	Produktivitätsstudie Caterpillar .....	108
7.4.2	Produktivitätsstudie der Universität Reykjavik .....	112
7.4.3	Produktivitätsstudie zum Einsatz von Gradern .....	113
7.4.4	Leistungssteigerung von Fertigern mit Steuerungssystem .....	114
7.5	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	115
7.5.1	Baumaschinen.....	115
7.5.2	Vermessungsarbeiten .....	119
7.5.3	Datenaufbereitung.....	119
7.5.4	Investitionen .....	120
7.6	Fazit und Ausblick .....	121
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>122</b>
<b>9</b>	<b>Linkverzeichnis</b>	<b>125</b>
<b>10</b>	<b>Interviewverzeichnis</b>	<b>127</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	System Erdbau .....	4
Abb. 2.2	Ablaufabschnitte des Systems Erdbau .....	5
Abb. 3.1	Gliederung des Straßenaufbaus .....	8
Abb. 3.2	System Straßenbau.....	9
Abb. 3.3	Gliederung der Tragschichten .....	11
Abb. 3.4	Gliederung der Deckschichten .....	11
Abb. 4.1	Einsatzbereiche von Erdbaufahrzeugen .....	13
Abb. 4.2	Klassifikation der Erdbaugeräte.....	14
Abb. 4.3	Hydraulikbagger Komatsu PC 450-8.....	15
Abb. 4.4	Aufbau eines Hydraulikbaggers mit Verstellausleger.....	16
Abb. 4.5	Arbeitsausrüstungen für Hydraulikbagger .....	17
Abb. 4.6	Tieföffel-Arbeitsausrüstung am Hydraulikbagger .....	18
Abb. 4.7	Löffeltypen .....	19
Abb. 4.8	Grabkurve Hydraulikbagger CAT 320D L .....	20
Abb. 4.9	Planierraupe Komatsu D275AX-5 .....	21
Abb. 4.10	Aufbau einer Planierraupe .....	22
Abb. 4.11	Schildformen.....	24
Abb. 4.12	Heckaufreißer an Planierraupen .....	24
Abb. 4.13	Grader Volvo G940 .....	25
Abb. 4.14	Aufbau eines Dreiachsgraders .....	25
Abb. 4.15	Kinematik der Scharlagerung .....	27
Abb. 4.16	Stellungen der Schar.....	27
Abb. 4.17	Schwarzdeckenfertiger Vögele SUPER 2500 .....	29
Abb. 4.18	Schema eines Schwarzdeckenfertigers.....	30
Abb. 4.19	Gleitschalungsfertiger Gomaco GHP-2800 .....	32
Abb. 4.20	Schema eines Betondeckenfertigers für zweilagigen Einbau.....	33
Abb. 5.1	Satellitennavigation .....	35
Abb. 5.2	Positionsbestimmung mittels Schnitt dreier Kugeln .....	37
Abb. 5.3	Korrektur des Zeitfehlers.....	38
Abb. 5.4	Unterschied Präzision und Genauigkeit.....	39
Abb. 5.5	Die verschiedenen Bahnen erdumlaufender Satelliten .....	40
Abb. 5.6	Die Satellitenkonstellation über dem Nutzer.....	42
Abb. 5.7	Prinzip von point positioning .....	44
Abb. 5.8	Prinzip von relative positioning .....	45
Abb. 5.9	Satellitengeometrie.....	47
Abb. 5.10	Minimaler Erhebungswinkel.....	48
Abb. 5.11	Mehrwegeausbreitung .....	49
Abb. 5.12	GPS-Satelliten auf ihren Bahnen um die Erde .....	52

Abb. 5.13	Gleichzeitig verfügbare Satelliten (Boston, USA).....	52
Abb. 5.14	Stationen des GPS Bodensegments.....	53
Abb. 5.15	Segmente von GPS .....	54
Abb. 5.16	Berechnete Wahrscheinlichkeit sichtbarer Satelliten .....	58
Abb. 5.17	Globale Verteilung der Haupt-GALILEO-Bodenstationen.....	61
Abb. 5.18	Prinzip des Differenzial-Messverfahrens .....	65
Abb. 5.19	Servicegebiete von SBAS.....	66
Abb. 6.1	Maschinensteuerung mittels Rotationslaser .....	70
Abb. 6.2	Maschinensteuerung mittels Totalstation.....	71
Abb. 6.3	Maschinensteuerung mittels Satellitenortung .....	72
Abb. 6.4	Zweidimensionaler Lageplan .....	73
Abb. 6.5	Datengenerierung aus 3D-Modell .....	73
Abb. 6.6	Umsetzung am Bordcomputer der Maschine .....	74
Abb. 6.7	Vermessung mit GPS-Rover .....	74
Abb. 6.8	Komponenten einer GPS Steuerung für Bagger .....	76
Abb. 6.9	Winkelsensorik eines Baggers .....	77
Abb. 6.10	Sicht aus der Baggerkabine .....	78
Abb. 6.11	Sicht aus Baggerkabine am Display .....	78
Abb. 6.12	Draufsicht am Display .....	79
Abb. 6.13	Ein-Mast GPS Systeme einer Raupe.....	80
Abb. 6.14	Zwei-Mast GPS Systeme einer Raupe .....	82
Abb. 6.15	Zwei-Mast GPS System eines Graders .....	84
Abb. 6.16	Ein-Mast GPS System mit Laserunterstützung .....	84
Abb. 6.17	Gradersteuerung mittels Totalstation .....	86
Abb. 6.18	Darstellung des Planums am Display .....	86
Abb. 6.19	Ebenheitsanforderungen an Straßenbauwerke.....	87
Abb. 6.20	Grundkonzeption von Systemen zur leitdrahtlosen Nivellierung .....	88
Abb. 6.21	GPS Basis auf Stativ .....	89
Abb. 6.22	Referenzstation „System ALPINE Bau GmbH“ .....	90
Abb. 6.23	Situierung Referenzstationen .....	92
Abb. 6.24	GPS gesteuerter Langstielbagger im Unterwasseraushub.....	94
Abb. 6.25	GPS gesteuerter Langstielbagger im Unterwasseraushub (Entladen) ..	95
Abb. 6.26	Asperner Terrassen .....	96
Abb. 6.27	Überhöhter Einbau mit GPS gesteuerter Raupe .....	97
Abb. 6.28	Fertigstellung mit GPS gesteuertem Hydraulikbagger.....	97
Abb. 6.29	Einschnittfertigung mittels GPS gesteuertem Hydraulikbagger .....	98
Abb. 6.30	Geogitterwand .....	99
Abb. 6.31	Die größten Vorteile von Maschinensteuerungssystemen .....	100
Abb. 7.1	Produktivitätssteigerung von Grader durch GPS Einsatz .....	116
Abb. 7.2	Produktivitätssteigerung von Planierraupen durch GPS Einsatz .....	117

Abb. 7.3 Produktivitätssteigerung von Hydraulikbagger durch GPS Einsatz ..... 118

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Bodenklassen nach ÖNORM B 2205 – „Erdarbeiten“ .....	3
Tabelle 5.1	Benötigte Satelliten .....	40
Tabelle 5.2	Ortungsgenauigkeit GPS SPS .....	56
Tabelle 5.3	Ortungsgenauigkeit GLONASS .....	59
Tabelle 5.4	Ortungsgenauigkeit GALILEO Open Service .....	64
Tabelle 7.1	Personen- und Maschinenfaktor .....	103
Tabelle 7.2	Vergleich der Arbeitszeit .....	109
Tabelle 7.3	Vergleich der Spielzahl.....	110
Tabelle 7.4	Vergleich des Treibstoffverbrauchs .....	111
Tabelle 7.5	Vergleich der Arbeitszeit und des Treibstoffverbrauchs .....	112
Tabelle 7.6	Produktivität eines Graders Caterpillar 16H.....	113
Tabelle 7.7	Produktivität eines Graders Caterpillar 140H.....	114
Tabelle 7.8	Leistungssteigerung eines Fertigers.....	114

## Abkürzungsverzeichnis

<b>A-GPS</b>	Assisted Global Positioning System
<b>C/A</b>	coarse/access
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access
<b>CS</b>	Commercial Service
<b>DGM</b>	Digitales Geländemodell
<b>DGPS</b>	Differential Global Positioning System
<b>DOP</b>	Dilution of precision
<b>EGNOS</b>	European Geostationary Navigation Overlay Service
<b>FDMA</b>	Frequency Division Multiple Access
<b>GAGAN</b>	GPS Aided Geo Augmented Navigation
<b>GEO</b>	Geosynchronous Earth Orbit
<b>GLONASS</b>	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications
<b>GTRF</b>	Galileo Terrestrial Reference Frame
<b>HEO</b>	Highly Elliptical Orbit
<b>HSDPA</b>	High Speed Downlink Packet Access
<b>HSGPS</b>	High Sensitivity Global Positioning System
<b>ICC</b>	Integrity Control Center
<b>IMS</b>	Integrity Monitoring Station
<b>LEO</b>	Low Earth Orbit
<b>LKW</b>	Lastkraftwagen
<b>MEO</b>	Medium Earth Orbit
<b>MSAS</b>	Multifunctional Satellite Augmentation System
<b>NAVSTAR GPS</b>	Navigation Satellite Timing And Ranging – Global Positioning System
<b>NSCC</b>	Navigation System Control Center
<b>OS</b>	Open Service

<b>OSS</b>	Orbitography and Synchronization Station
<b>PPP</b>	Precise Point Positioning
<b>PPS</b>	Precise Positioning Service
<b>PRN</b>	Pseudo Random Noise
<b>PRS</b>	Public Regulated Service
<b>RTK</b>	Real-Time Kinematik
<b>SA</b>	Selective Availability
<b>SAR</b>	Search and Rescue
<b>SBAS</b>	Satellite Based Augmentation System
<b>SKW</b>	Schwerkraftwagen
<b>SoL</b>	Safety of Life Service
<b>SPS</b>	Standard Positioning Service
<b>TTC</b>	Telemetry, Tracking and Command
<b>UKW</b>	Ultrakurzwellen
<b>ULS</b>	Up-Link Station
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System
<b>UTC</b>	Universal Time Coordinated
<b>WAAS</b>	Wide Area Augmentation System
<b>WGS 84</b>	World Geodetic System 1984
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network

## 1 Einleitung

Aufgrund des immer größer werdenden Kostendrucks im Baugewerbe kommen im Erd- und Straßenbau verstärkt Maschinen zum Einsatz, die mit verschiedensten Steuerungssysteme arbeiten. Insbesondere in der Maschinensteuerung mittels GPS Navigation steckt großes Potential um die Leistung von Baumaschinen deutlich zu erhöhen. Doch nicht jede Baumaschine kann gleichermaßen von Maschinensteuerungssystemen profitieren und so kommen diese hauptsächlich bei folgenden Maschinen zur Anwendung:

- Hydraulikbagger
- Planierdraupe
- Grader
- Fertiger

Des Weiteren ist der Einsatz von GPS basierten Steuerungssystemen auch nicht für jede Bauaufgabe sinnvoll. Darum gilt es bereits im Vorfeld eines Bauvorhabens abzuschätzen, ob die Vorteile der Maschinensteuerung die zusätzlichen Investitions- und Betriebskosten rechtfertigen. Dazu muss die Maschinenleistung so erhöht werden können, dass eine angemessene Zeit- und Kostenersparnis erreicht wird.

Aus diesem Grund wird im Rahmen dieser Masterarbeit untersucht welche Auswirkungen der Einsatz von Maschinensteuerungssystemen auf den Baubetrieb hat. Vordergründig wird die Verwendung von GPS gestützten Steuerungssystemen behandelt, allerdings werden auch alternative Systeme betrachtet, die häufig Seite an Seite mit GPS Systemen zur Anwendung kommen.

Durch die Analyse von Produktivitätsstudien und Fachgesprächen zu dieser Thematik soll ermittelt werden für welche Tätigkeiten sich GPS gesteuerte Baumaschinen am besten eignen und wie das Einsparungspotential beziffert werden kann.



## 2 Erdbauarbeiten

Im Allgemeinen versteht man unter Erdbau die Veränderung des vorhandenen Bodens in seiner Form, seiner Lage, seiner Lagerungsbeschaffenheit oder seiner Eigenschaft als Baustoff.<sup>1</sup>

Aus dieser Definition lassen sich die Hauptaufgaben des Erdbaus ableiten, die einerseits darin bestehen, den Boden zu lösen, in Fördergefäße zu laden und über möglichst minimale Entfernungen zu transportieren, andererseits den gelösten Boden abzuladen, einzubauen und zu verdichten.

Für die Planung und Durchführung von Erdarbeiten ist die Kenntnis von bestimmten Rahmenbedingungen unabdingbar. Um die richtigen und erforderlichen Geräteeinsätze zu wählen und die damit verbundene Verfahrensauswahl zu treffen, ist es unbedingt nötig über Grundwasserverhältnisse und Bodenbeschaffenheit im Baubereich Bescheid zu wissen, als auch Geländeaufnahmen und geologische Untersuchungen durchzuführen.<sup>2</sup>

### 2.1 Baustoff Boden

Aufgrund der Beschaffenheit des Baustoffs Boden kann man ihm im Rahmen des Bearbeitungsprozess keine klar definierten Stoffeigenschaften zuordnen. Vielmehr durchläuft der Boden im Zuge seiner Be- und Verarbeitung verschiedene Zustandsformen, welche ständig von Umweltbedingungen wie Klima oder Regen beeinflusst werden.<sup>3</sup>

Für die Klassifikation des Bodens gibt es die Unterscheidung nach der Kornbindung, nach der Gewinnung sowie nach betriebstechnischen Überlegungen.

#### 2.1.1 Unterscheidung nach der Kornbindung des Bodens

Es ist zwischen bindigen und rolligen Böden zu differenzieren<sup>4</sup>:

- **bindige Böden:** Die Bindung entsteht aufgrund der Reibung zwischen den Teilchen und den Haftkräften aus Kohäsion.  
z.B.: Schluff, Ton, Lehm

<sup>1</sup> vgl. BRECHELER, W., FRIEDRICH, J., HILMER, A., WEIß, R.: Baubetriebslehre – Kosten- und Leistungsrechnung – Bauverfahren; Wiesbaden: Vieweg Verlag 1998, S. 188

<sup>2</sup> vgl. STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 83

<sup>3</sup> vgl. STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 83

<sup>4</sup> vgl. BRECHELER, W., FRIEDRICH, J., HILMER, A., WEIß, R.: Baubetriebslehre – Kosten- und Leistungsrechnung – Bauverfahren; Wiesbaden: Vieweg Verlag 1998, S. 191

- **rollige Böden:** Ihr Gefüge ist ohne festen Zusammenhalt und die Verfestigung basiert auf den Reibungskräften. z.B.: Sand, Kies, Schotter

### 2.1.2 Unterscheidung nach der Gewinnung des Bodens

Die ÖNORM B 2205 – „Erdarbeiten“ unterteilt die Böden hinsichtlich ihrer Gewinnung in 7 Bodenklassen.<sup>5</sup>

Tabelle 2.1 Bodenklassen nach ÖNORM B 2205 – „Erdarbeiten“<sup>6</sup>

Bodenklasse		Löseart bei händischer Arbeit
1	Mutterboden (Humus, Oberboden) und Zwischenboden	Stichschaufel, Spaten
2	wasserhaltiger Boden (Schöpfungboden)	Schlamm- und Schöpfgefäß
3	leichter Boden (loser Boden)	Wurfschaufel
4	mittelschwerer Boden (Stichboden)	Stichschaufel, Spaten
5	schwerer Boden (Hackboden)	Krampe, Spitz- und Breithacke
6	leichter Fels (Reißfels) und Schrämmboden	Brechstange und Meißel
7	schwerer Fels	Sprengen (nicht händisch)

### 2.1.3 Unterscheidung nach betriebstechnischen Überlegungen

Werden betriebstechnische Überlegungen zur Unterteilung von Böden herangezogen, so unterscheidet man folgendermaßen<sup>7</sup>:

- **gewachsener Boden:** Wird laut ÖNORM B 2205 in die oben angeführten 7 Bodenklassen eingeteilt.
- **gelockerter oder loser Boden:** Das Lösen des Bodens hat eine Volumsvergrößerung um den Auflockerungsfaktor  $f_A$  zur Folge. Das daraus resultierende größere Lade- und Transportvolumen ist im Rahmen der Leistungs- und Kostenermittlung von Bedeutung, denn geladen, transportiert und geschüttet wird immer der aufgelockerte Boden, ausgeschrieben und abgerechnet jedoch der feste, gewachsene Boden.

<sup>5</sup> vgl. Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 2205 – „Erdarbeiten“; Wien, Stand: 01.11.2000

<sup>6</sup> vgl. Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 2205 – „Erdarbeiten“; Wien, Stand: 01.11.2000, S. 10f

<sup>7</sup> vgl. BRECHLER, W., FRIEDRICH, J., HILMER, A., WEIß, R.: Baubetriebslehre – Kosten- und Leistungsrechnung – Bauverfahren; Wiesbaden: Vieweg Verlag 1998, S. 191

- **eingebauter bzw. verdichteter Boden:** Beim Einbau des Bodens tritt eine Volumsverminderung um den Verdichtungsgrad  $f_V$  ein. Diese resultiert aus dem Eigengewicht des Bodens, dem Gewicht der Einbaugeräte sowie dem Einsatz von Verdichtungsgeräten.

## 2.2 System des Erdbaus

Im Allgemeinen versteht man unter Erdbau die Massenbewegung von Boden vom Ort der Gewinnung (A) über eine bestimmte Strecke zum Ort des Einbaus (B).

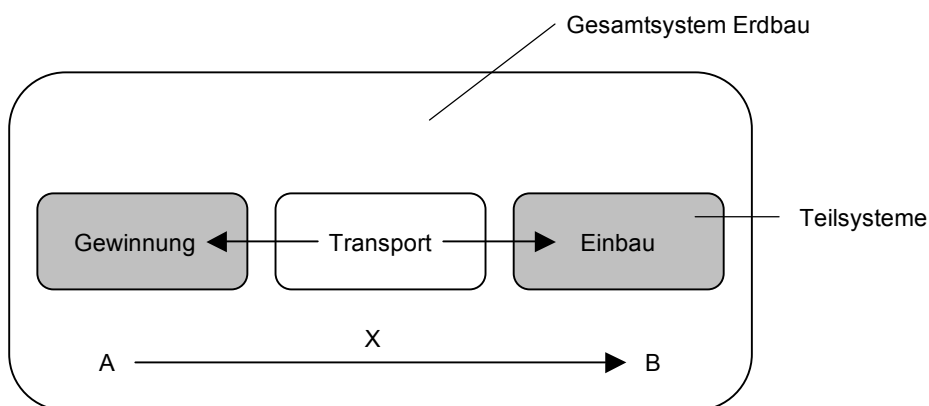


Abb. 2.1 System Erdbau<sup>8</sup>

Um den Materialtransport von A nach B durchzuführen, bedarf es folgender Tätigkeiten<sup>9</sup>:

- Herauslösen der Massen aus dem Ausgangszustand (gewachsener Zusammenhang oder natürliche Lagerung)
- Transport von der Gewinnungs- zur Einbaustelle über eine bestimmte Distanz
- Wiedereinbau in möglichst kompaktem Zustand
- Verdichten der Einschnitts- und Auftragsfläche

Um diese Teilvorgänge möglichst optimal zu erledigen und gegebenenfalls auch zu verknüpfen, gilt es, die für die jeweilige

<sup>8</sup> STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 85

<sup>9</sup> vgl. STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 86

Baufaufgabe, passenden Maschinen zu wählen. Diese gliedern sich wie folgt in<sup>10</sup>:

- nur lösen (z.B. Reißraupe),
- nur laden (z.B. Kettenlader),
- lösen und laden (z.B. Bagger),
- transportieren (z.B. Kipper),
- lösen, laden und transportieren (z.B. Scraper),
- einebnen und planieren (z.B. Planierraupe)
- verdichten (z.B. Vibrationswalze).

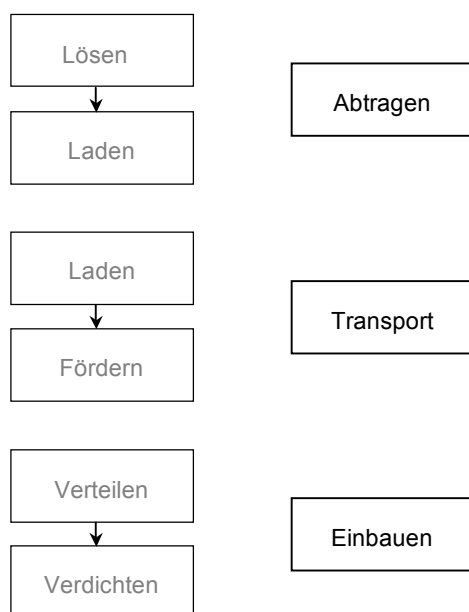


Abb. 2.2 Ablaufabschnitte des Systems Erdbau<sup>11</sup>

### 2.2.1 Lösen und Laden

Die Teilvorgänge Lösen und Laden werden meist mit demselben Gerät ausgeführt. Die Ausnahme bilden Böden, die sich ohne vorhergehende Lockerung nur sehr schwer oder überhaupt nicht aufnehmen lassen.<sup>12</sup>

<sup>10</sup> vgl. KÜHN, G.: Der maschinelle Erdbau; Stuttgart: Teubner Verlag 1984, S. 115

<sup>11</sup> STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 87

<sup>12</sup> vgl. STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 88

Ausschlaggebend für die Wahl der Geräteart, deren erforderliche Leistung und technische Ausrüstung sind folgende Kriterien<sup>13</sup>:

- geforderte Abtragsform
- Lösbarkeit bzw. Grabwiderstand des Bodens
- möglicher Füllungsgrad des jeweiligen Grabgefäßes

### 2.2.2 Transport des Bodenmaterials

Das Bindeglied zwischen Gewinnung und Einbau stellt der Transport dar. Hier gilt es die Transportketten so zu optimieren, dass Stillstandszeiten der Transportfahrzeuge als auch der Geräte der Gewinnung und des Einbaus weitestgehend vermieden werden. Aus diesem Grund müssen Art und Anzahl der Maschinen sehr gut aufeinander abgestimmt sein.<sup>14</sup>

Abhängig von den Gegebenheiten der Transportaufgabe werden folgende Maschinen zur Massenbewegung eingesetzt<sup>15</sup>:

- LKW und Sattelzüge
- Schwerekraftwagen (SKW)
- Vorderkipper oder Dumper

Wesentliche Auswahlkriterien hierbei sind Ladevolumen, zurückzulegende Transportstrecke, vorhandener Platz für Be- und Entladung im Baustellenbereich sowie Zulassung zum öffentlichen Verkehr.

### 2.2.3 Einbau des Bodens

Der Vorgang des Einbaus des Bodens ist unterteilt in das Abladen des losen Schüttgutes, das anschließende formgerechte Verteilen und das Verfestigen durch Verdichtung.

Während das Abladen zumeist von den Maschinen des Transportprozesses durchgeführt wird, stehen zur lagenweisen Verteilung des Schüttgutes Planiertrauen und Grader zur Verfügung. Anschließend muss das geschaffene Arbeitsplanum verdichtet werden, um dem Boden seine standfeste Form zu geben. Dies kann durch verschiedene mechanische Kräfte wie Druck, Stoß, Vibration, Knetung oder einer Kombination dieser Kräfte geschehen. Die Auswahl des richtigen

<sup>13</sup> vgl. BRECHELER, W., FRIEDRICH, J., HILMER, A., WEIß, R.: Baubetriebslehre – Kosten- und Leistungsrechnung – Bauverfahren; Wiesbaden: Vieweg Verlag 1998, S. 192ff

<sup>14</sup> vgl. STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 94

<sup>15</sup> vgl. BRECHELER, W., FRIEDRICH, J., HILMER, A., WEIß, R.: Baubetriebslehre – Kosten- und Leistungsrechnung – Bauverfahren; Wiesbaden: Vieweg Verlag 1998, S. 211

Verfahrens beruht primär auf der vorhandenen Bodenart. Maschinentechnisch steht hierfür eine Vielzahl von Walzen zur Verfügung, die man grob in<sup>16</sup>

- statische Walzen,
- Vibrationswalzen und
- kombinierte Walzen

unterteilen kann.

Darüber hinaus gibt es auch universelle Erdbaugeräte, die das Lösen, Laden, Transportieren und Einbauen in einem Arbeitszug ermöglichen (z.B. Scraper).

### 2.3 Toleranzen

Um Erdbauaufgaben qualitativ hochwertig realisieren zu können gibt die ÖNORM B 2205 - „Erdarbeiten“ Toleranzen für die Herstellung eines Planums vor. Diese sind in Punkt 5.3.8.1.4 „Planum“ wie folgt definiert<sup>17</sup>:

*„Für das Grobplanum (in der Regel Arbeitsplanum) ist eine Toleranz von  $\pm 10$  cm zulässig.“*

*„Für das Feinplanum (Wechsel des Materials bzw. Einbaukriterien) ist eine Toleranz von  $\pm 3$  cm zulässig“*

<sup>16</sup> vgl. STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 97ff

<sup>17</sup> Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 2205 – „Erdarbeiten“; Wien, Stand: 01.11.2000

### 3 Straßenbauarbeiten

Aufgrund der Tatsache, dass der Erdbau einen großen Bestandteil der Straßenbauarbeiten darstellt, soll an dieser Stelle auch ein kurzer Überblick über die Schwerpunkte des Straßenbaus gegeben werden.

#### 3.1 Aufbau des Straßenkörpers

Der sogenannte Straßenkörper unterteilt sich in die drei wesentlichen Bereiche

- Untergrund
- Unterbau
- Oberbau

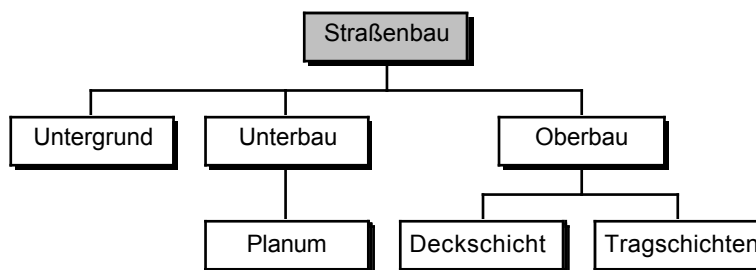


Abb. 3.1 Gliederung des Straßenaufbaus<sup>18</sup>

Der Untergrund und der Unterbau bilden in diesem Aufbau den Stützkörper der darüber liegenden Schichten und sind für die Lastableitung verantwortlich.

Das Planum ist die bearbeitete Oberfläche des Untergrunds bzw. des Unterbaus.

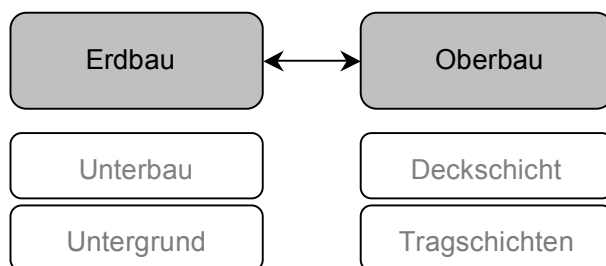
Der Oberbau ist der schichtweise Aufbau der Deck- und Tragschichten.<sup>19</sup>

#### 3.2 System des Straßenbaus

Sinnvollerweise wird das System Straßenbau in die Teilsysteme Erdbau (Untergrund, Unterbau) und Oberbau unterteilt.

<sup>18</sup> STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 215

<sup>19</sup> vgl. STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 216

Abb. 3.2 System Straßenbau<sup>20</sup>

Ziel des Erdbaus ist es, eine möglichst exakte Unterlage für den Straßenoberbau zu schaffen. Dafür muss bei Dämmen Material aufgetragen, bei Einschnitten abgetragen werden.

### 3.2.1 Der Untergrund

Als Untergrund bezeichnet man den natürlich anstehenden Boden, auf dem der Straßenkörper aufgebaut wird. Um die Widerstandsfähigkeit des Untergrunds zu steigern, werden die oberen Schichten des Bodens stabilisiert. Hierfür stehen mehrere Verfahren zur Auswahl, die sich in Bodenverbesserungs- und Bodenverfestigungsmaßnahmen unterteilen<sup>21</sup>:

- Bodenverbesserung

Hierbei wird die Sieblinie durch Einrütteln oder Einmischen von geeigneten Baustoffen bzw. fehlender Körnungen verbessert.

- Bodenverfestigung

Durch das Einmischen von Bindemitteln in den Boden wird eine Verfestigung erreicht, und somit die bodenmechanischen Eigenschaften verbessert.

### 3.2.2 Der Unterbau

Als Unterbau versteht man den künstlich hergestellten Dammkörper. Dieser muss den Oberbau und sämtliche Verkehrslasten möglichst verformungsfrei tragen. Deshalb ist bei der Herstellung auf eine entsprechende Verdichtung zu achten, um Setzungen zu vermeiden.

<sup>20</sup> STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 216

<sup>21</sup> vgl. STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 218f



Die Unterbauherstellung folgt den Schritten des Erdbaues. Wie bereits oben angeführt sind diese:

- Lösen und Laden
- Transport
- Verteilen und Verdichten

Abschließend wird das Unterbauplanum hergestellt, welches den Abfluss von Wasser und eine ausreichende Tragfähigkeit gewährleisten soll. Dafür sind vorgeschriebene Verdichtungsgrade und Verformungswerte einzuhalten.

### 3.2.3 Oberbau

Den letzten Schritt bei der schichtweisen Erstellung eines Straßenkörpers bildet der Oberbau. Er ist maßgeblich dafür verantwortlich, dass die Straße nach ihrer Fertigstellung sicher und komfortabel zu befahren ist, ihre geplante Lebensdauer auch tatsächlich erreicht und diese nicht durch übermäßige Abnutzung verkürzt wird.

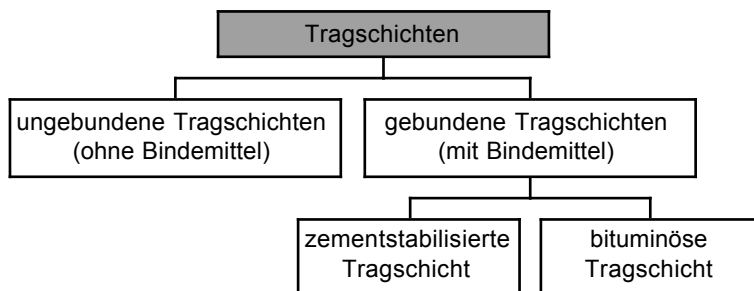
Um dies zu erreichen, müssen, ausgehend von einem präzise gefertigten Unterbau, höchste Qualitätsansprüche an die Herstellung gestellt werden. Nur so können die Griffigkeit, Ebenheit und die profilgerechte Lage des Straßenbelages gewährleistet werden. Im Allgemeinen gliedert sich der Oberbau in<sup>22</sup>:

- Tragschichten und
- Deckschichten

Üblich ist eine Unterscheidung in ungebundene und gebundene Tragschichten. Deren Aufgabe ist es, die durch den Verkehr auftretenden Kräfte aufzunehmen, sie zu verteilen und schließlich in den Unterbau abzuleiten. Darüber hinaus kommt den ungebundenen Tragschichten noch eine entwässernde Funktion innerhalb des Aufbaues zu.

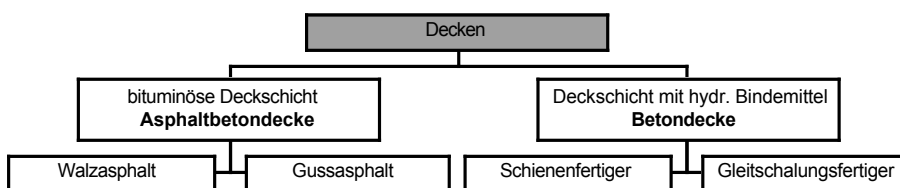
---

<sup>22</sup> vgl. STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 225ff

Abb. 3.3 Gliederung der Tragschichten<sup>23</sup>

Nach Fertigstellung der Tragschichten wird die Deckschicht hergestellt, die als oberste Schicht die größte Ebenheit aufweisen muss. Einerseits muss sie das Befahren der Straße so sicher wie möglich machen, andererseits den Straßenkörper vor einsickerndem Oberflächenwasser schützen.

Abhängig von ihrer Herstellung gliedern sich Deckschichten wie folgt:

Abb. 3.4 Gliederung der Deckschichten<sup>24</sup>

### 3.3 Toleranzen

Im Straßenbau gilt es die Toleranzen für die Herstellung der diversen Schichten einzuhalten. Die im Straßenbau zur Anwendung kommenden „Richtlinien und Vorschriften im Straßenbau“ (RVS) definieren die Toleranzen wie folgt<sup>25</sup>:

Punkt 5.5.2.1 „Ausführungshinweise“:

*„Die oberste Lage des Schüttkörpers ist mit einer Genauigkeit von  $\pm 5$  cm auf Sollhöhe herzustellen.“*

<sup>23</sup> STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 225

<sup>24</sup> STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 228

<sup>25</sup> Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr: Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen – RVS; Wien, Stand: 01.09.2010

Punkt 5.6.2 „Profilgerechte Lage“:

*„Das Unterbauplanum darf nicht mehr als  $\pm 3$  cm von der Sollhöhe abweichen.“*

Punkt 4.1 „Allgemeine Bestimmungen für den Einbau von Asphaltmischgut“:

*„Die Lage der endverdichteten Asphaltdeckschicht darf maximal  $\pm 1,5$  cm von der Soll-Lage abweichen.“*

## 4 Baumaschinen des Erd- und Straßenbaus

Die im Erdbau eingesetzten Maschinen haben die Aufgabe den Boden abzutragen, zu transportieren und einzubauen. Kühn unterteilt daher Erdbaufahrzeuge folgend:

		Laden nach Bodenklassen							Laden		Transportweite [m]					Verdichten				Profilieren						
		1	2	3	4	5	6	7	Grob	Mittel	Fein	0 - 30	30 - 75	75 - 300	300 - 2000	2000 - 3000	Erntladen	Verteilen	Einebnen	Haufwerk	Kies, Sand	Schw. bindig	Stark bindig	Grob	Fein	
<b>Bagger</b>																										
	Hochlöffel																									
	Schürfkübel																									
	Tieföffel																									
	Greifer																									
<b>Spezialbagger</b>																										
	Schaufelrad																									
	Eimerkette																									
	Teleskopbagger																									
<b>Lader</b>																										
	Raupenlader																									
	Radlader																									
<b>Fahrzeuge</b>																										
	Muldenkipper																									
<b>Flachbagger</b>																										
	Planierraupe																									
	Schürfraupe																									
	Scraper																									
	Grader																									
<b>Verdichtung</b>																										
	Explosionsstampfer																									
	Vibrationswalze																									
	Gummiradwalze																									
	Schaffußwalze																									

Abb. 4.1 Einsatzbereiche von Erdbaufahrzeugen<sup>26</sup>

<sup>26</sup> vgl. KÜHN, G.: Der maschinelle Erdbau; Stuttgart: Teubner Verlag 1984, S. 116

Die Hauptgruppe der im Erdbau eingesetzten Maschinen bilden die Bagger. Diese werden in folgende Untergruppen eingeteilt:

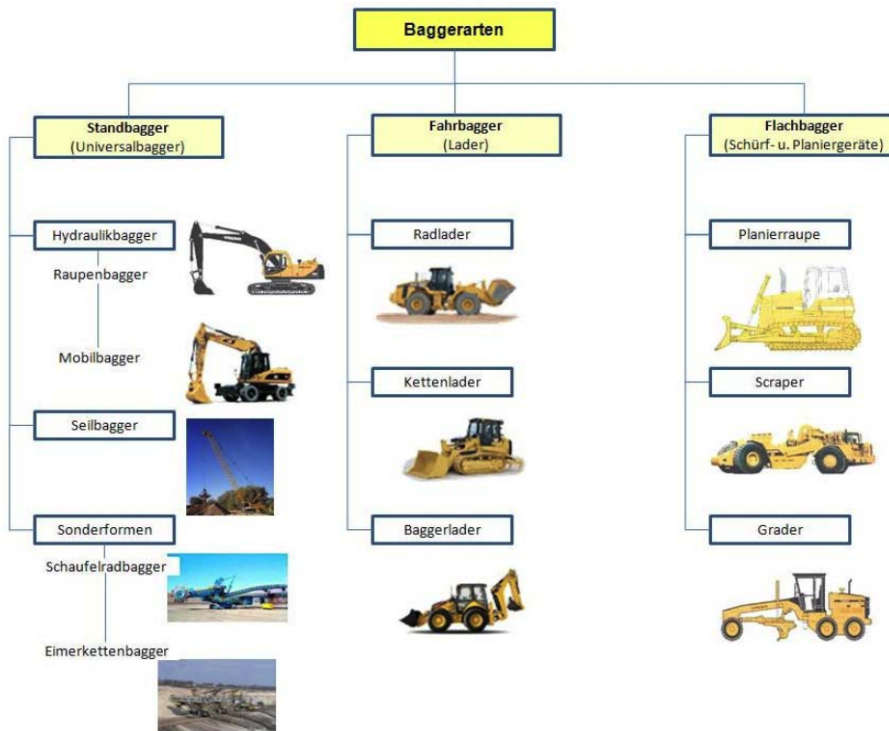


Abb. 4.2 Klassifikation der Erdbaugeräte<sup>27</sup>

Bagger können weiters unterschieden werden<sup>28</sup>:

- nach der Arbeitsweise
  - ♦ absatzweise arbeitende Bagger
  - ♦ kontinuierlich arbeitende Bagger
- nach der Stellung des Baggers am Abbauort
  - ♦ Hoch- oder Tiefbaggerung
- nach der Lage des Baggergutes
  - ♦ Nass- oder Trockenbaggerung
- nach dem Antrieb der Arbeitswerkzeuge
  - ♦ Seilbagger
  - ♦ Hydraulikbagger

<sup>27</sup> MARX, A.: Bachelorprojekt: Leistungswert Hydraulikbagger; S. 12

<sup>28</sup> FICK, E.: Diplomarbeit: Übersicht über die Baugeräte, Technische Universität Graz 1995, S. 3.1.3

- nach der Fahrwerksausbildung
  - ♦ Raupenfahrwerk
  - ♦ Radfahrwerk = Mobilbagger
  - ♦ Gleisfahrwerk
  - ♦ Schreiteinrichtung
  - ♦ Schwimmbagger
- nach dem Grabgefäß
  - ♦ Löffel-, Schürfkübel-, Greifer-, Eimerketten-, Schaufelradbagger

In weiterer Folge richtet sich der Fokus auf Hydraulikbagger, Planierraupe und Grader, auf die in anschließenden Kapiteln näher eingegangen wird.

#### 4.1 Hydraulikbagger



Abb. 4.3 Hydraulikbagger Komatsu PC 450-8<sup>29</sup>

Wie bereits erwähnt wurde, zählen Bagger, und hier im Besonderen Hydraulikbagger, zu den am meisten eingesetzten Baumaschinen im Erd- und Straßenbau. Gründe dafür sind die universelle Einsetzbarkeit, hohe Anpassungsfähigkeit und Flexibilität, vielseitige Ausrüstung und hohe Leistungsfähigkeit der Hydraulikbagger.

<sup>29</sup> [http://www.komatsu.eu/komatsu-machine.asp?machine\\_type\\_id=1&prdt\\_id=366](http://www.komatsu.eu/komatsu-machine.asp?machine_type_id=1&prdt_id=366), Datum des Zugriffs: 14.07.2010, 13:13

Abhängig von den jeweiligen Gegebenheiten der Bauvorhaben kommen wahlweise

- Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk
- luftbereifte Mobilbagger
- Schreitbagger oder
- Teleskopbagger zum Einsatz.

#### 4.1.1 Aufbau

Hydraulikbagger gliedern sich im Wesentlichen in<sup>30</sup>:

- Unterwagen mit Fahrwerk
- Oberwagen mit Motor, Hydraulikpumpen und Führerstand
- Ausleger zum Anschließen der Arbeitsgeräte

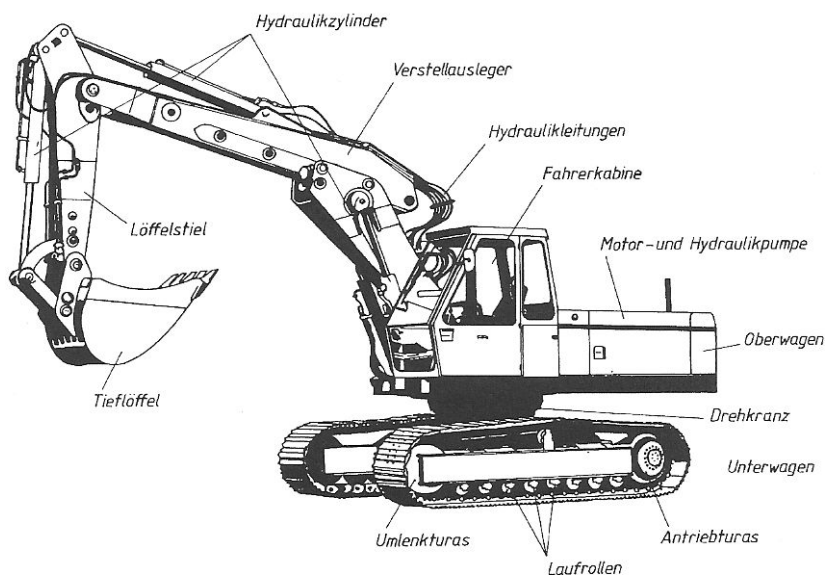


Abb. 4.4 Aufbau eines Hydraulikbaggers mit Verstellausleger<sup>31</sup>

Der Unterwagen wird entweder als Raupenfahrwerk oder luftbereift ausgeführt. Die weitaus größere Aufstandsfläche des Raupenfahrwerks gewährleistet auf schweren und nassen Böden, speziell bei Arbeiten an Hängen, aber auch in der Ebene, eine hohe Standsicherheit des Baggers. Zusätzlich wird der Untergrund geschont, da der Bodendruck

<sup>30</sup> DREES, G., KRAUB, S.: Baumaschinen und Bauverfahren, 3., völlig neu bearbeitete Auflage, Renningen: expert Verlag, 2002, S. 82

<sup>31</sup> STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 91

gering gehalten wird. Dem gegenüber punkten Mobilbagger, wie ihr Name schon erahnen lässt, mit ihrer Mobilität. Aufgrund der Straßenzulassung vieler Mobilbagger können sie kürzere Standortwechsel ohne Verladen auf Tieflader durchführen.

Der Oberwagen trägt den Antrieb einschließlich Öl- und Kraftstoffbehälter sowie Kühler, Filter, Steuerventile, Stellteile, Fahrerkabine, das Gegengewicht und die Aufhängung des Auslegers.<sup>32</sup>

Für Ausleger stehen mit Verstell- und Monoblockausleger sowie der Klappschaufeleinrichtung drei Varianten zur Auswahl. Verstellausleger sind sehr beweglich und erhöhen im Gegensatz zum Monoblockausleger die Reichweite, der aber seinerseits wesentlich stabiler ist.

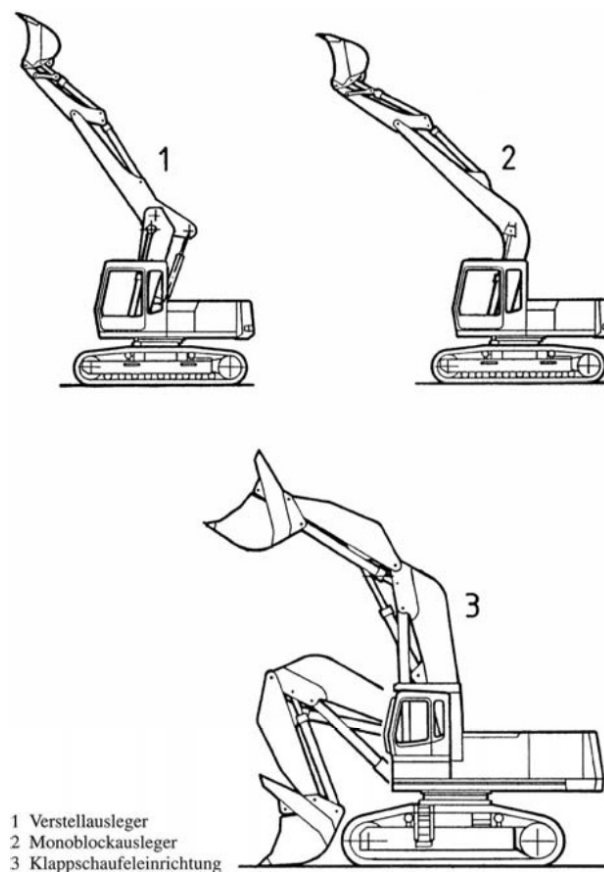


Abb. 4.5 Arbeitsausrüstungen für Hydraulikbagger<sup>33</sup>

<sup>32</sup> vgl. KUNZE, G., GÖHRING, H., JACOB, K.: Baumaschinen, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg Verlag, 2002, S. 160

<sup>33</sup> KÖNIG, H.: Maschinen im Baubetrieb; 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 2008, S. 89



#### 4.1.2 Arbeitsweise

Durch die Unterteilung in Ober- und Unterwagen und deren Kugeldrehverbindung ist es möglich den Oberwagen um 360° zu drehen, was ein sehr bewegliches Arbeiten ermöglicht. Diese Drehbewegung wird ebenso wie sämtliche Bewegungen des Auslegers hydraulisch erzeugt. Dabei speist der Dieselmotor mehrere Ölpumpen, welche einen Druck von 250 bis 400 bar erzeugen. Über Druckschläuche wird die Hydraulikflüssigkeit zu Ölmotoren oder Druckzylindern geleitet, die die einzelnen Bewegungsvorgänge ausführen.<sup>34</sup>

Vor Beginn der Arbeiten muss mittels Absteckung die Größe, Neigung und Tiefe des auszuhebenden Bereichs definiert werden. Um in weiterer Folge den Aushub weitestgehend exakt ausführen zu können muss dem Maschinisten ein Arbeiter zur Einweisung zur Seite gestellt werden.

#### 4.1.3 Arbeitsausrüstung

Ein entscheidender Punkt für die Vormachtstellung des Baggers als Erdbaumaschine sind seine vielfältigen Arbeitsausrüstungen. Diese machen ihn universell einsetzbar, weshalb er auch als Universalbagger bezeichnet wird. Die Grundausrüstung setzt sich aus Ausleger, Stiel und Löffel zusammen.

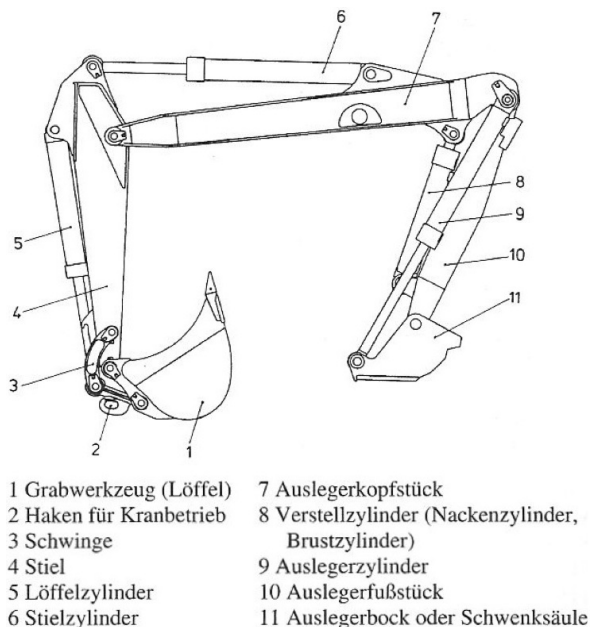


Abb. 4.6 Tieflöffel-Arbeitsausrüstung am Hydraulikbagger<sup>35</sup>

<sup>34</sup> vgl. STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 91

<sup>35</sup> KUNZE, G., GÖHRING, H., JACOB, K.: Baumaschinen, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg Verlag, 2002, S. 162

Hierbei gibt es aber bei jedem dieser Teile eine Vielzahl an Variationsmöglichkeiten. Dabei unterscheiden sich Ausleger und Stiele zumeist in deren Länge, um gewünschte Reichweiten zu gewährleisten. Löffel können je nach Arbeitsaufgabe eine völlig andere Funktion und Aussehen haben, lassen sich aber binnen kürzester Zeit wechseln und sorgen somit für große Flexibilität. Dabei ist aber immer darauf zu achten, dass der Löffelinhalt an die Baggergröße und die Stiellänge angepasst wird. Abb. 4.7 gibt einen Überblick über diverse Löffeltypen.

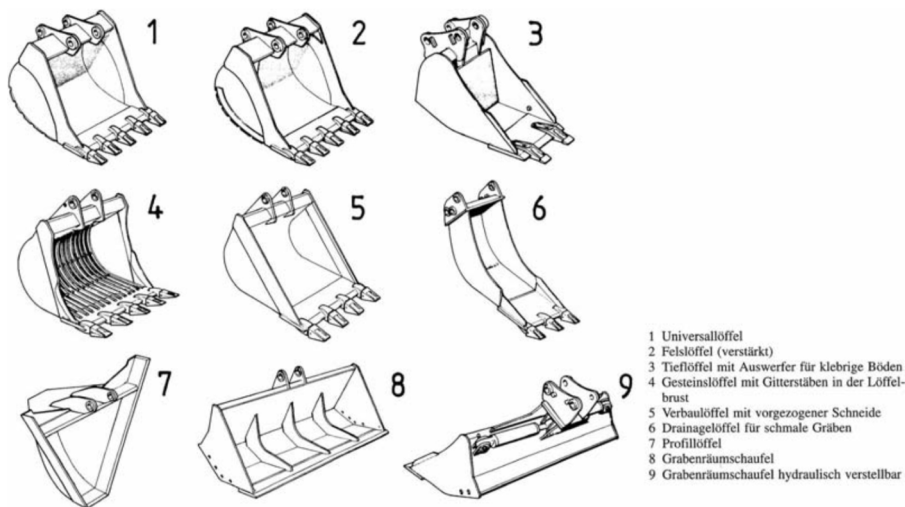


Abb. 4.7 Löffeltypen<sup>36</sup>

<sup>36</sup> KÖNIG, H.: Maschinen im Baubetrieb; 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 2008, S. 91

#### 4.1.4 Reichweitendiagramme (Grabkurven)

Um sicherzustellen, dass sich Hydraulikbagger auch für die zu verrichtende Arbeit eignen, liegen Grabkurven vor. Diese bilden die Reichweite der Maschine in Höhe, Tiefe und Länge ab.

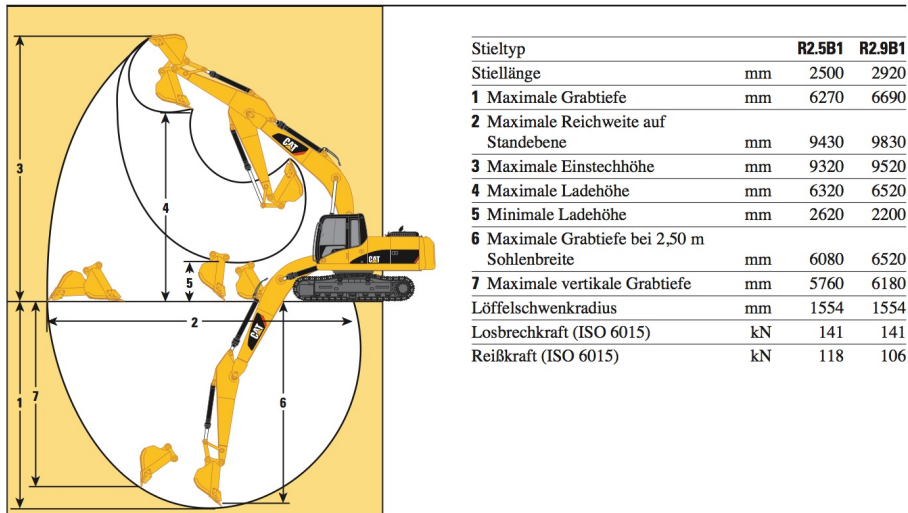


Abb. 4.8 Grabkurve Hydraulikbagger CAT 320D L<sup>37</sup>

<sup>37</sup> [http://www.zeppelin-cat.at/img/pdfs/bagger/kettenbagger\\_8\\_40/G-3325-1-320D-Specialog.pdf](http://www.zeppelin-cat.at/img/pdfs/bagger/kettenbagger_8_40/G-3325-1-320D-Specialog.pdf), Datum des Zugriffs: 15.07.2010, 16:38

## 4.2 Planierraupe



Abb. 4.9 Planierraupe Komatsu D275AX-5<sup>38</sup>

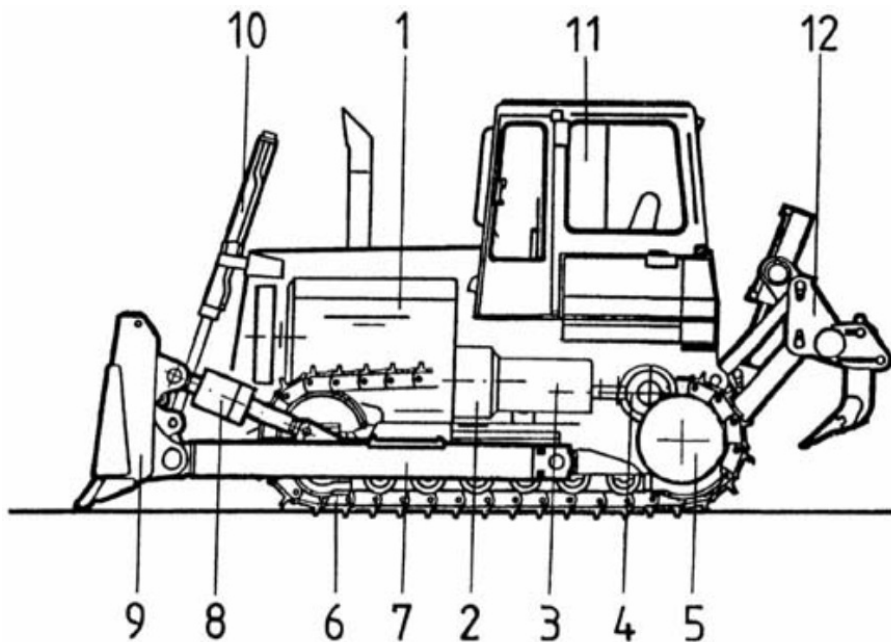
Planierraupen haben einerseits die Aufgabe Erdreich in dünnen Schichten abzutragen (Mutterbodenabtrag) und über kurze Strecken zu transportieren, andererseits kommen sie aber auch beim Bodeneinbau zum Einsatz. Dabei stellen Planierraupen ebene Einbauflächen, wie zum Beispiel den Untergrund eines Straßenkörpers, maßgenau her.

### 4.2.1 Aufbau

Planierraupen gliedern sich im Wesentlichen in:

- Kettenfahrwerk
- Fahrerkabine
- Dieselmotor
- hydraulische Einrichtungen
- Schubrahmen
- Arbeitsausrüstung

<sup>38</sup> [http://www.komatsu.eu/komatsu-machine.asp?machine\\_type\\_id=13&prdt\\_id=173](http://www.komatsu.eu/komatsu-machine.asp?machine_type_id=13&prdt_id=173), Datum des Zugriffs: 14.07.2010, 14:13



- |                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| 1 Antriebsmotor               | 7 Schubrahmen        |
| 2 Drehmomentwandler           | 8 Tiltzylinder       |
| 3 Lastschaltgetriebe          | 9 Planierschild      |
| 4 Lenkkupplung und Lenkbremse | 10 Hubzylinder       |
| 5 Antriebsrad                 | 11 ROPS-Fahrerkabine |
| 6 Kettenlaufwerk              | 12 Heckaufreißer     |

Abb. 4.10 Aufbau einer Planiererraupe<sup>39</sup>

#### 4.2.2 Arbeitsweise

Wie in Abb. 4.1 zu sehen ist, kommen Planiererraupen nur bei Transportweiten von unter 75 m zum Einsatz, wobei der wirtschaftlichste Einsatz zwischen 40 und 60 m vorliegt. Während eines Arbeitszuges wird die Planiererraupe im Normalfall nicht gewendet. Das heißt, dass nach dem Abschieben einer Länge die Maschine wieder leer zum Ausgangspunkt zurückfährt. Dabei werden Geschwindigkeiten von 2 bis 6 km/h (Schubfahrt) und 7 bis 11 km/h (Leerfahrt) erreicht.<sup>40</sup>

Um höhengerecht planieren zu können ist eine vermessungstechnische Vorbereitung in Form einer Absteckung sowie ein zusätzlicher Arbeiter, der die Planiererraupe einweist, unerlässlich.

<sup>39</sup> KÖNIG, H.: Maschinen im Baubetrieb; 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 2008, S. 134

<sup>40</sup> HOFFMANN, M.: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 7., vollständig überarbeitete Auflage, Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006, S. 624

Durch die kraftschlüssige Verbindung zwischen Kettenfahrwerk und Boden haben Planierraupen ein sehr gutes Steigvermögen, und es können Steigungen von bis zu 100% befahren werden.

Um einen effizienten Einsatz zu gewährleisten, müssen schon im Vorhinein die verschiedenen Bauteile, wie Schild oder Aufreißer, richtig aufeinander abgestimmt werden. Je nach Arbeitsbedingungen gilt es, Motorleistung und eingesetzte Arbeitsausrüstung richtig zu kombinieren. Bei Auswahl der Schildbreite ist dabei das Verhältnis von Motorleistung zur Schildbreite (kW/m) unbedingt zu beachten. Bei kleineren Planier-  
raupen beträgt es ca. 20 kW/m, bei großen dagegen bis zu 100 kW/m.<sup>41</sup>

#### 4.2.3 Arbeitsausrüstung

Die Hauptarbeitsausrüstung einer Planierraupe ist die Planiereinrichtung, das Schild. Je nach Schildform wird unterteilt in<sup>42</sup>:

- S-Schild (engl. Straight blade)

Das auch Brust-, Quer- oder Standardschild genannte S-Schild ist für alle Raupengrößen geeignet und somit das am meisten verwendete Schild. Es ist völlig gerade ausgeführt, wobei die Enden nach vorne abgewinkelt sind. Zum Einsatz kommt das S-Schild, vorwiegend um die Feinplanierung durchzuführen.

- U-Schild (engl. Universal blade)

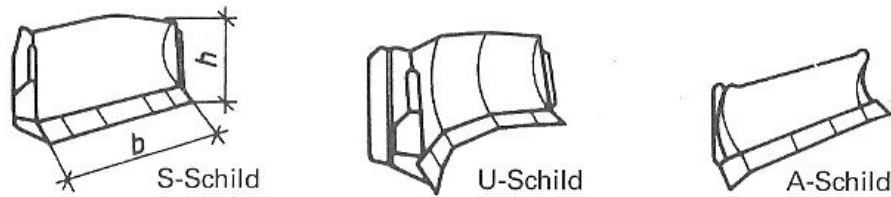
Durch die breit nach vorne abgewinkelten Flügel des Universalschildes erhöht sich die Schildkapazität beträchtlich. Aus diesem Grund kommt es fast ausschließlich bei Raupen mit hohen Antriebsleistungen zum Einsatz, um Schüttgüter oder lose Böden zu transportieren.

- A-Schild (engl. Angle blade)

Das A-Schild, besser bekannt als Schwenkschild, zeichnet sich durch eine große Schildbreite und geringe Schildhöhe aus. Es ist beidseitig schwenkbar, wodurch eine Schildschrägstellung erreicht werden kann, die es ermöglicht, Material bei Planierarbeiten seitlich abzuschieben.

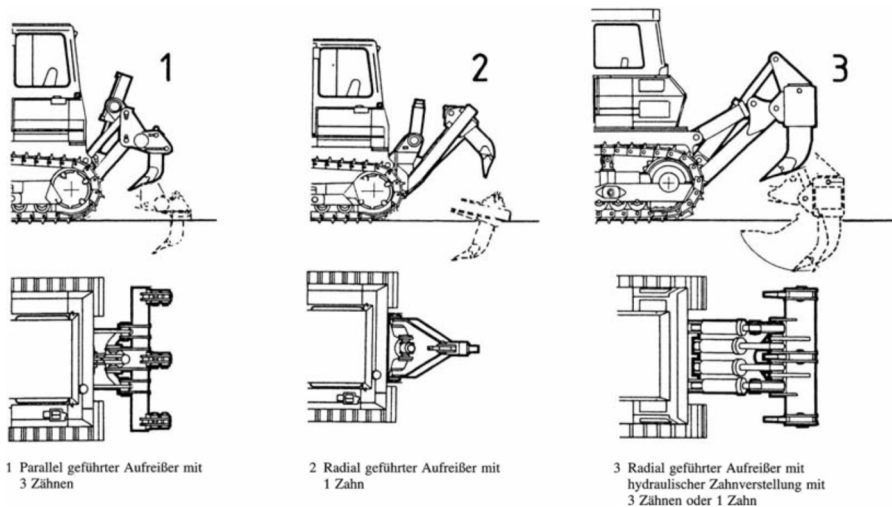
<sup>41</sup> DREES, G., KRAUß, S.: Baumaschinen und Bauverfahren, 3., völlig neu bearbeitete Auflage, Renningen: expert Verlag, 2002, S. 118

<sup>42</sup> HOFFMANN, M.: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 7., vollständig überarbeitete Auflage, Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006, S. 624

Abb. 4.11 Schildformen<sup>43</sup>

Da auf festen Böden oder auf leichtem Fels das alleinige Arbeiten mit dem Schild nicht ausreicht, sind die meisten Planiertrauen zusätzlich mit einem Heckaufreißer ausgestattet. Mit ihm ist es möglich, den anstehenden Boden zu lösen oder zu lockern und so einen Schildeinsatz erst möglich zu machen. Man unterscheidet folgende Typen von Heckaufreißern<sup>44</sup>:

- Parallel geführte Aufreißer mit 3 Zähnen
- Radial geführte Aufreißer meist mit 1 Zahn
- Radial geführter Aufreißer mit hydraulischer Zahnverstellung mit 3 Zähnen oder 1 Zahn

Abb. 4.12 Heckaufreißer an Planiertrauen<sup>45</sup>

<sup>43</sup> HOFFMANN, M.: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 7., vollständig überarbeitete Auflage, Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006, S. 624

<sup>44</sup> KÖNIG, H.: Maschinen im Baubetrieb; 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 2008, S. 141

<sup>45</sup> KÖNIG, H.: Maschinen im Baubetrieb; 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 2008, S. 142

### 4.3 Grader



Abb. 4.13 Grader Volvo G940<sup>46</sup>

Der Grader, auch Erd- oder Straßenhobel genannt, kommt hauptsächlich bei den abschließenden Arbeiten des Erdbaus zum Einsatz. Zu seinen Aufgaben gehören die Herstellung des Feinplanums und der Bankette, das Schneiden von Böschungen und Gräben oder das Instandhalten von Baustraßen. Aufgrund der hohen erreichbaren Lage- und Höhen- genauigkeit werden Grader auch beim Einbau von Frost- und Sauberkeitsschichten im Straßenbau eingesetzt.<sup>47</sup>

#### 4.3.1 Aufbau

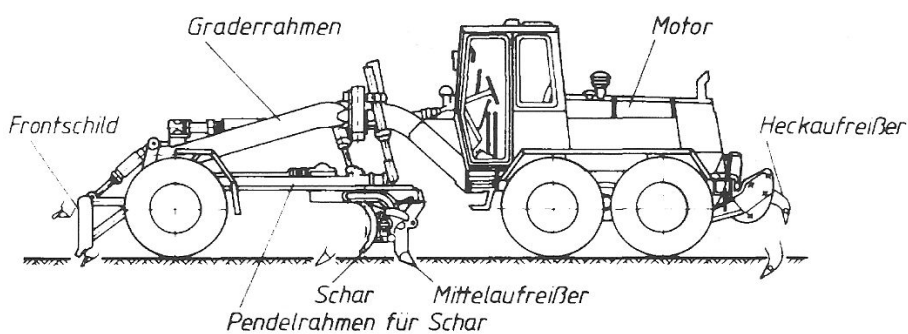


Abb. 4.14 Aufbau eines Dreiachsgraders<sup>48</sup>

<sup>46</sup> <http://www.volvo.com/dealers/de-de/Volvo/products/motorgaders/G940/introduction.htm> Datum des Zugriffs: 14.07.2010, 14:22

<sup>47</sup> vgl. DREES, G., KRAUß, S.: Baumaschinen und Bauverfahren, 3., völlig neu bearbeitete Auflage, Renningen: expert Verlag, 2002, S. 125

<sup>48</sup> STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003, S. 98



Grader können wahlweise mit einem zwei- oder dreiachsigen, luftbereiften Fahrwerk ausgestattet sein. Sie besitzen sowohl eine hydraulische Knicklenkung mit einem beidseitigen Knickwinkel von bis zu 30°, als auch eine Achsschenkellenkung der Vorderräder mit einem Lenkeinschlag von 35° bis 45°. Das verschafft Gradern eine hohe Manövrierfähigkeit und ermöglicht ihnen extrem kleine Wenderadien.<sup>49</sup>

Das Arbeitswerkzeug, die 2,5 bis 4,8 m lange Schar, ist im Gegensatz zu Planierraupen nicht an der Front der Maschinen, sondern zwischen Vorder- und erster Hinterachse montiert. Aufgrund dieser Tatsache können Grader erheblich größere Genauigkeiten gegenüber anderen Planiergeräten erreichen. Das Verstellen der Drehkränze und Hydraulikzylinder führt zu vielfältigen Scharstellungen, die das Arbeitswerkzeug an verschiedenste Arbeitsaufgaben anpassen.

#### 4.3.2 Arbeitsweise

Um die geforderten Genauigkeiten von Feinplanierarbeiten, die heutzutage im mm-Bereich liegen, zu erreichen, ist es für Grader wichtig mit einer ausreichenden Geschwindigkeit zu arbeiten. So bewegen sie sich bei der Unterhaltung von Straßen mit 10 bis 20 km/h vorwärts, bei der Bearbeitung von Böschungen und Gräben mit bis zu 8 km/h und im Leerlauf mit bis zu 40 km/h. Die Wendigkeit von Gradern und die um 360° drehbare Schar ermöglicht es auch auf der Rückfahrt zu arbeiten und nicht leer an den Startpunkt zurückzukehren.<sup>50</sup>

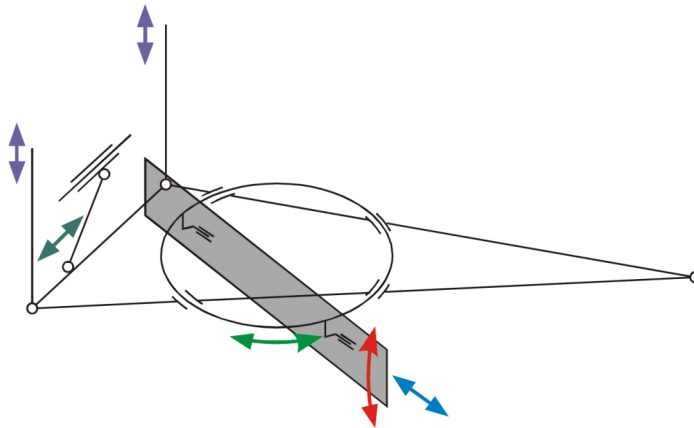
Wie bereits angesprochen, zeichnen sich Grader durch ihre Flexibilität aus. Die Bewegung der Schar hat aufgrund der Konstruktionsweise fünf Freiheitsgrade<sup>51</sup>:

- Querverschieben der Schar
- Neigungsänderung (Schnittwinkel 25° bis 80°) der Schar
- Drehen (bis 360°) im Drehkranz
- Schwenken (bis 90°) des Pendelrahmens um eine senkrechte Achse durch das Kugelgelenk
- Schwenken (bis 90°) des Pendelrahmens um eine waagrechte Achse durch das Kugelgelenk

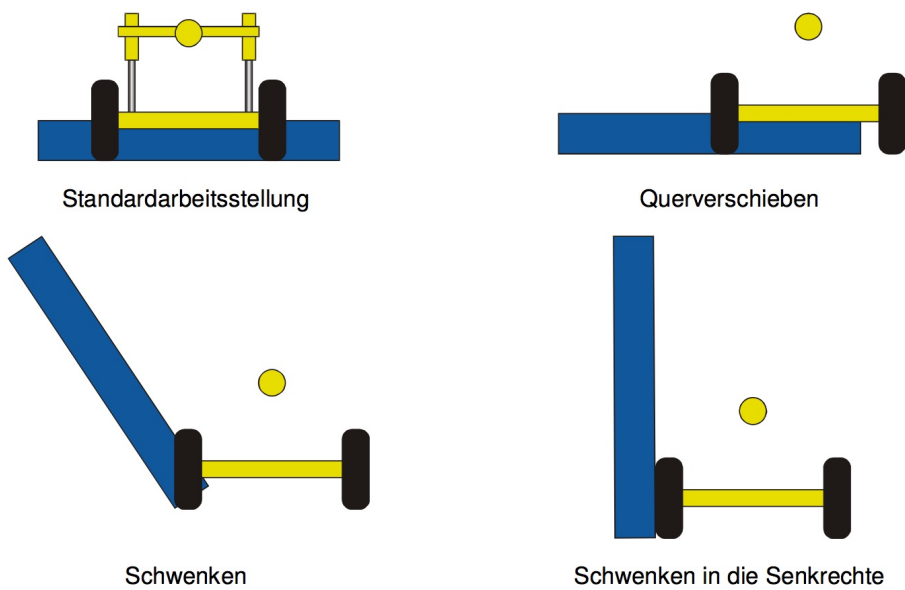
<sup>49</sup> vgl. KÖNIG, H.: Maschinen im Baubetrieb; 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 2008, S. 154

<sup>50</sup> vgl. HOFFMANN, M.: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 7., vollständig überarbeitete Auflage, Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006, S. 629

<sup>51</sup> vgl. KUNZE, G., GÖHRING, H., JACOB, K.: Baumaschinen, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg Verlag, 2002, S. 202

Abb. 4.15 Kinematik der Scharlagerung<sup>52</sup>

Dadurch lässt sich neben der Feinplanierung in der Ebene eine Vielzahl von Arbeitsaufgaben bewältigen, wie Abb. 4.16 zeigt.

Abb. 4.16 Stellungen der Schar<sup>53</sup>

Entscheidend für die Produktivität ist neben der richtigen Dimensionierung der Maschine, die richtige Scharneigung und der damit erreichte Schnittwinkel. So werden flache Schnittwinkel zum Schälen von Rasenflächen oder Banketten verwendet, steile Schnittwinkel zum

<sup>52</sup> MEYER, H.J.: Skriptum Grundlagen mobiler Arbeitsmaschinen, Technische Universität Berlin 2009, S. 18

<sup>53</sup> MEYER, H.J.: Skriptum Grundlagen mobiler Arbeitsmaschinen, Technische Universität Berlin 2009, S. 18

Abziehen des Planums, zum Materialeinbau und zum Schneiden von Böschungen.<sup>54</sup>

Wie auch bei Planiertraupen muss der zu bearbeitende Bereich abgesteckt werden um die Höhe bzw. Neigung des Planums zu kennzeichnen. In neuen Maschinen kommen Nivelliersysteme zum Einsatz, die dem Fahrer helfen, Querneigung und Höhe der Schar noch genauer einzustellen. Hierbei handelt es sich einerseits um Ultraschallsysteme, die mit Hilfe von Referenzpunkten, wie zum Beispiel einem gespannten Draht oder eines Bordsteins, die gewünschten Daten liefern. Andererseits kommen auch Rotationslaser zum Einsatz, die die an der Schar angebrachten Laserempfänger mit Geländedaten versorgen. In beiden Fällen ist es möglich, die Schar mittels Bordcomputer automatisch zu steuern.

### 4.3.3 Arbeitsausrüstung

Um das Aufgabenspektrum von Gradern zu erweitern, stehen neben der Schar noch folgende Zusatzausrüstungen zur Verfügung<sup>55</sup>:

- Frontplanier- und Räumschild
- Aufreißer (Front-, Heck- und Scharaufreißer)
- Bodenfräse und Wassertank
- Laser-Nivellierautomatik

Neben den bereits angeführten Erdbaugeräten kommen im Straßenbau noch weitere Maschinen zum Einsatz. Hierbei handelt es sich um:

- Schwarzdeckenfertiger
- Betondeckenfertiger
- Bodenvermörtelungsgeräte
- Straßenfräsen

In weiterer Folge werden Schwarz- und Betondeckenfertiger näher beschrieben.

<sup>54</sup> vgl. KÖNIG, H.: Maschinen im Baubetrieb; 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 2008, S. 156

<sup>55</sup> HOFFMANN, M.: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 7., vollständig überarbeitete Auflage, Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006, S. 629

#### 4.4 Schwarzdeckenfertiger



Abb. 4.17 Schwarzdeckenfertiger Vögele SUPER 2500<sup>56</sup>

Zur Herstellung von bituminösen Deckschichten kommen heutzutage fast ausschließlich Schwarzdeckenfertiger zum Einsatz. Sie haben die Aufgabe das bereits fertig angelieferte Mischgut, den Asphalt, gleichmäßig zu verteilen, zu glätten und auch in einem bestimmten Maß zu verdichten.

Die Anforderungen, die an einen Schwarzdeckenfertiger gestellt werden, sind<sup>57</sup>:

- leichte Bedienbarkeit
- schnelle Verstellbarkeit der Arbeitsbreiten
- hohe Verdichtungswirkung durch Vorverdichtungs- und Hochverdichtungsbohlen
- große Ebenheit durch Höhenverstellsysteme und entsprechende Abtastungen

<sup>56</sup> [http://www.voegele.info/de/produkte/super\\_serie/raupenfertiger/super\\_2500/SUPER\\_2500\\_-\\_Einzelseite.php](http://www.voegele.info/de/produkte/super_serie/raupenfertiger/super_2500/SUPER_2500_-_Einzelseite.php) Datum des Zugriffs: 22.03.2010, 19:20

<sup>57</sup> vgl. KÖNIG, H.: Maschinen im Baubetrieb; 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 2008, S. 207

#### 4.4.1 Aufbau

Generell bestehen Schwarzdeckenfertiger aus<sup>58</sup>:

- Grundgerät mit Raupen- oder Radfahrwerk
- Mulde zur Asphaltaufnahme mit Abzugsvorrichtung
- Verteilerschnecke und
- Verdichtungsbohle

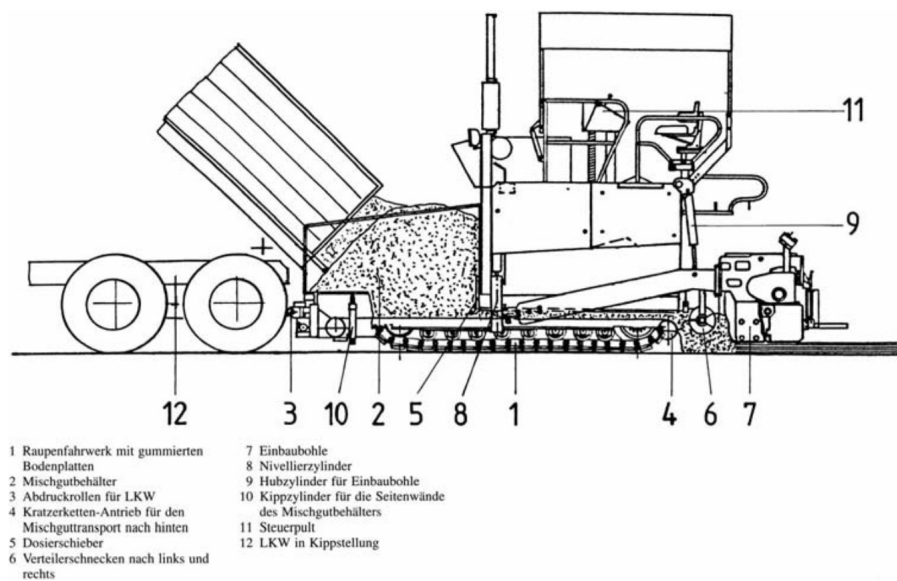


Abb. 4.18 Schema eines Schwarzdeckenfertigers<sup>59</sup>

Als Einbauelement fungiert die Bohle, die meist eine Grundbreite von 2,5 oder 3 m hat. Großfertiger haben allerdings oftmals sogenannte Ausziehbohlen mit denen man die Arbeitsbreite durch Hydraulikzylinder stufenlos auf bis zu 6 m vergrößern kann. Des Weiteren besteht auch die Möglichkeit seitlich zusätzliche Bohlen anzuschrauben, um somit Arbeitsbreiten von bis zu 16 m zu erreichen.

#### 4.4.2 Arbeitsweise

Der Walzasphalt wird mit einer Temperatur von mindestens 120° mit LKW angeliefert und in den Mischgutbehälter des Fertigers gekippt. Da das Ladevolumen der LKW zumeist das Fassungsvermögen des

<sup>58</sup> DREES, G., KRAUß, S.: Baumaschinen und Bauverfahren, 3., völlig neu bearbeitete Auflage, Renningen: expert Verlag, 2002, S. 180

<sup>59</sup> KÖNIG, H.: Maschinen im Baubetrieb; 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 2008, S. 208

Mischgutbehälters übersteigt, besitzt der Fertiger sogenannte Abdruckrollen. Diese ermöglichen ihm den LKW so lange vor sich her zu schieben, bis er vollständig entleert ist.

Vom Mischgutbehälter transportieren Kratzerketten, Förderbänder oder Förderschnecken den Asphalt zur Einbaubohle, wo ihn abermals Verteilerschnecken über die gesamte Arbeitsbreite aufteilen. Der Asphalt wird, je nach Einbaustärke, Verdichtungsmaß und Überhöhung verteilt und schließlich von der Bohle nivelliert und vorverdichtet. Die Nivellierung erfolgt dabei mittels einer Nivellierautomatik, die einen gespannten Draht, auch Leitdraht genannt, als Referenz hat und Höhengenaugigkeiten im mm-Bereich erreicht. Nach der Vorverdichtung durch den Fertiger sorgen Walzen für die noch erforderliche Hauptverdichtung.

In Abhängigkeit vom Fahrwerk und der Motorleistung lassen sich bei störungsfreiem Betrieb Arbeitsgeschwindigkeiten von bis zu 20 m/min bei einer maximalen Einbaustärke von 40 cm erreichen. Je nach Kombination dieser beiden Werte ergibt das eine durchschnittliche Einbauleistung von 100 bis 600 t/h.<sup>60</sup>

---

<sup>60</sup> HOFFMANN, M.: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 7., vollständig überarbeitete Auflage, Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006, S. 639

## 4.5 Betondeckenfertiger



Abb. 4.19 Gleitschalungsfertiger Gomaco GHP-2800<sup>61</sup>

Für hochbeanspruchte Fahrbahnen, wie zum Beispiel Start- oder Landebahnen von Flughäfen oder viel befahrene Autobahnen mit einem hohen Anteil an Schwerverkehr, eignen sich Betonfahrbahndecken besser als bituminöse Fahrbahndecken. Der Grund dafür ist ihre Verformungsstabilität bei hohen Temperaturen sowie starker Belastung, wodurch eine längere Lebensdauer erreicht wird.

Zur Herstellung kommen Gleitschalungsfertiger zum Einsatz, die sämtliche Funktionen in sich vereinen, die früher von 3 Einzelmaschinen erledigt wurden.

### 4.5.1 Aufbau

Geht man von der früheren Herstellung von Betonfahrbahndecken aus, so könnte man Gleitschalungsfertiger unterteilen in:

- Betonverteiler
- Betondeckenfertiger und
- Nivellierglätter

<sup>61</sup> <http://www.gomaco.com/Resources/photos/newgenhgp2800/fourtrack/HW-040307-13A.jpg>, Datum des Zugriffs: 22.03.2010, 19:02

Im Detail sieht der Aufbau eines Gleitschalungsfertigers wie folgt aus:

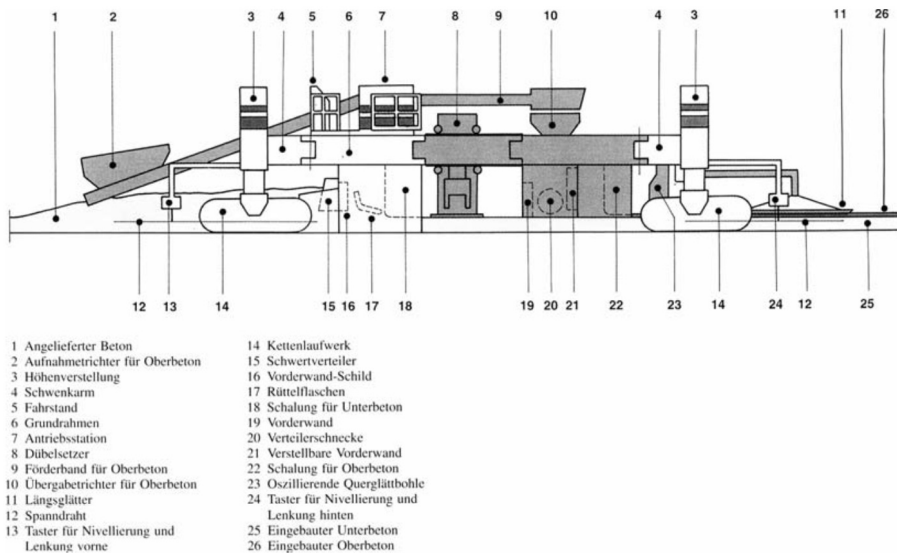


Abb. 4.20 Schema eines Betondeckenfertigers für zweilagigen Einbau<sup>62</sup>

Das Mitführen der Gleitschalungen hat im Gegensatz zu den früher verwendeten, genau eingemessenen Schalungsschienen, ein viel wirtschaftlicheres Arbeiten zur Folge und senkt die Einbaukosten deutlich.

Die üblichen Arbeitsbreiten von Gleitschalungsfertigern bewegen sich zwischen 2,5 und 22,5 m, wobei Deckenstärken von 15 bis 40 cm zur Ausführung kommen. Berücksichtigt man die Arbeitsgeschwindigkeit des Fertigerns (max. 15 bis 18 m/min, üblich 0,6 bis 1,0 m/min), können Einbauleistungen von ca. 130 bis 640 m<sup>3</sup>/h erreicht werden.<sup>63</sup>

#### 4.5.2 Arbeitsweise

Betondecken können in ein- oder zweilagiger Bauweise hergestellt werden, wobei der zweilagige Einbau viele Vorteile mit sich bringt und somit hauptsächlich angewendet wird. Üblich ist dabei ein Einbau „frisch auf frisch“, was bedeutet, dass die Oberbetonschicht unmittelbar nach der Unterbetonschicht eingebaut wird, und sich diese beiden somit am besten verbinden. Die Nivellierung erfolgt bei konventioneller Fertigung mittels Leitdraht, der als Referenz dient.

<sup>62</sup> KÖNIG, H.: Maschinen im Baubetrieb; 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 2008, S. 231

<sup>63</sup> HOFFMANN, M.: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 7., vollständig überarbeitete Auflage, Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006, S. 641



Der Einbau von Betondecken mit einem Gleitschalungsfertiger besteht aus folgenden Arbeitsschritten<sup>64</sup>:

- Verteilen des Betons innerhalb der mitgeführten Schalung

Der von den LKW angelieferte Beton wird vor den Fertiger gekippt und mittels einer Verteilerschnecke auf die gesamte Einbaubreite verteilt.

Die Zuführung des Oberbetons erfolgt über einen separaten Beschicker und einem Förderband zur Verteilerschnecke.

- Verdichten des Betons

Die Verdichtung des Betons erfolgt durch die Rüttelbohle, die den Beton statisch (Auflast) und dynamisch (Schwingungen) verdichtet.

- Glätten des Betons

Längs- und Querglätter sorgen für eine absolut ebene und dicht geschlossene Decke.

- Setzen von Dübeln und Ankern

An Querschnitten sorgen Dübel für die Übertragung der Lasten, gleichzeitig gewährleisten sie aber auch die Höhenstabilität der Betonplatten. Anker sollen an Längsschnitten das Auseinanderdriften der Betonplatten vermeiden.

- Glätten des Betons

Aufgrund des Setzens der Dübel und Anker wird der Beton erneut geglättet.

- Oberflächenbearbeitung

Die im Straßenverkehr erforderliche Griffigkeit der Fahrbahn wird durch einen Besenstrich oder durch das Nachziehen eines Jutetuchs erreicht, was der Oberfläche eine Strukturierung verleiht.

- Nachbehandlung

Das Aufsprühen eines Kunststofffilms soll sicherstellen, dass der frische Beton nicht zu schnell austrocknet und gegen äußere Einflüsse geschützt ist.

Abschließend werden die ca. 70 mm tiefen Längs- und Querschnitten in den Beton geschnitten, die vermeiden sollen, dass im Beton, aufgrund von Temperaturunterschieden sowie Kriech- und Schwinderscheinungen, Risse entstehen.

<sup>64</sup> DREES, G., KRAUS, S.: Baumaschinen und Bauverfahren, 3., völlig neu bearbeitete Auflage, Renningen: expert Verlag, 2002, S. 185

## 5 Satellitenavigation



Abb. 5.1 Satellitenavigation<sup>65</sup>

Seit je her ist es den Menschen wichtig, ihre gegenwärtige Position auf dem Erdball zu wissen bzw. bestimmen zu können. Somit ist die Navigation bereits seit Hunderten von Jahren ein Bestandteil des menschlichen Daseins. Dies geschah anfänglich mit Hilfe der Orientierung an der Sonne und den Gestirnen, aber auch an markanten Punkten auf der Erde. Es kamen also rein optische Methoden zum Einsatz, die klare Sicht voraussetzten.

Der nächste Entwicklungsschritt waren funktechnische Systeme, die mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen die Position eines Objektes bestimmten. Allerdings musste ein Kompromiss zwischen Reichweite und Genauigkeit der Ortung gefunden werden, denn mit zunehmender Entfernung sank die Präzision dieser Funknavigationssysteme. Die Entwicklung dieser Verfahren wurde speziell in den Jahren vor und während des II. Weltkrieges vorangetrieben, um sich mittels Radarstationen einen Vorteil gegenüber seinem Gegner zu verschaffen.

Dem Militär ist es auch zu verdanken, dass der nächste Schritt in der Entstehung eines globalen Ortungs- und Navigationssystems gemacht wurde. Im Zuge des Starts des Satelliten Sputnik (1957) wurde die Idee geboren, die bis dato nur am Boden installierten Funkstationen in einem (oder mehreren) Satelliten zu verwenden. Somit war es möglich, die

<sup>65</sup> <http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2316534,00.asp> Datum des Zugriffs: 13.08.2010, 18:02

Navigation weltweit nutzbar, ständig verfügbar und vor allem um vieles genauer zu machen.

Was anfänglich nur zu militärischen Zwecken entwickelt und verwendet wurde, sollte bald seinen weltweiten, zivilen Siegeszug antreten. So findet die Technologie der Satellitennavigation heute Anwendung in:

- Schifffahrt
- zivile Luftfahrt
- Straßenverkehr
- Logistik
- Land- und Forstwirtschaft
- Vermessungswesen
- Bauwesen etc.

Zuletzt hielt die Satellitenortung durch den kostengünstigen und platzsparenden Einsatz von Navigationsgeräten auch Einzug in private PKWs und ersetzte so die altbewährten Land- und Straßenkarten fast zur Gänze.

## 5.1 Prinzip der Satellitenortung

Das Ziel der Satellitenortung ist es, eine weltweite, präzise Ortung von Objekten jederzeit und unabhängig von jeglichen Umwelteinflüssen zu ermöglichen.

Die Ortung eines Objektes auf der Erde entspricht, aus geometrischer Sicht, der Lokalisation eines Punktes im Raum. Um dieses Problem zu lösen gibt es mehrere Möglichkeiten, doch die heute eingesetzten Navigationssysteme bedienen sich dem Prinzip der Entfernungsmessung und Trilateration.

Um die Entfernung zwischen einem Satelliten und dem zu ortenden Objekt festzustellen, sendet der Satellit ein elektromagnetisches Signal aus, dem die Zeitmarke der Aussendung ( $t_S$ ) und seine eigene Position im jeweiligen Positionsbezugssystem aufmoduliert ist. Der Empfänger kann aufgrund der Zeitmarke und der Empfangszeit ( $t_E$ ) die Dauer berechnen, die das Signal benötigte, um die Strecke zurückzulegen. Geht man von absolut synchronen (Sender- und Empfänger-) Uhren aus, so kann die Entfernung mittels

$$r = v \cdot (t_E - t_S)^{66}$$

errechnet werden. Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v$  einer elektromagnetischen Welle im Vakuum gleich der Lichtgeschwindigkeit

<sup>66</sup> KORB, K.: wissenschaftliche Prüfungsarbeit: Satellitennavigation in der Schule, Universität Mainz 2008, S. 11

( $c \approx 3 \cdot 10^8$  m/s) ist, ergibt sich die Entfernung  $r$  zwischen Satellit und Empfänger aus

$$r = c \cdot \Delta t$$

Im Raum liegt der Empfänger somit auf einer Kugeloberfläche, die den Satelliten als Mittelpunkt und  $r$  als Radius besitzt.

Um den exakten Standort des Empfängers feststellen zu können, bedient man sich dem Verfahren der Trilateration. Durch Kenntnis der Daten von mindestens zwei weiteren Satelliten kann man das Problem mittels Schnitt dreier Kugeln lösen, die sich in nur zwei Punkten schneiden. Nur einer dieser beiden Punkte ergibt eine sinnvolle Lösung, womit der zweite Punkt außer Acht gelassen werden kann.

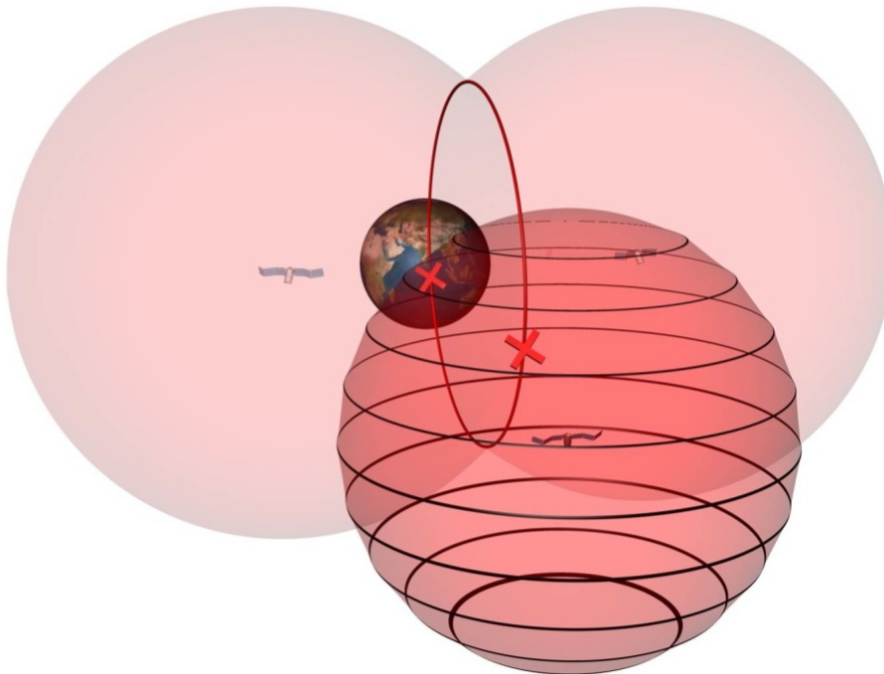
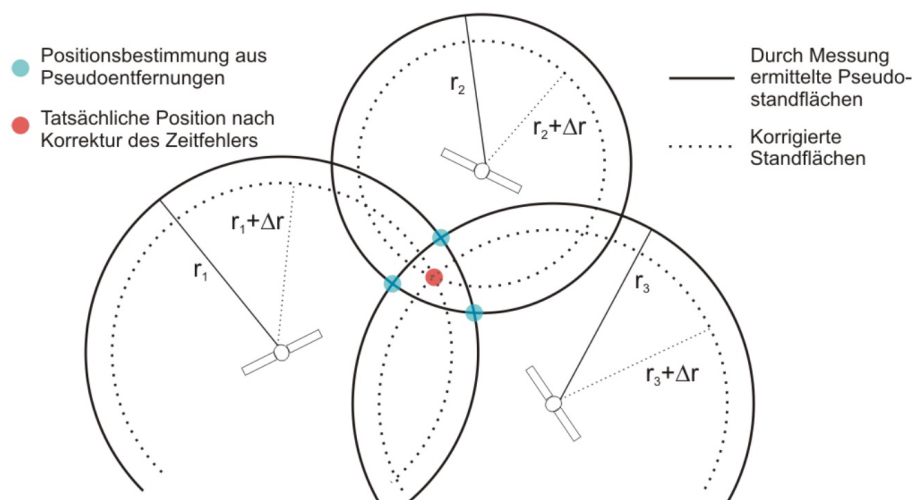


Abb. 5.2 Positionsbestimmung mittels Schnitt dreier Kugeln<sup>67</sup>

Wie bereits erwähnt, ist dieses Verfahren nur zielführend, wenn die Uhren im Sender und im Empfänger synchron laufen. Da dies leider nicht der Fall ist, sind die ermittelten Strecken vorerst nur sogenannte Pseudostrecken, die jeweils um den Betrag  $\Delta r$  von der wahren Entfernung abweichen.

<sup>67</sup> KORB, K.: wissenschaftliche Prüfungsarbeit: Satellitennavigation in der Schule, Universität Mainz 2008, S. 11

Abb. 5.3 Korrektur des Zeitfehlers<sup>68</sup>

Für eine vollständige dreidimensionale Ortung ist somit die Messung zu einem vierten Satelliten von Nöten. Dadurch ergibt sich ein Gleichungssystem von vier Gleichungen mit 4 Unbekannten, das als Lösung sowohl den genauen Standort als auch die genaue Uhrzeit des Empfängers ergibt.

## 5.2 Anforderungen an Navigationsdienste

Um Satellitennavigation problemlos nutzen zu können ist man natürlich auf exakte Ergebnisse der Ortung angewiesen. Für Navigationssysteme reicht es aber nicht, nur eine gewisse Genauigkeit zu gewährleisten, sondern es werden noch weitere Parameter zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit herangezogen. Diese sind je nach Ortungsaufgabe verschieden gewichtet, können aber generell unterteilt werden in<sup>69</sup>:

- Justitiabilität der Nutzung, d.h. die rechtliche Verankerung (Liability)
- Glaubwürdigkeit bzw. Integrität (Integrity)

Unter Integrität versteht man die Warnfunktion, die den Nutzer (rechtzeitig) darüber in Kenntnis setzt, wann das System nicht benutzt werden sollte.

- Verfügbarkeit des Dienstes (Availability)

Die Verfügbarkeit ist definiert durch die Wahrscheinlichkeit (den Prozentsatz der Zeit), dass ein Nutzer, der sein Gerät an irgendeinem Ort zu einer beliebigen Zeit einschaltet, den Ortungsdienst mit der

<sup>68</sup> KORB, K.: wissenschaftliche Prüfungsarbeit: Satellitennavigation in der Schule, Universität Mainz 2008, S. 14

<sup>69</sup> vgl. DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitennavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 20

spezifizierten Genauigkeit und Integrität erhält, z.B. mit  $p = 0,99$ . Damit ist die Verfügbarkeit eine Funktion der Satellitenabdeckung (Coverage).

- Stabilität der Datenversorgung/des Dienstes gegen Unterbrechungen (Continuity)

Die Kontinuität ist ein Maß für die Eigenschaft des Gesamtsystems, seine spezifizierte Genauigkeit und Integrität für die gesamte Betriebsdauer ohne zeitliche Unterbrechung zu erbringen.

- Genauigkeit der Ortung (Accuracy)

Die Genauigkeit ist ein Maß für die Fähigkeit eines Systems, ein Objekt mit 95% Wahrscheinlichkeit innerhalb vorgegebener Grenzen zu bestimmen.<sup>70</sup>

- Unempfindlichkeit des Systems/des Dienstes gegen Störungen von außen (Robustness)
- Nutzungskosten (Affordability)

Die Leistungsfähigkeit eines Systems wird allerdings durch das Zusammenspiel all dieser Faktoren bestimmt. Augenscheinlich wird dieser Zusammenhang beim Vergleich von Genauigkeit und Präzision. Ergeben Messungen immer annähernd den gleichen Wert, weichen aber vom Ziel ab, so sind sie zwar präzise, aber dennoch ungenau.

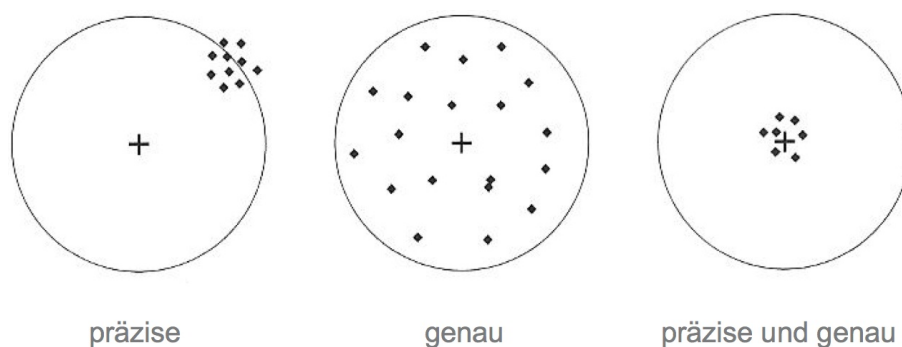


Abb. 5.4 Unterschied Präzision und Genauigkeit<sup>71</sup>

### 5.3 Satelliten und deren Umlaufbahnen

Herzstück eines jeden Navigationssystems sind die Satelliten, welche die Erde umkreisen und die zur Positionsbestimmung benötigten elektromagnetischen Wellen aussenden. Wie bereits in Kapitel 5.1 erläutert wurde, müssen für eine exakte Ortung Signale von mindestens 4 Satelliten empfangen werden. Unter der Voraussetzung, dass

<sup>70</sup> BAUER, M.: Vermessung und Ortung mit Satelliten, 4., völlig überarbeitete Auflage, Heidelberg: Wichmann Verlag, 1997, S. 148

<sup>71</sup> HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H., WASLE, E.: GNSS – Global Navigation Satellite Systems, Wien: Springer Verlag, 2008, S. 268

Satellitenavigationssysteme weltweit und zu jedem Zeitpunkt verfügbar sein sollen, gibt es eine minimale Anzahl an Satelliten, die ein System zur Verfügung stellen muss um diese Bedingung zu erfüllen.

Unter Anwendung der Kepler'schen Gesetze lässt sich die kleinst mögliche Anzahl an Satelliten errechnen, die erforderlich ist um die Erde so zu bedecken, dass ständig ein Satellit zu sehen ist. Des Weiteren ergibt sich auch die Anzahl für eine zwei- bzw. mehrfache Bedeckung.

Tabelle 5.1 Benötigte Satelliten<sup>72</sup>

Bedeckung	einfach	zweifach	dreifach	vierfach
Zahl der Satelliten	5	7	12	16

Die eingesetzten Satelliten lassen sich hierbei grundsätzlich einteilen in:

- geostationäre Satelliten
- umlaufende Satelliten

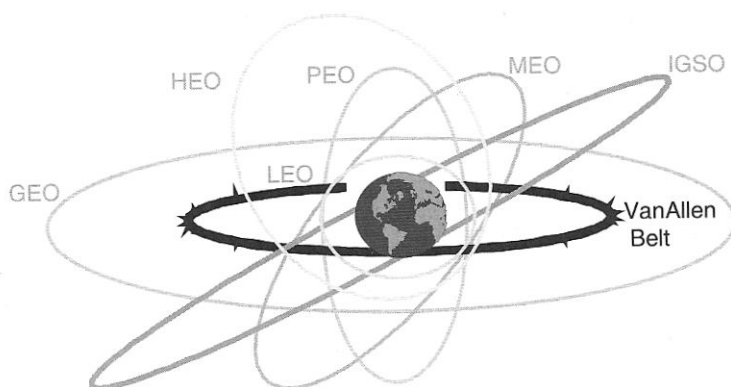


Abb. 5.5 Die verschiedenen Bahnen erdumlaufender Satelliten<sup>73</sup>

Geostationäre Satelliten befinden sich immer über demselben Punkt auf der Erde, da sie sich in 35.880 km Höhe auf einer Umlaufbahn (GEO, engl.: Geosynchronous Earth Orbit) bewegen, die über dem Äquator liegt. Die Winkelgeschwindigkeit beträgt eine Erdumrundung pro Tag.<sup>74</sup>

<sup>72</sup> DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitenavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 78

<sup>73</sup> DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitenavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 77

<sup>74</sup> vgl. SCHILDT, G. H.: Satellitenavigation, Wien: LYK-Informationstechnik, 2008, S. 18

Hingegen befinden sich umlaufende Satelliten auf Umlaufbahnen verschiedener Höhe die sich demnach unterteilen in<sup>75</sup>:

- Low-Earth-Orbit Satelliten
- Medium-Earth-Orbit Satelliten
- Highly-Elliptical-Orbit Satelliten

### 5.3.1 Low-Earth-Orbit Satelliten (LEO)

Diese erdnahen Satelliten umkreisen die Erde in einer Höhe von 200 bis 2000 km und benötigen dafür um die 100 Minuten. Da ein Punkt auf der Erde den Kontakt zum Satelliten nach 15 Minuten verliert, müssten zwischen 25 und 75 Satelliten zum Einsatz kommen, um die Erde jederzeit auszuleuchten.

### 5.3.2 Medium-Earth-Orbit Satelliten (MEO)

Sie bewegen sich in einer Höhe von 10.000 bis 22.000 km über der Erde und umreisen sie in ungefähr sechs Stunden. Da man nur 10 bis 12 Satelliten zur permanenten Erdabdeckung braucht, kommen MEO Satelliten als GPS Satelliten zum Einsatz.

### 5.3.3 Highly-Elliptical-Orbit Satelliten (HEO)

Weltraumteleskope kommen zumeist auf hochelliptischen Bahnen zum Einsatz, um sich für möglichst lange Zeit oberhalb des Van-Allen-Strahlungsgürtels zu befinden.

Um nun ein System zu optimieren, müssen die Satelliten in der bestmöglichen Konstellation in Umlauf gebracht werden. Diese wird beeinflusst durch<sup>76</sup>:

- die Art der Umlaufbahnen
- die Zahl der Umlaufbahnen
- die Inklination der Umlaufbahnen
- die Zahl der Satelliten auf den Umlaufbahnen
- die Verteilung der Satelliten auf den Umlaufbahnen

All diese Punkte haben Einfluss auf die Genauigkeit der Ortung. Generell kann festgehalten werden, dass die (imaginäre) Pyramide, die von den

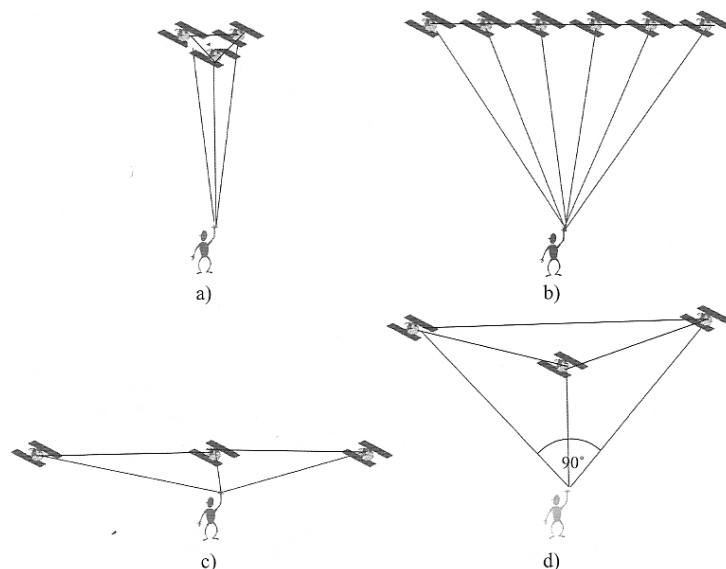
<sup>75</sup> SCHILDT, G. H.: Satellitennavigation, Wien: LYK-Informationstechnik, 2008, S. 17

<sup>76</sup> DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitennavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 95



Satelliten (mit dem Nutzer als Spitze) aufgespannt wird, maximales Volumen haben sollte, um bestmögliche Ergebnisse zu liefern.

Abb. 5.6 verdeutlicht diese Anforderung.



- a) die Satelliten sind sehr benachbart; die Pyramide entartet zur Linie
- b) die Satelliten in einer Reihe (über einer Häuserzeile); die Pyramide entartet zu einer (senkrechten) Fläche
- c) die Satelliten sehr tief überm Horizont; die Pyramide entartet zur (waagrechten) Fläche
- d) die Satellitenlinks schneiden sich mit  $90^\circ$ ; die Pyramide hat maximales Volumen

Abb. 5.6 Die Satellitenkonstellation über dem Nutzer<sup>77</sup>

## 5.4 Laufzeitmessung

Da die Bestimmung der Entfernung eines Empfängers vom Satelliten auf einer Laufzeitmessung von elektromagnetischen Wellen basiert, ist die Genauigkeit der Uhrzeitführung in hohem Maße für die Qualität eines Satellitennavigationssystems verantwortlich. Aus diesem Grund kommen in den Satelliten hochgenaue Uhren zum Einsatz, die eine eigene Systemzeit generieren.

Um Zeiten so exakt wie möglich zu bestimmen, kommen heutzutage hauptsächlich Atomuhren zum Einsatz. So definiert auch das System international d'unités (internationale Einheitensystem) eine Sekunde wie folgt:

*„The second is the duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of the caesium 133 atom.“<sup>78</sup>*

<sup>77</sup> DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitennavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 81

<sup>78</sup> Bureau International des Poids et Mesure: The International System of Units(SI), 8<sup>th</sup> edition, 2006, S. 113

Definitionsgemäß ist die Sekunde also das Vielfache der Periode einer Mikrowelle, die mit einem ausgewählten Niveauübergang im Cäsiumatom in Resonanz ist. Atomuhren basieren auf der Messung dieses Übergangs.<sup>79</sup>

In Satelliten werden eben diese Atomuhren eingebaut, die eine hochgenaue Uhrzeitführung gewährleisten. Zum Einsatz kommen hierbei größtenteils die Atome Cäsium, Rubidium und Wasserstoff, welche die höchsten Genauigkeitswerte erreichen. So weichen auf Cäsium Atomen basierende Uhren lediglich um eine Sekunde in ca. 300.000 Jahren ab. Wasserstoff-Maser erreichen sogar Abweichungswerte von einer Sekunde in 30 Millionen Jahren, sind dabei aber schwieriger zu betreiben. Da allerdings die Uhren der Hauptgrund für Satellitenausfälle sind, befinden sich bis zu 4 redundante Atomuhren an Bord eines Satelliten, um einen reibungslosen Betrieb des Systems sicherzustellen. Allerdings ist immer nur eine einzige aktiv, und die weiteren Uhren werden im Störfall oder bei Wartungsarbeiten aktiviert.

Trotz der hochgenauen Uhren in den Satelliten, benötigen Satellitennavigationssysteme auch eine am Boden befindliche Referenzatomuhr, die die Zeit sämtlicher Satelliten synchron hält.

In den Empfängern können aus Platz-, Gewichts- und Kostengründen keine Atomuhren verbaut, sondern lediglich Quarzuhren verbaut werden, die wesentlich ungenauer sind. Doch unter Einbeziehung der koordinierten Weltzeit (Universal Time Coordinated, UTC) und dem Laufzeitfehler aus der Messung zu einem vierten Satelliten, kann man für jeden Empfänger eine ausreichend genaue Zeit errechnen, was eine exakte Positionsbestimmung möglich macht.

## 5.5 Arten der Positionsbestimmung

Um die Position eines Empfängers auf der Erde zu bestimmen, können grundsätzlich drei verschiedene Verfahren zum Einsatz kommen. Je nach der geforderten Genauigkeit und der Dauer bis zur Verfügbarkeit der Daten unterscheidet man Point-, Precise Point- und Differential Positioning.

### 5.5.1 Point Positioning

Als Point Positioning bezeichnet man die Ortung eines einzelnen Empfängers durch die Auswertung von Einfrequenz Code Messungen von mindestens vier verschiedenen Satelliten. Wie bereits im Vorfeld

<sup>79</sup> SCHILDT, G. H.: Satellitennavigation, Wien: LYK-Informationstechnik, 2008, S. 34

beschrieben, werden über Laufzeitmessungen die Entfernungen des Empfängers zu den Satelliten gemessen und somit sein Standort ermittelt.

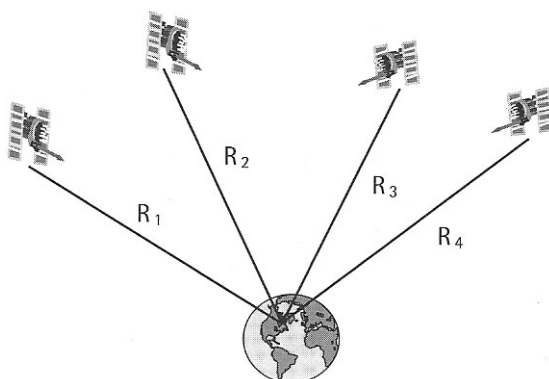


Abb. 5.7 Prinzip von point positioning<sup>80</sup>

### 5.5.2 Precise Point Positioning

Das Verfahren des Precise Point Positioning (PPP) kann als neueste Weiterentwicklung des point positioning angesehen werden, das die Genauigkeit beträchtlich erhöht. Das Prinzip bleibt dasselbe, nur kommen Zweifrequenz Code Messungen zum Einsatz, die mit diversen Korrekturwerten versehen werden. Die Ausweitung eines Signals auf einer zweiten Frequenz hat den Sinn, dass die Fehler, die beim Weg des Signals durch die Atmosphäre entstehen, erfasst und reduziert werden können. Weitere Korrekturen beziehen sich auf Uhrenfehler in den Satelliten, sowie ständige Verformungen der Erde, welche direkt auf die Beobachtungsstation wirken. Damit sind Genauigkeiten im cm-Bereich realisierbar, diese allerdings nicht in Echtzeit, sondern über einen längeren Beobachtungszeitraum.<sup>81</sup>

### 5.5.3 Relative Positioning

Im Gegensatz zu den bereits angesprochenen Verfahren werden im Zuge einer relativen Punktbestimmung Entfernungen zu zwei Empfängern gemessen. Dabei müssen von einem stationären Empfänger, der sogenannten Basis, die genauen Koordinaten bereits im Vorfeld bekannt sein. Die Koordinaten des zweiten Empfängers, Rover genannt, der sowohl stationär als auch mobil sein kann, ergeben sich durch die Ermittlung des Basisvektors zwischen den beiden Empfängern.

<sup>80</sup> EL-RABBANY, A.: Introduction to GPS, Norwood: Artech House, Inc., 2002, S. 70

<sup>81</sup> vgl. HEßELBARTH, A.: GNSS Auswertung mittels Precise Point Positioning (PPP), DVW-Schriftenreihe, Band 57/2009, Augsburg: Wißner-Verlag, S. 189f

Hierfür müssen Entfernungsmessungen von den Empfängern zu den vier selben Satelliten vorliegen.

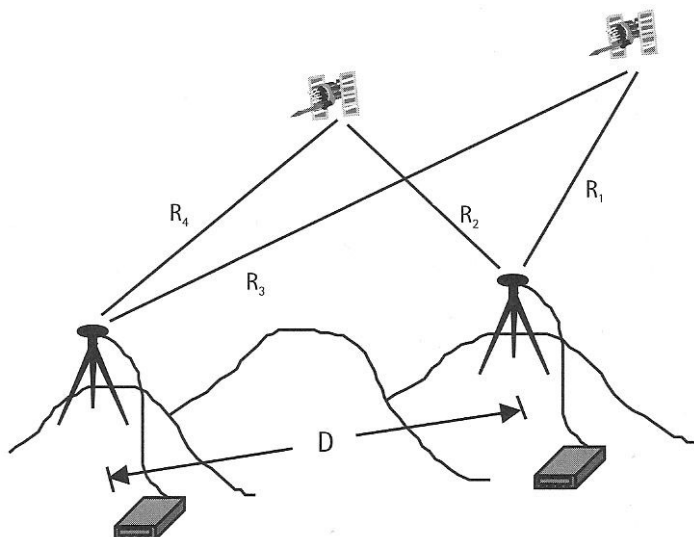


Abb. 5.8 Prinzip von relative positioning<sup>82</sup>

Je nach Einsatzzweck werden verschiedene Techniken zur relativen Positionsbestimmung verwendet, die im Folgenden beschrieben werden.

- Static Positioning

Werden hohe Genauigkeiten gefordert und die Ortungsdauer spielt eine untergeordnete Rolle, kommen statische Verfahren zum Einsatz. In diesem Fall sind sowohl Basis als auch (mehrere) Rover stationär und liefern so, abhängig von der Entfernung zwischen Basis und Rover, hochgenaue Positionswerte.

- Rapid Static Positioning

Das Rapid-Static-Verfahren ermöglicht es dem Nutzer, den Rover mobil zu nutzen. Die Basis wird wieder stationär über einem bekannten Punkt aufgebaut und der Rover am ersten zu bestimmenden Punkt aufgebaut. Dort verweilt dieser für 2-10 Minuten (abhängig von der Entfernung zur Basis) und empfängt Daten. Danach kann der Rover am nächsten Punkt aufgebaut werden.<sup>83</sup>

- Real-Time Kinematik

Für viele Anwendungen werden hochgenaue Ergebnisse in Echtzeit benötigt und darum ist das Real-Time Kinematik Verfahren (RTK) heutzutage das meist verwendete.

<sup>82</sup> EL-RABBANY, A.: Introduction to GPS, Norwood: Artech House, Inc., 2002, S. 71

<sup>83</sup> vgl. EL-RABBANY, A.: Introduction to GPS, Norwood: Artech House, Inc., 2002, S. 75

Wieder gibt es einerseits eine stationäre Basis und andererseits einen mobilen Rover als Empfänger. Bei diesem Verfahren wird jedoch die Position durch die Auswertung der Trägerphase des Satellitensignals ermittelt. Die Basis sendet kontinuierlich die Korrekturdaten über eine Funkverbindung zum Rover. Dessen eingebaute Software errechnet daraus den aktuellen Standpunkt in Echtzeit und ermöglicht somit erst den Einsatz von Satellitenortung zur Maschinensteuerung oder ähnlichen Anwendungen mit cm-Genauigkeit.

## 5.6 Fehlerquellen und Störungen

Jede Entfernungsmessung zwischen Satellit und Empfänger ist mit einer Reihe von Fehlern behaftet, die man in systembedingte und ausbreitungsbedingte Fehler einteilt. Des Weiteren können Signale auch (gezielt) gestört werden, um die Ergebnisse zu verfälschen.

### 5.6.1 Systembedingte Fehler

Entgegen aller Anstrengungen sind die Systeme, die zur Ortung eingesetzt werden, fehlerbehaftet.

- Ungenauigkeit der Uhren

Die Atomuhren, die sich an Bord der Satelliten befinden, arbeiten zwar hochgenau, sind aber trotz allem nicht perfekt. So entsteht täglich ein Fehler zwischen 8,64 und 17,28 Nanosekunden, der sich direkt auf die Entfernungsmessung auswirkt.<sup>84</sup> Dieser muss kontinuierlich durch die Kontrollatomuhr auf der Erde korrigiert werden.

Für eine exakte Ortung müssten auch die Atomuhren in sämtlichen Satelliten völlig synchron laufen. Doch auch hier gibt es Abweichungen von bis zu 3 Nanosekunden, die sich in einem Fehler der Position von ungefähr einem Meter niederschlagen.<sup>85</sup>

- Satellitengeometrie<sup>86</sup>

Entscheidend beeinflusst wird die Genauigkeit einer Ortung durch die Stellung der Satelliten zueinander, der Satellitengeometrie.

Stehen die vier Satelliten, von denen Signale empfangen werden, sehr eng aneinander, befinden sich zum Beispiel alle im Nordwesten, so ergibt sich ein sehr schleifender Schnitt der Kugeln. Aufgrund dieser schlechten Geometrie wird die Positionsbestimmung ungenauer und im

<sup>84</sup> vgl. EL-RABBANY, A.: Introduction to GPS, Norwood: Artech House, Inc., 2002, S. 31

<sup>85</sup> <http://www.pdhcenter.com/courses/I116/I116content.pdf>, Datum des Zugriffs: 23.09.2010, 15:25

<sup>86</sup> vgl. SCHILDT, G. H.: Satellitenavigation, Wien: LYK-Informationstechnik, 2008, S. 118

schlimmsten Fall unmöglich. Sind jedoch die Satelliten über den gesamten Himmel verteilt, ergibt sich eine gute Geometrie, denn es können Entfernungsmessungen in alle Richtungen gemacht werden und es ergeben sich rechteckige Schnitte. Abb. 5.9 veranschaulicht den Sachverhalt für den zweidimensionalen Fall.

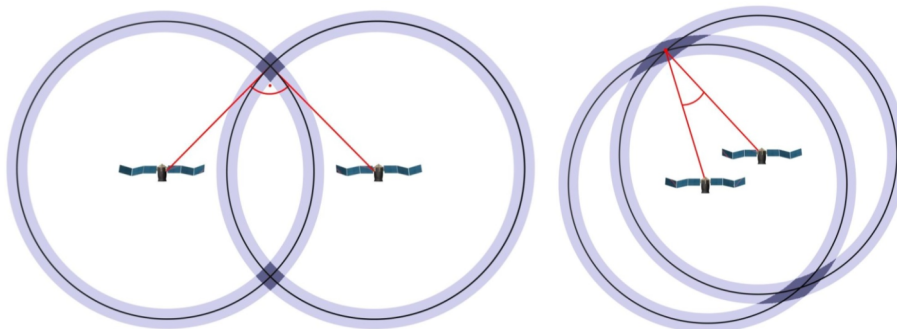


Abb. 5.9 Satellitengeometrie<sup>87</sup>

Die am Schnittpunkt befindlichen Rauten, die durch Messungenauigkeiten entstehen, definieren die mögliche Position. Somit wird ersichtlich, dass die Güte der Positionsbestimmung im linken Fall wesentlich höher ist. Ein Maß für die Güte der Satellitengeometrie ist der DOP Faktor (Dilution of precision), der sich wie folgt definiert<sup>88</sup>:

$$DOP = \frac{\text{Standardabweichung des Positionsfehlers } \sigma_p}{\text{Standardabweichung des Entfernungsfehlers } \sigma_r}$$

Ein niedriger DOP Wert bedeutet also eine geringere Streuung der Messungen, wohingegen ein hoher DOP Wert anzeigt, dass die Messungen eine hohe Schwankungsbreite aufweisen. Ab einem bestimmten Schwellenwert, der je nach zu erreichender Genauigkeit eingestellt werden kann, wird die Ortung unterbunden. Eine Navigation wird ab diesem Zeitpunkt vom System nicht mehr ermöglicht, da die Ergebnisse zu großen Schwankungen unterliegen.

- Abschattung des Signals

Da für eine Ortung direkter Sichtkontakt zwischen Satelliten und Empfänger bestehen muss, kommt es bei extrem „flach“ stehenden Satelliten oft zu Problemen. So kann man einen minimalen Erhebungswinkel angeben, um welchen ein Satellit über dem Horizont stehen

<sup>87</sup> KORB, K.: wissenschaftliche Prüfungsarbeit: Satellitenavigation in der Schule, Universität Mainz 2008, S. 29

<sup>88</sup> MANSFELD, W.: Satellitenortung und Navigation, 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010, S. 186

muss, um Störungen zu vermeiden. Wie Abb. 5.10 zeigt, können sowohl natürliche Objekte wie etwa Gebirge, als auch Gebäude zu Verbindungsabbrüchen führen. Besonders problematisch ist die Situation in Städten, wo die Ortung zwischen engen Häuserzeilen erfolgen muss und somit der minimale Erhebungswinkel sehr groß wird. Dieser Umstand hat zur Folge, dass die der Positionsbestimmung abnimmt.

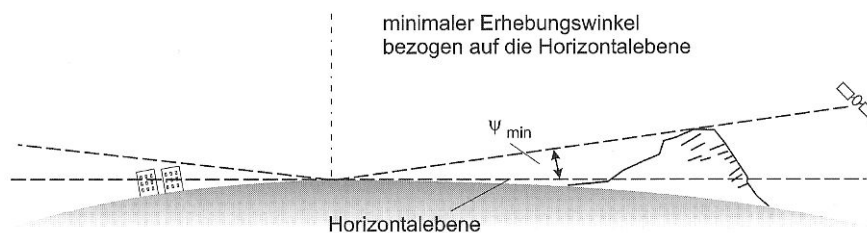


Abb. 5.10 Minimaler Erhebungswinkel<sup>89</sup>

- Fehler der Satellitenposition<sup>90</sup>

Durch die Umlaufbahnen sind die Positionen der Satelliten genau definiert. Trotzdem kommt es durch Gravitationskräfte zu geringfügigen Abweichungen der Position, die allerdings durch ständige Kontrollen möglichst klein gehalten werden.

## 5.6.2 Ausbreitungsbedingte Fehler

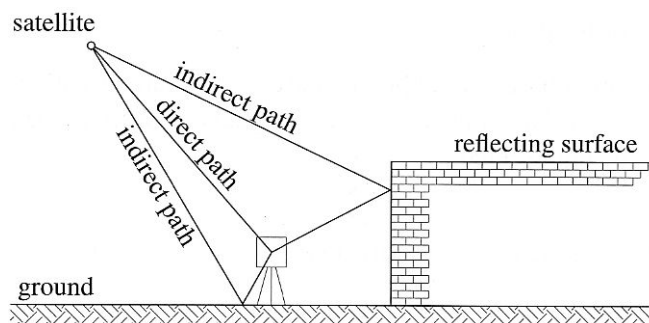
Zu den ausbreitungsbedingten Fehlern zählen:

- Mehrwegeausbreitung (Multipath)

Als Mehrwegeausbreitung wird ein Effekt bezeichnet, der auf der Reflexion von Satelliten ausgesandten elektromagnetischen Wellen beruht. Dabei reflektieren zumeist in der Nähe des Empfängers befindliche Oberflächen das Signal, welches somit auf indirektem Weg empfangen wird. Dadurch verlängert sich die Laufzeit, und die auf ihr basierende Entfernungsmessung wird verfälscht. Als mögliche Reflektoren kommen zum Beispiel hohe Gebäude oder der Erdboden in Frage.

<sup>89</sup> MANSFELD, W.: Satellitenortung und Navigation, 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010, S. 28

<sup>90</sup> vgl. SCHILDT, G. H.: Satellitenavigation, Wien: LYK-Informationstechnik, 2008, S. 124

Abb. 5.11 Mehrwegeausbreitung<sup>91</sup>

#### ▪ Atmosphärische Effekte

Da die Entfernungsmessung bei Satellitennavigationssystemen auf dem Prinzip der Laufzeitmessung einer elektromagnetischen Welle im Vakuum beruht, kommt es beim Durchgang der Welle durch die Atmosphäre zu Fehlern. Dies beruht einerseits darauf, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle durch die Atmosphäre gebremst wird und nicht mehr der des Lichts entspricht. Andererseits verursachen die verschiedenen Brechungsindizes der durchlaufenen Luftschichten der Atmosphäre eine Ablenkung des Signals und beeinflussen somit auch die Laufzeit.

Diese Fehler sind verhältnismäßig gering und können auch über Berechnungsmodelle kompensiert werden. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen:

- ♦ Ionosphärenfehler
- ♦ Troposphärenfehler

### 5.6.3 Störungen

#### ▪ Jamming

Sogenannte GPS-Jammer sind Störsender, die ein Signal aussenden, um zu verhindern, dass das Signal des Satelliten den Empfänger erreicht. In diesem Fall ist keine Positionsbestimmung möglich.

#### ▪ Spoofing

Im Gegensatz zu GPS-Jammern erzeugen GPS-Spoofers ein gültiges Signal, das zu einer falschen Ortung führt. Damit wird der Empfänger „getäuscht“ und errechnet eine fehlerhafte Position.

<sup>91</sup> HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H., WASLE, E.: GNSS – Global Navigation Satellite Systems, Wien: Springer Verlag, 2008, S. 155



- Funkstörungen<sup>92</sup>

Abhängig von der verwendeten Frequenz, können Funkstörungen aufgrund von Radareinrichtungen, Hochspannungsleitungen oder industriellem Rauschen auftreten. Durch Variation des Frequenzbereiches kann man diese Probleme aber sehr einfach lösen.

## 5.7 NAVSTAR GPS

In den 1960er Jahre begannen die US Streitkräfte mit der Entwicklung von Satellitenavigationssystemen, um jederzeit den genauen Standort ihrer Truppen bestimmen zu können und sich somit einen Vorteil gegenüber dem Feind zu verschaffen. Mehrere Entwicklungsprojekte wurden gestartet und schlussendlich in ein Projekt namens NAVigation Satellite Timing And Ranging – Global Positioning System zusammengefasst.

1967 wurde offiziell das Projekt NAVSTAR GPS gestartet und 1973 konnte der erste Betrieb des Systems aufgenommen werden. Dabei wurde auch festgelegt, dass das System folgende Forderungen erfüllen sollte<sup>93</sup>:

- dreidimensionale Positionsbestimmung in Echtzeit von ruhenden und bewegten Objekten auf der Erde und im erdnahen Raum
- Bestimmung der Geschwindigkeit sich bewegender Objekte
- Lieferung von Zeitinformation
- unbegrenzte Anzahl gleichzeitiger Nutzer
- Unabhängigkeit von meteorologischen Verhältnissen
- hohe Sicherheit gegenüber zufälligen und gegenüber gewollter Störungen
- hohe Genauigkeit der Positionsbestimmung (Ortung) mit einem mittleren quadratischen Fehler von 30 m und Eindeutigkeit des Ergebnisses
- hohe Genauigkeit der Geschwindigkeitsbestimmung mit einem mittleren quadratischen Fehler von 0,3 m/s
- hohe Genauigkeit der erteilten Zeitinformation mit einem mittleren quadratischen Fehler von 10 ns

<sup>92</sup> vgl. DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitenavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 108

<sup>93</sup> MANSFELD, W.: Satellitenortung und Navigation, 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010, S. 106

- Zeitbedarf für die erstmalige Bestimmung einer Position in der Größenordnung von einigen Minuten, für nachfolgende Bestimmungen weniger als 30 s.

Nach langen Jahren der Forschung und Entwicklung begann 1997 der Wirkbetrieb mit 25 nutzbaren Satelliten im Umlauf.<sup>94</sup>

Trotz der militärischen Entwicklung und Nutzung wurde das System auch für zivile Nutzer zugänglich gemacht. Allerdings behielten es sich die US Streitkräfte vor, das Signal nur mit einer künstlichen Verschlechterung (Selective Availability, SA) weiterzugeben. Somit war die Positionsbestimmung ungenauer als sie prinzipiell möglich wäre. Seit dem Jahr 2000 verzichtet man jedoch darauf und damit gehört diese Verschlechterung der Vergangenheit an. Somit wurde ein System, das in seinen Ursprüngen zu rein militärischen Zwecken entworfen wurde, einer breite Masse zugänglich gemacht und ist heute zu rund 95% zivil genutzt.

### 5.7.1 Aufbau

Das Global Positioning System wird in drei Segmente unterteilt:

- Raumsegment

Die Satelliten bilden das Raumsegment des Global Positioning Systems. Die wesentlichen Systemparameter sind<sup>95</sup>:

- ♦ 24 Satelliten im Wirkbetrieb (6 weitere in einer Art Stand-by)
- ♦ 6 Bahnebenen belegt mit je 4 Satelliten, Bahninklination von 55 Grad
- ♦ Orbithöhe 20.200 km, Umlaufzeit eines Satelliten ca. 12 Stunden
- ♦ Durchschnittliche Lebensdauer der Satelliten von 10 bis 15 Jahren
- ♦ Positionsbezugssystem: World Geodetic System 1984 (WGS 84)

<sup>94</sup> vgl. DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitennavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 160

<sup>95</sup> vgl. DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitennavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 162

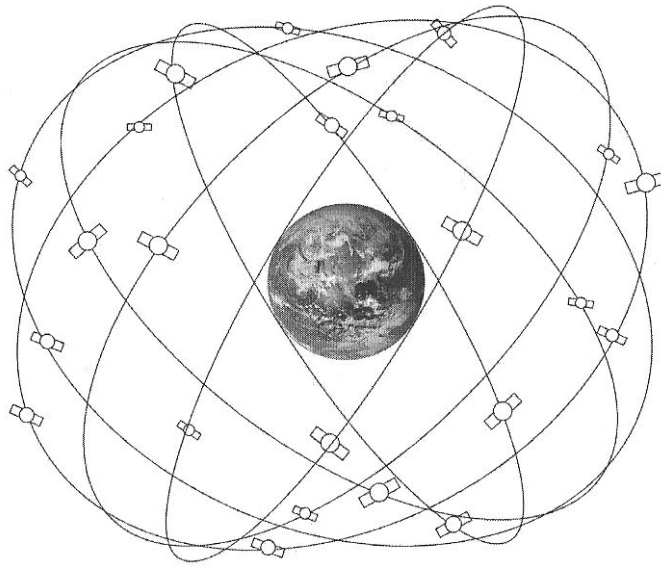


Abb. 5.12 GPS-Satelliten auf ihren Bahnen um die Erde<sup>96</sup>

Durch die Anordnung der Satelliten ist garantiert, dass zu jedem Zeitpunkt von jedem Ort auf der Erde zumindest 4 Satelliten sichtbar sind und somit eine exakte Positionsbestimmung im Raum ermöglicht wird.

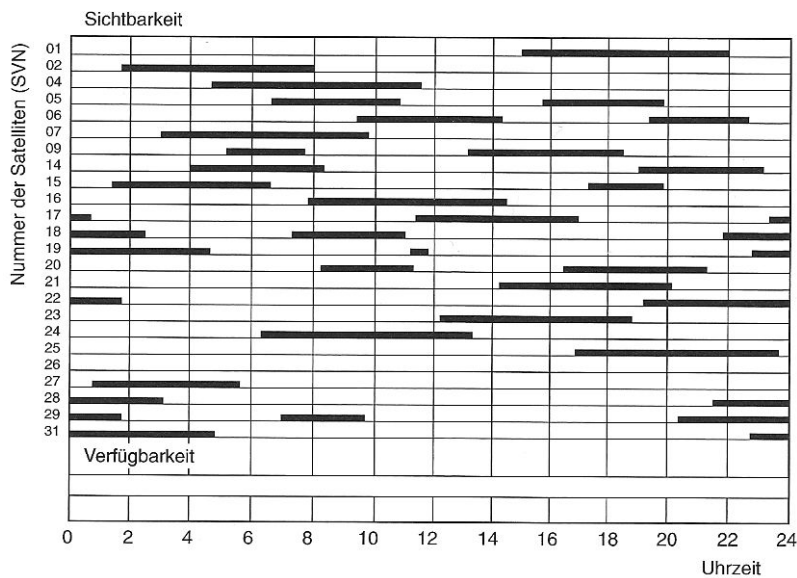


Abb. 5.13 Gleichzeitig verfügbare Satelliten (Boston, USA)<sup>97</sup>

<sup>96</sup> SCHILDT, G. H.: Satellitenavigation, Wien: LYK-Informationstechnik, 2008, S. 48

<sup>97</sup> MANSFELD, W.: Satellitenortung und Navigation, 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010, S. 196

- Bodensegment

Das Bodensegment, auch Kontrollsegment genannt, hat folgende Aufgaben zu erfüllen<sup>98</sup>:

- ♦ Beobachtung der Satellitenbewegungen und Berechnung der Bahndaten
- ♦ Beobachtung der Satellitenuhren und Extrapolation ihres Verhaltens
- ♦ Übersendung der Bahndaten und der Vorhersagen über das Uhrenverhalten an die Satelliten zur Weitergabe an das Benutzersegment

Das Bodensegment beinhaltet eine Masterstation, fünf Monitorstationen und 3 Sendestationen, die so über den Erdball verteilt sind, dass jeder Satellit mindestens einmal täglich Kontakt zu vier Monitorstationen hat.

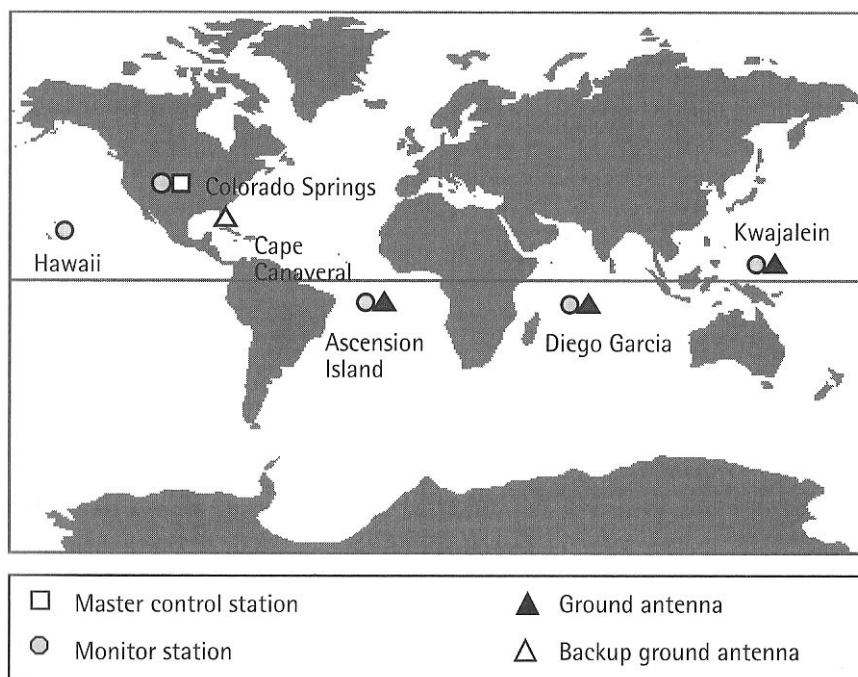


Abb. 5.14 Stationen des GPS Bodensegments<sup>99</sup>

In den Monitorstationen befinden sich hochgenaue Atomuhren und Sensoren zur Erfassung von meteorologischen Daten. Sie ermitteln ständig die Position der Satelliten durch Pseudostreckenmessung und den Stand der Atomuhren. Diese Daten werden in festgelegten Zyklen an die Masterstation weitergegeben. Hier werden aus den Positions-

<sup>98</sup> BAUER, M.: Vermessung und Ortung mit Satelliten, 4., völlig überarbeitete Auflage, Heidelberg: Wichmann Verlag, 1997, S. 157

<sup>99</sup> EL-RABBANY, A.: Introduction to GPS, Norwood: Artech House, Inc., 2002, S. 7

daten der Satelliten deren genaue Umlaufbahnen berechnet und die Zeit der Atomuhren mit der Systemzeit abgeglichen. Schließlich werden die korrigierten Werte über die Sendestationen an die Satelliten übermittelt.

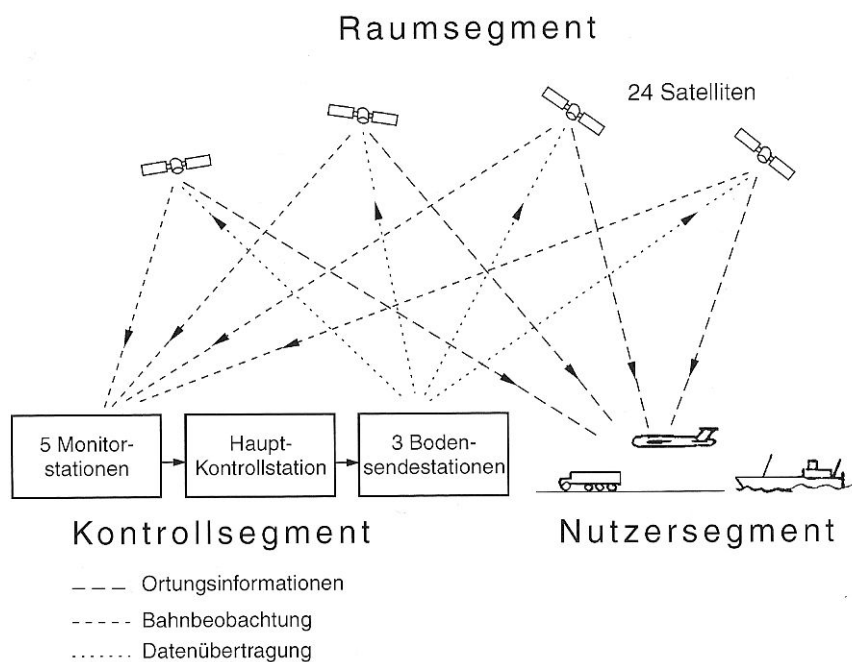


Abb. 5.15 Segmente von GPS<sup>100</sup>

Weiters kontrolliert die Masterstation, dass das gesamte System funktionstüchtig bleibt und kann im Schadensfall Reservesatelliten oder Reserveatomuhren aktivieren.

#### ▪ Nutzersegment

Alle GPS-Empfänger, welche die von den Satelliten ausgestrahlten Positionsdaten empfangen und verarbeiten können, bilden das Nutzersegment. Dazu gehören sowohl Navigationsgeräte in Autos, Ortungsfunktionen auf Mobiltelefonen, im Vermessungswesen eingesetzte Geräte als auch jegliche Nutzung zu militärischen Zwecken.

Im Gegensatz zu Raum- und Bodensegment wird das Nutzersegment allerdings nicht von der US Regierung kontrolliert, sondern von einer Vielzahl von kommerziellen Anbietern vertrieben.

<sup>100</sup> MANSFELD, W.: Satellitenortung und Navigation, 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010, S. 110

### 5.7.2 Signale

Die von den Satelliten abgestrahlten Signale beinhalten deren Positionsdaten und die Zeitmarke der Aussendung. Dazu kommen PRN-Impulsfolgen (Pseudo Random Noise) in der Form von zwei verschiedenen Codes zum Einsatz. Jeder Satellit besitzt dabei einen eigenen Code, wodurch man ihn eindeutig identifizieren kann (Code Division Multiple Access Verfahren, CDMA). Abhängig von der Genauigkeit der Ortung unterscheidet man<sup>101</sup>:

- Standard-Ortungsservice (Standard Positioning Service, SPS)

Das Ortungssignal ist eine codierte PRN-Impulsfolge. Der Code führt die Bezeichnung C/A-Code (clear/access), was für die freie Erfassung steht. Der C/A-Code dient grundsätzlich für den Beginn des Messvorganges und steht für die Nutzung allgemein zur Verfügung.

- Präzisions-Ortungsservice (Precise Positioning Service, PPS)

Das Ortungssignal ist ebenfalls eine codierte PRN-Impulsfolge. Der Code führt die Bezeichnung P-Code (Precision). Die Verwendung des P-Codes ist in erster Linie militärischen Institutionen der USA vorbehalten.

Die Aussendung der Codes erfolgt auf zwei verschiedenen Frequenzen, die aus einigen Überlegungen heraus festgelegt wurden auf<sup>102</sup>:

$$L1 = 1.575,420 \text{ MHz und } L2 = 1.227,600 \text{ MHz}$$

### 5.7.3 Genauigkeit

Die Genauigkeit, die ein Ortungssystem erreichen kann, wird durch den Fehler ausgedrückt, der mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftritt.

Die Genauigkeit hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, kann aber durch eine hohe Anzahl von verfügbaren Satelliten, die in einer optimalen Konstellation zueinander stehen wesentlich verbessert werden.

Als durch die Selective Availability die Ortung noch künstlich verschlechtert wurde, konnten lediglich Genauigkeiten von 100 m erreicht werden.

Die heute (mit einer 95 prozentigen Wahrscheinlichkeit) erreichbaren Genauigkeitswerte sind in Tab. 5.2 dargestellt.

<sup>101</sup> vgl. MANSFELD, W.: Satellitenortung und Navigation, 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010, S. 119

<sup>102</sup> vgl. SCHILDT, G. H.: Satellitennavigation, Wien: LYK-Informationstechnik, 2008, S. 52

Tabelle 5.2 Ortungsgenauigkeit GPS SPS<sup>103</sup>

	Horizontal Error (m)	Vertical Error (m)	Time Transfer Error (ns)
Global average positioning domain accuracy	≤ 13	≤ 22	≤ 40
Worst site positioning domain accuracy	≤ 36	≤ 77	≤ 40

## 5.8 GLONASS

Das GLObalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema, kurz GLONASS, wurde Mitte der 1970er Jahre ins Leben gerufen und löste damit sein Vorgängerprojekt namens TSIKADA ab. Es wurde in seiner Konzeption dem GPS nachempfunden, unterscheidet sich aber doch in einigen Punkten von seinem amerikanischen Pendant.

Ein grundlegender Unterschied zu GPS ist etwa, dass GLONASS von Beginn an für jedermann verfügbar war. Es wurde also keine künstliche Verschlechterung durch SA erzeugt und somit erreichte GLONASS bis zum Jahr 2000 höhere Genauigkeiten in der zivilen Nutzung.

Große Probleme bereitet dem russischen System allerdings die Haltbarkeit ihrer Satelliten, die nur bei ungefähr 3 Jahren liegt. Dadurch sind hohe Investitionen nötig, um die erforderliche Anzahl von 24 Satelliten zu gewährleisten. Da die russische Regierung diese Mittel aber bis vor kurzem nicht aufbringen wollte, waren oftmals zu wenige Satelliten im Orbit und somit sank die Genauigkeit drastisch. Das hatte wiederum zur Folge, dass GPS von den meisten Nutzern dem russischen GLONASS vorgezogen wurde, da ihm neben der höheren Genauigkeit auch die günstigeren, einfacheren und leichteren Empfänger einen Vorteil verschafften.

### 5.8.1 Aufbau

Wie auch GPS gliedert sich GLONASS in ein Raum-, Boden- und Nutzersegment.

<sup>103</sup> PRASAD, R., RUGGIERI, M.: Applied Satellite Navigation Using GPS, GALILEO, and Augmentation Systems, Boston/London: Artech House mobile communication series, 2005, S. 53

### ▪ Raumsegment

Die wesentlichen Systemparameter des Raumsegments von GLONASS sind<sup>104</sup>:

- ♦ 24 Satelliten (21 aktiv, drei als Reserve) in 3 Bahnebenen mit je 8 Satelliten, 45 Grad separiert
- ♦ Bahninklination von 64,8 Grad
- ♦ Orbithöhe 19.100 km, Umlaufzeit eines Satelliten 11 Stunden, 16 Minuten
- ♦ Durchschnittliche Lebensdauer der Satelliten von 3 Jahren
- ♦ Positionsbezugssystem: Parametri Zemli 90 (PZ 90)

Die gewählten Umlaufbahnen ermöglichen es, dass bereits 21 aktive Satelliten eine kontinuierliche Sichtbarkeit von je mindestens vier Satelliten für 97% der Erdoberfläche gewährleisten. Nach dem Ausbau des Systems auf 24 aktive Satelliten wäre sogar eine kontinuierliche Sichtbarkeit von je fünf Satelliten für 99% der Erdoberfläche zu erreichen.<sup>105</sup>

### ▪ Bodensegment

Die Bestandteile des Bodensegments verteilen sich über die gesamte ehemalige Sowjetunion und unterteilen sich in<sup>106</sup>:

- ♦ System-Kontrollzentrum
- ♦ Zentrale Synchronisationsstation
- ♦ Station des Phasen-Kontrollsystems
- ♦ Kommando- und Tracking-Stationen
- ♦ Laser-Tracking-Stationen
- ♦ Monitor-Stationen

Die Aufgaben des Bodensegments sind die Überwachung, Ermittlung und Korrektur der Satellitenumlaufbahnen, die Synchronisation der GLONASS Systemzeit und die Kontrolle der Betriebsfähigkeit des Systems.

### ▪ Nutzersegment

Die Navigation mittels alleiniger Verwendung von GLONASS Satelliten ist eher zu vernachlässigen, da dies nur vom russischen Militär genutzt

<sup>104</sup> vgl. DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitennavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 177

<sup>105</sup> vgl. SCHILDT, G. H.: Satellitennavigation, Wien: LYK-Informationstechnik, 2008, S. 80

<sup>106</sup> MANSFELD, W.: Satellitenortung und Navigation, 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010, S. 226



wurde. Aus diesem Grund standen dem Nutzer auch nur wenige verwendbare Empfänger zur Verfügung.

Von Interesse ist allerdings die gemeinsame Nutzung mit anderen Navigationssystemen wie etwa GPS, da dadurch die Anzahl der Satelliten erhöht wird steigt auch der Grad der Genauigkeit. Am Markt gibt es bereits eine Vielzahl von Empfängern, die sowohl GLONASS als auch GPS Signale empfangen und verarbeiten können. Abb. 5.16 zeigt die berechnete Wahrscheinlichkeit der sichtbaren Satelliten bei der gemeinsamen Verwendung von GPS und GLONASS.

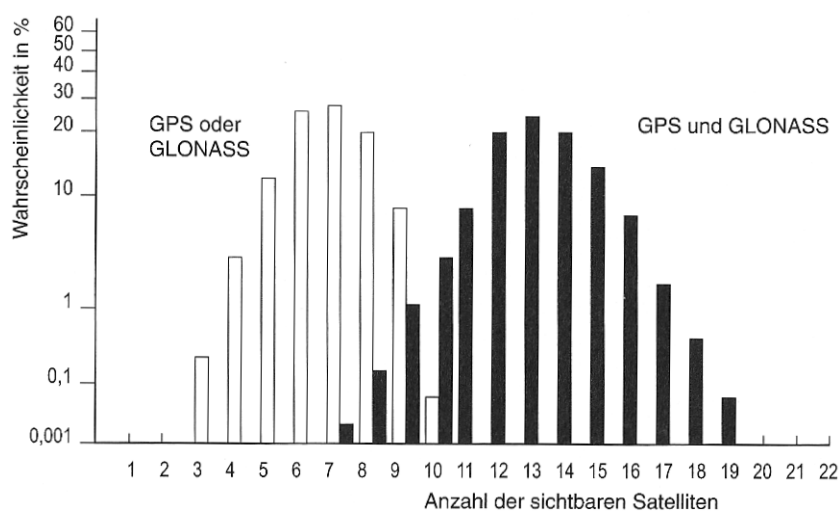


Abb. 5.16 Berechnete Wahrscheinlichkeit sichtbarer Satelliten<sup>107</sup>

## 5.8.2 Signale

Die von den GLONASS Satelliten generierten Funksignale werden auf den Frequenzen G1 und G2 ausgesendet. Jedoch erfolgt die Identifikation jedes einzelnen Satelliten nicht über ihnen zugewiesene Codes, sondern über eigene Frequenzen (Frequency Division Multiple Access Verfahren, FDMA). Dabei wird ausgehend von den Grundfrequenzen G1 und G2 jedem Satelliten eine eigene Frequenz zugeteilt.<sup>108</sup>

$$G1(n) = 1.602 + n \cdot 0,5625 \text{ MHz} \quad (-7 \leq n \leq 4)$$

$$G2(n) = 1.246 + n \cdot 0,4375 \text{ MHz} \quad (-7 \leq n \leq 4)$$

<sup>107</sup> MANSFELD, W.: Satellitenortung und Navigation, 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010, S. 238

<sup>108</sup> vgl. DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitennavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 178

Daraus ergeben sich 15 verschiedenen Frequenzen, die auf 24 Satelliten aufgeteilt werden müssen, womit es unumgänglich ist, dass zwei Satelliten in entgegengesetzter Position die gleiche Frequenz benutzen. Dieser Umstand ist allerdings für Ortungen auf der Erde unproblematisch.

Die Ortungssignale sind wie bei GPS PRN-Impulsfolgen, die mit C/A-Code und P-Code sogar denselben Namen tragen. Allerdings sind diese Codes nicht verschlüsselt und stehen damit beide auch zur zivilen Nutzung zur Verfügung. Durch die größere, zu erreichende Genauigkeit des P-Codes, kommt damit im Vermessungswesen oftmals GLONASS zum Einsatz.

Um die Kompatibilität zwischen GLONASS und anderen Satellitenavigationssystemen zu ermöglichen, wird die Verwendung des FDMA-Verfahrens eingestellt, und alle neu in Umlauf gebrachten Satelliten arbeiten mit dem CDMA-Verfahren.

### 5.8.3 Genauigkeit

Aufgrund der geringeren Anzahl an Satelliten erreicht GLONASS eine weitaus schlechtere Genauigkeit als GPS. Mit dem Ausbau des Systems und der Umstellung auf das CDMA-Verfahren sollte aber eine Verbesserung eintreten.

Tabelle 5.3 Ortungsgenauigkeit GLONASS<sup>109</sup>

	Horizontal Error (m)	Vertical Error (m)
Global average positioning domain accuracy	≤ 60	≤ 70

## 5.9 GALILEO

Um von den Systemen GPS und GLONASS und somit von den USA und Russland unabhängig zu sein, beschloss die Europäische Union im Jahr 2002, ein eigenes, unabhängiges Ortungssystem zu entwickeln, aufzubauen und zu betreiben. In Anlehnung an den italienischen Physiker und Astronom Galileo Galilei, wurde das System GALILEO benannt.

Der festgelegte Zeitplan sah vor, dass GALILEO Ende 2010 betriebsbereit sein sollte, doch aufgrund einiger Schwierigkeiten in der Entwicklung verschiebt sich dieses Datum nach hinten. Der erste

<sup>109</sup> KELLER, F.: Fachseminararbeit: Globale satellitengestützte Positionssysteme im Vergleich, Hochschule RheinMain 2010, S. 10

Testsatellit wurde 2005 in Umlauf gebracht, gefolgt von einem zweiten im Jahr 2008. Für 2011 ist der Start von vier weiteren Satelliten geplant, um erste Ortungstests durchzuführen.

Als Anforderungen an das System wurden folgende Punkte definiert<sup>110</sup>:

- Die Ortungssignale sollen weltweit verfügbar und für alle Verkehrsarten geeignet sein.
- GALILEO soll kompatibel zu GPS sein.
- Es soll unabhängig von den USA betrieben werden können.
- Im Gegensatz zu GPS und GLONASS soll es ein ziviles System sein.
- Es sollte in Public Private Partnership entwickelt und betrieben werden.

### 5.9.1 Aufbau

Generell kann man auch GALILEO in drei Segmente unterteilen.

- Raumsegment

Die wesentlichen Systemparameter des Raumsegments von GLONASS sind<sup>111</sup>:

- ♦ 30 Satelliten (27 aktiv, drei als Reserve) in 3 Bahnebenen mit je 10 Satelliten, 40 Grad separiert
- ♦ Bahninklination von 56 Grad
- ♦ Orbithöhe 23.616 km, Umlaufzeit eines Satelliten ca. 14 Stunden
- ♦ Durchschnittliche (erwartete) Lebensdauer der Satelliten von 12 Jahren
- ♦ Positionsbezugssystem: Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF)

- Bodensegment

Das Bodensegment ist bei GALILEO um einiges komplexer und umfangreicher als bei anderen Ortungssystemen. Der Hauptgrund dafür ist, dass GALILEO die Systemintegrität selbst feststellt und nicht auf Hilfssysteme zurückgreift. Die Hauptaufgaben des Bodensegments sind also einerseits die Kontrolle und Überwachung des Gesamtsystems und andererseits die Prüfung der Integrität.

<sup>110</sup> vgl. DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitennavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 186

<sup>111</sup> vgl. DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitennavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 190

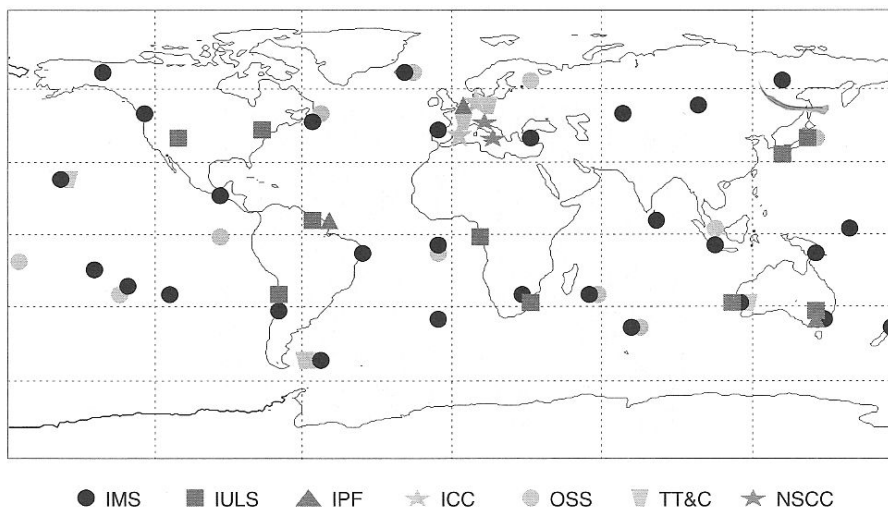


Abb. 5.17 Globale Verteilung der Haupt-GALILEO-Bodenstationen<sup>112</sup>

Man kann das Bodensegment weiter untergliedern in:

- ◆ globale Komponente

Durch die Kommunikation zwischen Bodenstationen und Satelliten, werden die Bahndaten der Satelliten ständig aktualisiert und synchronisiert. GALILEO erweitert aber den Funktionsumfang der globalen Komponente durch die Überprüfung der Systemintegrität mittels Integritäts-Kontrollzentren. Dadurch hebt sich das System deutlich von GPS und GLONASS ab, welche auf Fremdsysteme angewiesen sind.

Die globale Komponente besteht aus zwei Navigation System Control Center (NSCC), die neben ihren ermittelten Daten auch die Daten der 10 Orbitography and Synchronization Stations (OSS) verarbeiten. Weiters gibt es weltweit 30 Integrity Monitoring Stations (IMS) sowie dazugehörige Integrity Control Center (ICC) zur laufenden Überprüfung, der von den Satelliten gesendeten Signale. Für die Übertragung der Daten an die Satelliten stehen 5 Up-Link Stations (ULS) zur Übertragung der Integritätsinformationen und 2 Sendestationen für die Fernwirkverbindung namens Telemetry, Tracking and Command (TTC) zur Verfügung.<sup>113</sup>

- ◆ regionale Komponente

Zur regionalen Komponente zählen Monitorstationen und deren Kontrollzentrum, die unabhängig von der globalen Komponente Integritätsdaten sammeln und an das NSCC weiterleiten. Zu dieser

<sup>112</sup> DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitenavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 192

<sup>113</sup> vgl. MANSFELD, W.: Satellitenortung und Navigation, 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010, S. 250

Komponente zählt auch der European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS), der auch von GPS und GLONASS verwendet wird.

- ◆ lokale Komponente

In Bereichen, in denen die Sicht zu den Satelliten schlecht ist, können lokale Komponenten die Ortung unterstützen. Sie ermöglichen es, GALILEO mit anderen Ortungssystemen und terrestrischen Positionierungs- und Kommunikationseinrichtungen (GSM, UMTS, HSDPA) zu kombinieren.<sup>114</sup> Beispiele für solche Bereiche sind dicht bebaute Städte, Tunnelbauwerke oder tiefe Täler.

- Nutzersegment

Als Nutzersegment bezeichnet man alle Empfänger, die GALILEO Ortungssignale auswerten können. Durch die höhere Anzahl von empfangbaren Signalen und Diensten gibt es eine Vielzahl von Empfängern, die auf bestimmte Dienste beschränkt sind oder als Universalempfänger arbeiten.

## 5.9.2 Dienste

GALILEO bietet den verschiedenen Nutzergruppen fünf verschiedene Dienste<sup>115</sup>:

- Open Service (OS)

Dieser Dienst ist ein offener, kostenfreier Basisdienst, der jedermann zur Verfügung steht und dessen Haupteinsatzgebiet die zivile Nutzung zur Fahrzeugortung sein wird. Durch die Aussendung der Signale auf zwei oder drei Frequenzen sind höhere Genauigkeiten als mit SPS möglich.

- Commercial Service (CS)

Der Commercial Service ist ein kommerzieller Mehrwertdienst, der in seinem Aufbau dem Open Service entspricht. Allerdings werden verschlüsselte Daten zur Integritätssteigerung oder andere navigationsbezogene Daten dem OS Signal hinzugefügt, um bestimmte Anwendungen zu ermöglichen.

- Safety of Life Service (SoL)

Dieser sicherheitskritische Dienst wird vor allem in der See- und Luftfahrt zum Einsatz kommen. Sollten die Genauigkeitswerte des Systems sinken oder Satelliten total ausfallen, so wird der Nutzer binnen Sekunden gewarnt.

<sup>114</sup> vgl. KAHMEN, H.: Angewandte Geodäsie – Vermessungskunde, 20., völlig neu bearbeitete Auflage, Berlin: de Gruyter Lehrbuch, 2006, S. 329

<sup>115</sup> vgl. DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitennavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 196

- Public Regulated Service (PRS)

Dieser Service wird durch Verschlüsselung ausschließlich Organisationen vorbehalten sein, die mit der Erfüllung hoheitlicher Aufgaben betraut sind (Polizei, Militär etc.). Durch Abstrahlung der Signale auf drei Frequenzen sollen der Ionosphärenfehler und die Mehrwegeeffekte reduziert und die Störresistenz erhöht werden.

- Search and Rescue (SAR)

SAR soll ermöglichen, dass Notsignale auf niedrigen Frequenzen empfangen werden, an die Bodenstationen weitergeleitet werden und somit die Position von in Not geratenen Personen bestimmt werden kann.

### 5.9.3 Signale<sup>116</sup>

GALILEO arbeitet auf den vier verschiedenen Frequenzbänder E1, E5a, E5b und E6, auf denen es insgesamt 10 Signalkanäle gibt. So gibt es 4 Signale im Träger-Frequenzband E5 (1164 – 1250 MHz) und jeweils 3 Signale in E6 (1260 – 1300 MHz) und E1 (1559 – 1591 MHz).

Wie bei GPS kommt auch hier das CDMA-Verfahren zur Anwendung, indem alle Satelliten auf den gleichen Trägerfrequenzen senden und mittels PRN-Codes eindeutig identifiziert werden.

Die Codes für die Positionsinformation an sich unterteilen sich bei GALILEO aufgrund der verschiedenen Dienste in:

- unverschlüsselte, offene Codes (OS-Codes)
- verschlüsselte Codes für kommerzielle Nutzer (CS-Codes)
- verschlüsselte Codes für staatliche Institutionen (PRS-Codes)

### 5.9.4 Genauigkeit

In Abhängigkeit der Anzahl der verwendeten Frequenzen wird GALILEO wesentlich genauer arbeiten können als seine Konkurrenzsysteme. Der Basisdienst Open Service (vergleichbar mit GPS SPS) wird mit 95 prozentiger Wahrscheinlichkeit folgende Genauigkeitswerte erreichen.

---

<sup>116</sup> vgl. MANSFELD, W.: Satellitenortung und Navigation, 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010, S. 255

Tabelle 5.4 Ortungsgenauigkeit GALILEO Open Service<sup>117</sup>

	eine Frequenz	zwei Frequenzen
Horizontale Ortungsgenauigkeit	15 m	4 m
Vertikale Ortungsgenauigkeit	35 m	8 m
Zeitgenauigkeit rel. zu UTC	30 ns	30 ns

Moderne Empfänger können die Signale von GPS, GLONASS und GALILEO auswerten, was die erreichbaren Genauigkeiten steigert. Man kann somit alle Satellitenavigationssysteme zu einem *Global Navigation Satellite System* (GNSS) zusammenfassen. Da sich allerdings der Begriff GPS zum Synonym für die Satellitenavigation entwickelt hat wird dieser auch in den folgenden Kapiteln anstelle von GNSS verwendet.

## 5.10 Improved GPS

Satellitenortungssysteme wurden ursprünglich zu militärischen Zwecken entwickelt, um jederzeit Informationen über Truppenpositionen und deren Navigation zu haben. Für diese Zwecke fand man mit Genauigkeiten im m-Bereich das Auslangen und auch die Dauer bis zur ersten Ortung konnte im Minutenbereich liegen.

Heutzutage wird die Satellitenortung in vielen verschiedenen Bereichen eingesetzt, welche, jeder für sich, ganz spezielle Anforderungen an die Ortungssysteme stellen. Aus diesem Grund wurden im Laufe der Zeit viele Erweiterungen zu den bestehenden Systemen entwickelt, wobei die wichtigsten im Folgenden angeführt sind.

### 5.10.1 Differential Global Positioning System (DGPS)

Für sehr viele Anwendungen ist eine höhere Genauigkeit von Nöten, als sie die Nutzung von Satellitenortungssystemen in ihrer ursprünglichen Form bieten kann. So wurde eine differentielle Ortungsmethode entwickelt, die Genauigkeiten im cm-Bereich ermöglicht. Abhängig von der Auswertung der Satellitendaten unterscheidet man in<sup>118</sup>:

- DGPS basierend auf der Laufzeitmessung

Bei diesem Verfahren werden Korrekturdaten über die Messung von Pseudoentfernungen ermittelt. Dafür wird eine Referenzstation auf einem Punkt aufgestellt, dessen Position genau bekannt ist. Die

<sup>117</sup> DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitenavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004, S. 197

<sup>118</sup> vgl. ZOGG, J.-M.: GPS und GNSS: Grundlagen der Ortung und Navigation mit Satelliten, Thalwil: u-blox AG, 2011, S. 105ff

Referenzstation empfängt ständig Signale der sichtbaren Satelliten und ermittelt durch Laufzeitmessung die fehlerbehafteten Pseudostrecken (Istwert) zu den jeweiligen Satelliten. Da der Referenzstation allerdings ihr genauer Standpunkt bekannt ist, kann sie die wahre Entfernung (Sollwert) zu den Satelliten errechnen. Aus dem Soll-Ist-Vergleich lässt sich eine Korrekturgröße für die Pseudoentfernungen jedes einzelnen Satelliten ermitteln, welche für alle Empfänger in einem Umkreis von mehreren hundert Metern gleich ist. Die Übermittlung dieser Korrekturwerte an weitere (mobile) GPS Empfänger erfolgt mittels geeigneter Sendeeinrichtungen (UKW, GSM, GPRS, UMTS etc.). Mit den erhaltenen Daten korrigiert nun der Empfänger seine gemessenen Pseudoentfernungen und erhält somit seine wahre Position bis zu einem Meter genau.

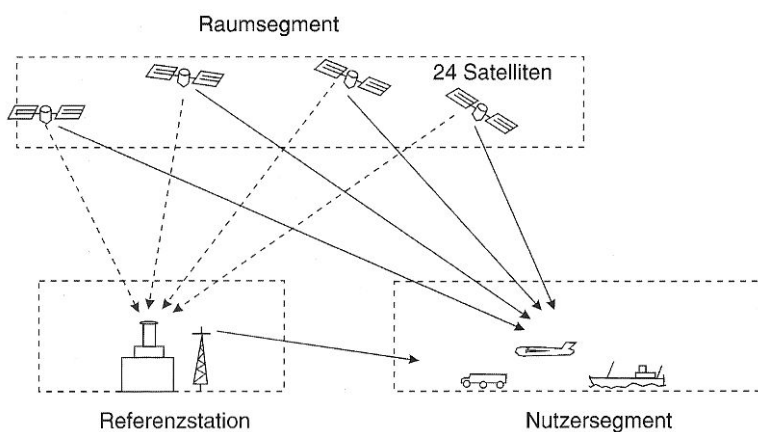


Abb. 5.18 Prinzip des Differenzial-Messverfahrens<sup>119</sup>

- DGPS basierend auf der Phasenmessung des Trägers

Das Prinzip des differentiellen GPS basierend auf der Phasenmessung des Trägers (RTK) benötigt ebenfalls eine Referenzstation und eine (oder mehrere) mobile GPS Empfänger. In diesem Fall werden allerdings die Korrekturwerte durch die Auswertung der Trägerphase des Satellitensignals ermittelt, was erreichbare Genauigkeiten im cm-Bereich zulässt.

<sup>119</sup> MANSFELD, W.: Satellitenortung und Navigation, 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010, S. 283



### 5.10.2 Satellite Based Augmentation System (SBAS)

SBAS bestehen aus mehreren geostationären Satelliten, die Korrektur- und Integritätsdaten an GPS, GLONASS und GALILEO senden und damit deren Zuverlässigkeit steigern. Ihre Aufgabe ist die Erhöhung der<sup>120</sup>

- Ortungsgenauigkeit
- Integrität und Sicherheit
- Verfügbarkeit

Ein Netz von Referenzstationen empfängt laufend GPS Signale und errechnet Korrekturdaten, welche an ein Kontrollzentrum weitergeleitet werden. Dort werden diese Daten ausgewertet, an die geostationären Satelliten des Systems gesendet und den Nutzern zur Verfügung gestellt.

Als Beispiel für solche Systeme sind hier die vier größten angeführt:

- Wide Area Augmentation System (WAAS, Nord Amerika)
- European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS, Europa)
- Multifunctional Satellite Augmentation System (MSAS, Japan)
- GPS Aided Geo Augmented Navigation (GAGAN, Indien)

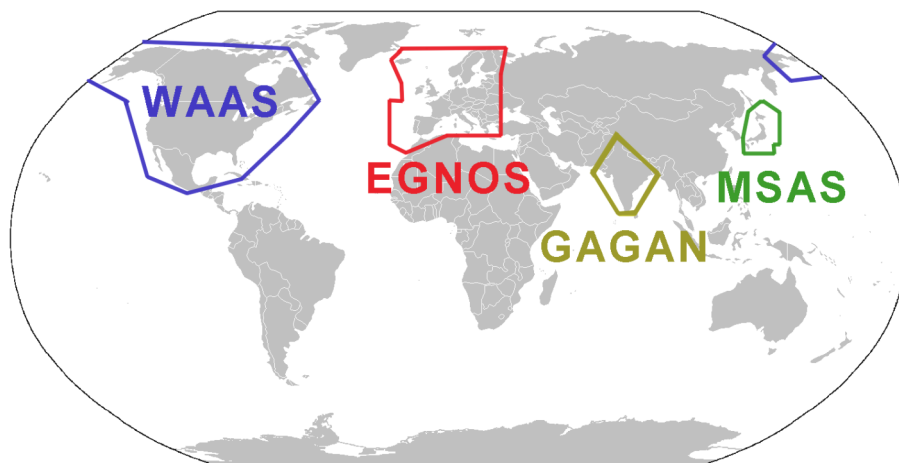


Abb. 5.19 Servicegebiete von SBAS<sup>121</sup>

<sup>120</sup> vgl. ZOGG, J.-M.: GPS und GNSS: Grundlagen der Ortung und Navigation mit Satelliten, Thalwil: u-blox AG, 2011, S. 112

<sup>121</sup> <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/1215789>. Datum des Zugriffs: 13.10.2010, 20:08

### 5.10.3 Assisted Global Positioning System (A-GPS)

In sehr kleinen GPS Empfängern kommt zumeist die A-GPS Technologie zum Einsatz. Aufgrund der beschränkten Akkulaufzeit können diese Geräte nicht ständig aktiv ihre Position mittels Kontakt zu den Satelliten abgleichen. Das hat zur Folge, dass beim Start der Navigation die gesamten relevanten Daten neu empfangen werden müssen. Dafür benötigen die Empfänger je nach Unterbrechungsdauer und Standort einige Minuten. Um diese Wartezeiten zu verkürzen, wurde ein System entwickelt, dass die Empfänger mit zusätzlichen Daten versorgt.

Ein weltweites Referenznetzwerk von Monitorstationen überwacht ständig die Satellitenkonstellation und sammelt die Bahndaten und Zeitinformationen. In einer Kontrollstation werden diese Daten gesammelt, verarbeitet und anschließend können sich die A-GPS Empfänger diese über GSM oder UMTS-Netze herunterladen. Dadurch können folgende Vorteile gegenüber dem Standard GPS Betrieb erreicht werden<sup>122</sup>:

- Verkürzung der Dauer bis zur ersten Positionsbestimmung
- Erhöhung der Empfindlichkeit des GPS Empfängers, was eine Ortung auch bei schwierigen Umgebungsbedingungen ermöglicht
- Ortung auch innerhalb von Gebäuden
- Erhöhung der Genauigkeit bei der Positionsbestimmung

### 5.10.4 High Sensitivity Global Positioning System (HSGPS)<sup>123</sup>

HSGPS führt zu einer Verbesserung der Empfangseigenschaften, was vor allem für den Einsatz in Häuserschluchten sowie in engen Tälern enorm wichtig ist. Durch die Verwendung von stabileren Oszillatoren sowie unempfindlicheren Antennen und Empfangsstufen sollen folgende Punkte erreicht werden:

- Erhöhung der Signalempfindlichkeit
- Beschleunigung der Akquisition beim Neueinschalten des Empfängers
- Erhöhung der Störuneempfindlichkeit

<sup>122</sup> vgl. PRASAD, R., RUGGIERI, M.: Applied Satellite Navigation Using GPS, GALILEO, and Augmentation Systems, Boston/London: Artech House mobile communication series, 2005, S. 234

<sup>123</sup> vgl. ZOGG, J.-M.: GPS und GNSS: Grundlagen der Ortung und Navigation mit Satelliten, Thalwil: u-blox AG, 2011, S. 124

## 5.11 Anwendungsbereiche

Die satellitengesteuerte Ortung und Navigation hat sich in den vergangenen Jahrzehnten von einem rein militärischen Werkzeug zu einem universell einsetzbaren Verfahren entwickelt. Neben den immer noch wichtigen militärischen Anwendungen kommen GPS, GLONASS und GALILEO unter anderem in folgenden Bereichen zum Einsatz<sup>124</sup>:

- Zivile Luftfahrt
- Seefahrt
- Straßenverkehr
- Vermessungswesen
- Monitoring
- Land- und Forstwirtschaft etc.

---

<sup>124</sup> MANSFELD, W.: Satellitenortung und Navigation, 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010, S. 321ff

## 6 Anwendung von Ortungssystemen

Um die Produktivität von Baumaschinen zu steigern und damit Kosten einzusparen wurden Systeme eingeführt, die eine automatische Maschinensteuerung ermöglichen. Dabei soll aber keineswegs der Maschinist ersetzt werden, sondern die Effizienz seiner Arbeit gesteigert werden. So helfen zahlreiche zusätzliche, vom System generierte, Informationen, Arbeitsabläufe zu beschleunigen und weitestgehend reibungslos zu gestalten.

### 6.1 Entwicklung<sup>125</sup>

Die Anfänge der Maschinensteuerung liegen in der Mitte der 1960er Jahre, als Robert Studebaker den Rotationslaser bzw. das Rotationsprisma erfand. Dieser Laser sendet ein Licht aus, das durch die Rotation eine Ebene erzeugt und es somit Baumaschinen ermöglicht, ebene Oberfläche in der gewünschten Höhe herzustellen. Nach vier Jahren Entwicklungsarbeit wurde das erste System zur Maschinensteuerung vorgestellt, das durch einen solchen Rotationslaser kontrolliert wurde. Allerdings war die Nachfrage nach dieser Technik anfangs eher gering, weil die zusätzlich zu tätigen Investitionen für den Rotationslaser und die dazugehörige Maschinenausstattung viele Anwender abschreckten. Doch im Laufe der Zeit setzte sich diese Technik - auch wegen der sinkenden Preise - immer mehr durch und große Firmen begannen mit der Nutzung dieser Systeme.

In der Folge kamen neue Konzepte zur Maschinensteuerung auf den Markt, wie etwa Totalstationen, die es ermöglichten, Entfernungen zu einem Ziel zu ermitteln und dessen Position in Höhe und Lage zu bestimmen.

Die Einführung von GPS gestützten Steuerungssystemen ermöglichte die Positionsbestimmung in der Höhe und konnte ebenfalls die Lage einer Baumaschine bzw. deren Arbeitsausrüstung orten was völlig autonom arbeitende Maschinen ermöglichen würde. Doch wie bereits erwähnt wurde, soll diese Technologie den Menschen nicht ersetzen sondern lediglich unterstützen.

<sup>125</sup> vgl. AðALSTEINSSON, D.H.: Bachelorproject: GPS machine guidance in construction equipment, Reykjavik University 2008, S. 62

## 6.2 Allgemeines

Systeme zur Maschinensteuerung haben alle ein und dasselbe Ziel. Sie sollen dem Maschinisten veranschaulichen, wo sich das Arbeitsgerät seiner Maschine in der Höhe oder in der Lage befindet. Dabei ist es völlig unwichtig, ob der Geräteführer das Arbeitsgerät seiner Maschine selbst bedient oder mittels eines Automatikmodus das jeweilige System die Steuerung übernehmen lässt.

Grundsätzlich unterscheidet man folgende 3 Typen von Maschinensteuerungssystemen:

### 6.2.1 Maschinensteuerung mittels Rotationslaser

Um ein Planum in einer bestimmten Höhe herstellen zu können, kommen sehr oft Rotationslaser zum Einsatz. Über einem genau eingemessenen Punkt mit klar definierter Höhe wird der Laser auf einem Stativ aufgestellt und betrieben. Durch die Rotation erzeugt der Laser eine Ebene von bestimmter Höhe, in dem das Signal von Empfängern auf den Baumaschinen empfangen wird. Ein Bordcomputer wertet die Signale aus und kann auf diese Weise die IST-Höhe des Arbeitsgerätes ermitteln und gegebenenfalls auch automatisch auf sie SOLL-Höhe verändern.

Die Genauigkeit einer Messung mittels Rotationslaser nimmt mit der Entfernung ab, daher ist ein Arbeiten, je nach Genauigkeitsanforderungen, nur in einem Radius zwischen 300 bis 400 Meter um den Laser sinnvoll.

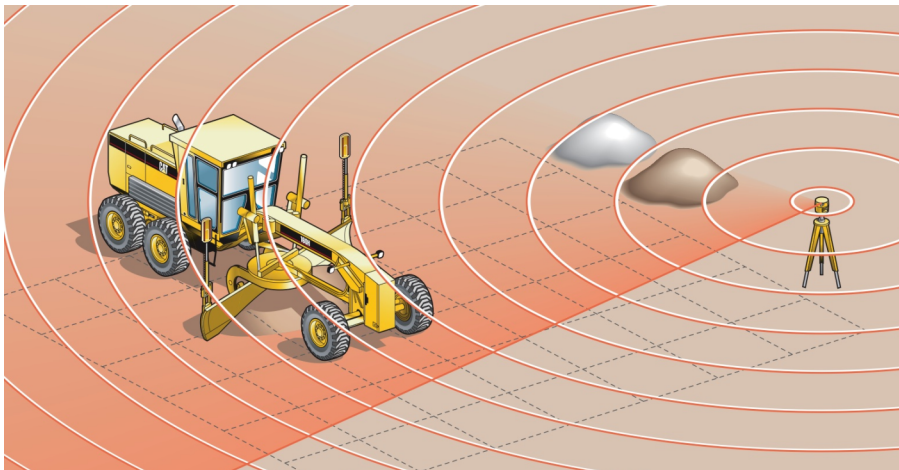


Abb. 6.1 Maschinensteuerung mittels Rotationslaser<sup>126</sup>

<sup>126</sup> [http://www.zeppelin-cat.at/img/pdfs/accugrade/68689\\_AccuGrade.pdf](http://www.zeppelin-cat.at/img/pdfs/accugrade/68689_AccuGrade.pdf) Datum des Zugriffs: 15.02.2011, 10:24

### 6.2.2 Maschinensteuerung mittels Totalstation

Die Maschinensteuerung mittels Totalstation liefert die genauesten Ergebnisse aller Systeme. Die Totalstation wird auf einem eingemessenen Punkt aufgestellt, ermittelt die 3D Position des Empfängers und sendet diese Positionsdaten per Funk an die Baumaschine. Im Gegensatz zum Rotationslaser werden Lage und Höhe des Arbeitsgerätes mittels elektronischer Distanzmessung ermittelt. Dabei wird von der Totalstation ein Lichtstrahl ausgesendet, der von einem, auf der Maschine montiertem Prisma reflektiert wird. Durch Laufzeitmessungen bzw. Messungen der Phasenverschiebung errechnet sich die aktuelle Position des Prismas und somit die Position des Arbeitsgerätes der Maschine.

Da Sichtkontakt zwischen der Totalstation und dem Maschinenprisma herrschen muss, reduziert sich die effektive Reichweite, im Gegensatz zur theoretisch möglichen Reichweite von mehreren Kilometern, oftmals auf Distanzen unter einem Kilometer.

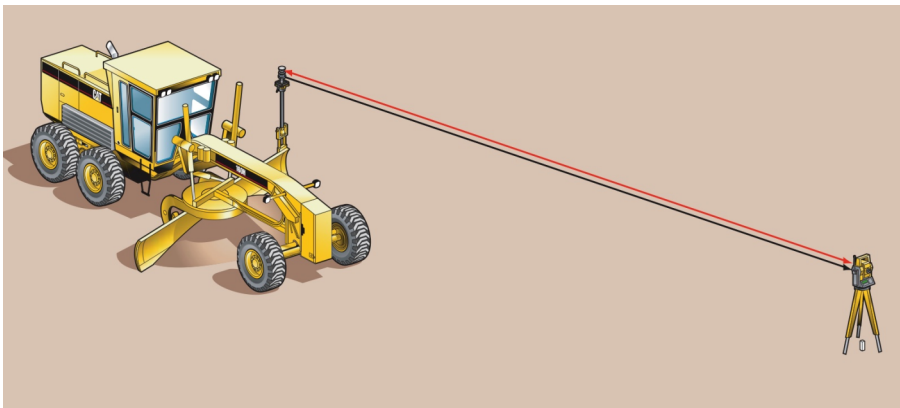
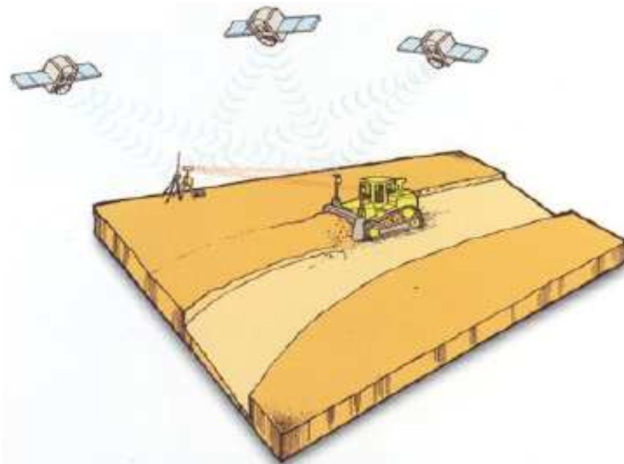


Abb. 6.2 Maschinensteuerung mittels Totalstation<sup>127</sup>

### 6.2.3 Maschinensteuerung mittels Satellitenortung

Diese Art der Maschinensteuerung kann theoretisch auf zwei Arten geschehen. Einerseits kann man die Steuerung über eine herkömmliche Satellitenortung durchführen, indem der Empfänger auf der Maschine Kontakt zu mindestens 4 Satelliten hat. Da bei dieser Methode allerdings nur Genauigkeiten im m-Bereich erreicht werden können, kommt beinahe ausschließlich das unter Punkt 5.10.1 beschriebene Differential GPS zum Einsatz, bei dem Genauigkeiten im cm-Bereich erreicht werden.

<sup>127</sup> [http://www.zeppelin-cat.at/img/pdfs/accugrade/68689\\_AccuGrade.pdf](http://www.zeppelin-cat.at/img/pdfs/accugrade/68689_AccuGrade.pdf) Datum des Zugriffs: 15.02.2011, 10:24

Abb. 6.3 Maschinensteuerung mittels Satellitenortung<sup>128</sup>

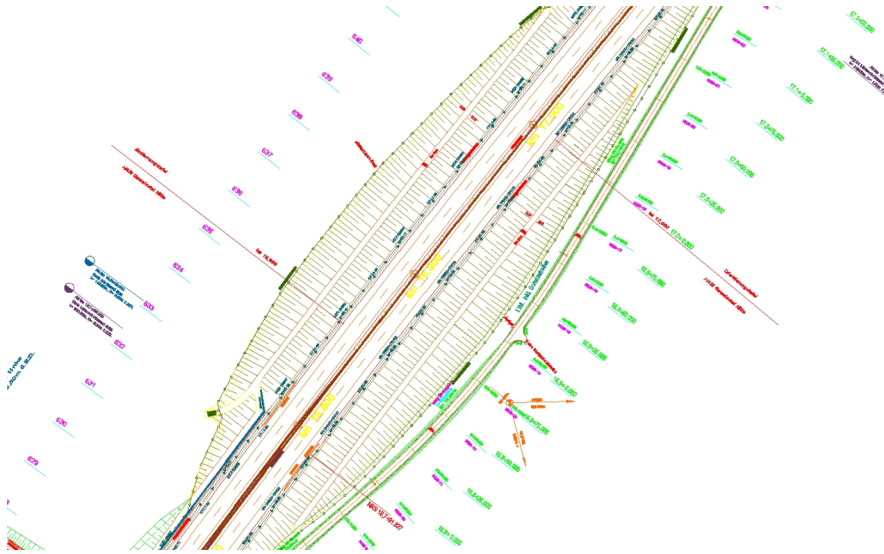
### 6.3 Datenaufbereitung

Um ein Maschinensteuerungssystem betreiben zu können, müssen bestimmte Ansprüche an die Qualität der Pläne gestellt werden. Größtenteils werden vom Bauherrn nur zweidimensionale Pläne, wie etwa Lageplan und Querschnitte, zur Verfügung gestellt, um das Bauvorhaben zu beschreiben. Doch die, in diesen Plänen enthaltene Information ist nicht ausreichend für die Verwendung im Rahmen einer Maschinensteuerung und müssen aufbereitet werden. Das heißt, sämtliche, für die Vermessung und die Maschinensteuerung relevante Punkte im Raum müssen berechnet und in einem digitalen Geländemodell (DGM) zusammengefasst werden.

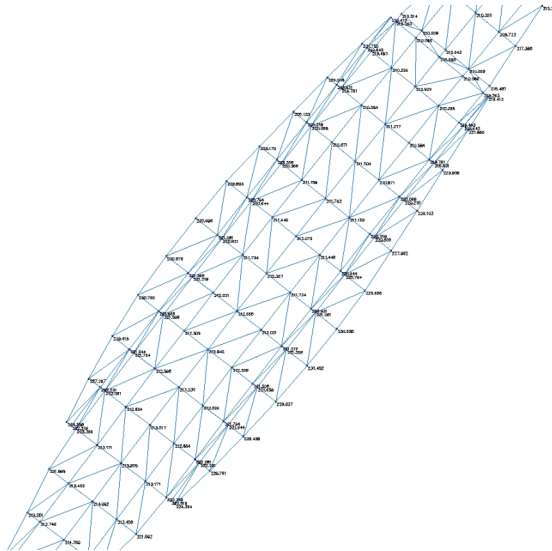
Ein solches Geländemodell stellt die Gesamtheit aller Informationen dar, mit denen die Oberfläche eines Geländeabschnitts beschrieben wird. Für den Straßenbau können zum Beispiel die Plandaten eines Damms oder eines Einschnitts darin enthalten sein. Ein entscheidender Vorteil eines solchen Modells ist, dass es sowohl für die Vermessung als auch für die Maschinensteuerung dasselbe ist.

Die folgenden Abbildungen sollen diesen Sachverhalt veranschaulichen. Der zweidimensionale Lageplan und die dazugehörigen Querschnitte sind die Grundlage für die Erstellung des digitalen Geländemodells.

<sup>128</sup> AðALSTEINSSON, D.H.: Bachelorproject: GPS machine guidance in construction equipment, Reykjavik University 2008, S. 63

Abb. 6.4 Zweidimensionaler Lageplan<sup>129</sup>

Nach der Erstellung des dreidimensionalen Modells lassen sich daraus die Daten für die Maschinensteuerung generieren.

Abb. 6.5 Datengenerierung aus 3D-Modell<sup>130</sup>

In gleicher Weise wird der Lageplan am Display des Bordcomputers der Maschine umgesetzt und auch für Vermessungsarbeiten wird dieser Datensatz verwendet.

<sup>129</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

<sup>130</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH



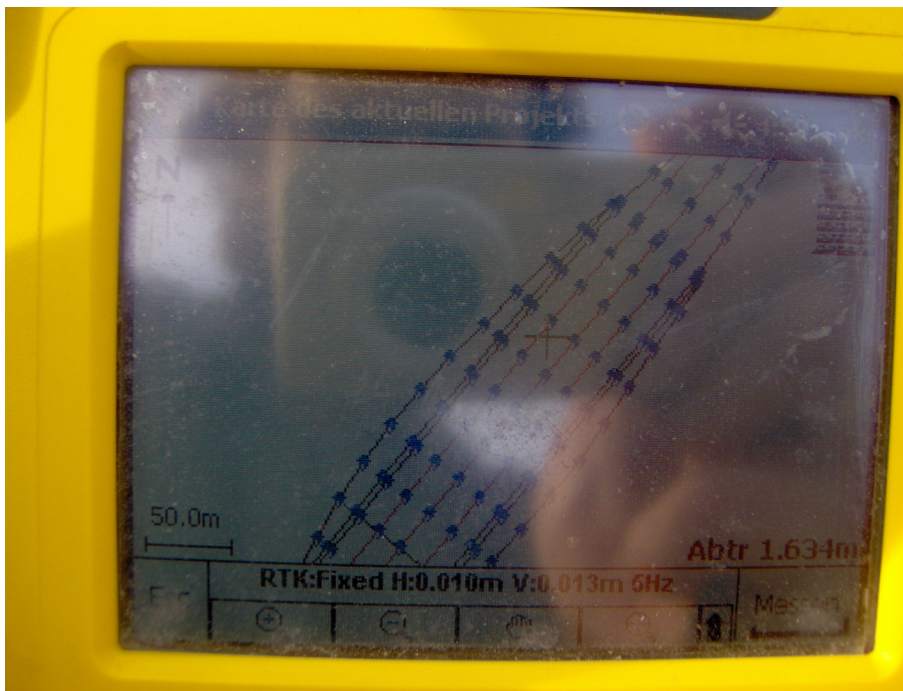


Abb. 6.6 Umsetzung am Bordcomputer der Maschine<sup>131</sup>



Abb. 6.7 Vermessung mit GPS-Rover<sup>132</sup>

<sup>131</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

<sup>132</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

## 6.4 Maschinenausrüstung

Im Folgenden werden die maschinenspezifischen Ausrüstungskomponenten zur Maschinensteuerung behandelt. Dabei wird sowohl die Ausrüstung an sich als auch die Datengewinnung und –verarbeitung sowie die Arbeitsweise näher erklärt und veranschaulicht.

### 6.4.1 Allgemeines

Um die genaue Position eines Baggerlöffels oder des Schildes einer Raupe zu ermitteln, sind eine Vielzahl von komplexen Rechenaufgaben zu lösen und auszuwerten. Da im Zuge einer Maschinensteuerung diese Rechenleistung in „real time“, also in Echtzeit, zu erfolgen hat, benötigt jede Maschine einen eigenen Bordrechner, der quasi das Herzstück des Systems darstellt.

Prinzipiell müssen sich die Bordrechner verschiedener Maschinen nicht unterscheiden, was heißen soll, dass ein und derselbe Rechner sowohl auf einer Raupe als auch auf einem Grader verwendet werden kann. Wichtig sind in diesem Fall nur die Eingabeparameter für die diversen Maschinen. Dafür werden die Komponenten der Maschinensteuerung an den dafür vorgesehenen Stellen montiert und anschließend die gesamte Maschine genau vermessen. Nötig macht das die Tatsache, dass die GPS Antennen ihre eigene Position ermitteln und die Position des Arbeitsgeräts erst durch die Addition der Maschinenmaße errechnet wird. Die gemessenen Daten werden in den Bordrechner eingespeist und der jeweiligen Maschine zugeordnet. Somit kann man sich die gespeicherten Daten jeder Maschine aufrufen, wenn der Bordrechner darauf montiert ist.

### 6.4.2 Bagger

Maschinensteuerungssysteme für Hydraulikbagger umfassen eine Vielzahl von verschiedenen Komponenten. Da ein Bagger viele maschineninterne Bewegungsmöglichkeiten aufweist, ist es nicht möglich, die Steuerung alleine mittels GPS durchzuführen. Aus diesem Grund kommt zur permanenten Bestimmung der Position der Löffelspitze zusätzlich eine hochgenaue Sensorik zum Einsatz. Somit kann man die Komponenten einer GPS Steuerung für Bagger grundsätzlich unterteilen in:

- GPS Ortungssystem
- Maschinensensorik

Die Ortung mittels GPS Antennen erfolgt bei Hydraulikbaggern größtenteils mittels Zwei-Mast-System, bestehend aus

- 2 GPS Antennen (am Heck des Oberwagens montiert)
- Empfänger
- Funkgerät
- Bordrechner

Eine Positionsbestimmung mit nur einer GPS Antenne ist aufgrund der vielen Bewegungsmöglichkeiten zwar machbar, kommt aber wegen der umständlicheren Handhabung nur selten zum Einsatz.

Aus den Signalen, welche die GPS Antennen von den Satelliten empfangen, werden im Rechner, unter Einbeziehung der per Funk erhaltenen Korrekturwerte der Basisstation, die Positionen der Antennen errechnet. Da durch die zwei errechneten Positionen der GPS Empfänger eine Gerade beschrieben wird, ist die Ausrichtung des Baggers zu jeder Zeit bekannt.



Abb. 6.8 Komponenten einer GPS Steuerung für Bagger<sup>133</sup>

Doch um die, für die Arbeit benötigte, genaue Position der Löffelspitze zu ermitteln, reicht die oben genannte Ortung nicht aus, sondern es bedarf einer hochgenauen Sensorik.

<sup>133</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

Diese besteht aus folgenden Komponenten:

- Längsneigungssensor
- Auslegersensor
- Stielsensor
- Löffelsensor
- ggf. Schwenklöffelsensor

Mit Hilfe des Längsneigungssensors wird der Winkel des Baggers zur Horizontalen bestimmt, womit die Position des Oberwagens nun exakt beschrieben ist. In weiterer Folge wird vom Auslegersensor der Winkel zwischen Oberwagen und Ausleger, vom Stielsensor der Winkel zwischen Ausleger und Stiel und vom Löffelsensor der Winkel zwischen Stiel und Löffel ermittelt. Um Ungenauigkeiten weitestgehend zu vermeiden, müssen diese Sensoren genau kalibriert werden. Dabei ist eine maximale Winkelungenauigkeit von  $0,01^\circ$  anzustreben.

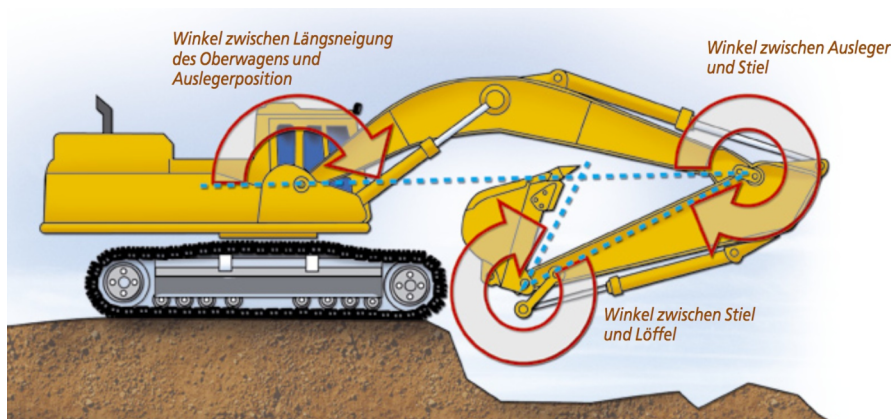


Abb. 6.9 Winkelsensorik eines Baggers<sup>134</sup>

Erst durch die gemessenen Winkel kann der Bordrechner die Position der Löffelspitze errechnen und so ein exaktes Arbeiten ermöglichen.

Für den Maschinisten wird die Position seines Baggerlöffels als auch die Abstände zur SOLL-Höhe in die Grafik der Geländeoberfläche am Rechner eingespielt. Je nach Arbeitsaufgabe kann er zwischen verschiedenen Ansichten wählen, was die folgenden Abbildungen veranschaulichen sollen.

<sup>134</sup> <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-312767/Brochure%20-%20GCS600%20for%20Excavators%20-%20German.pdf>, Datum des Zugriffs: 06.12.2010, 17:52



Abb. 6.10 Sicht aus der Baggerkabine<sup>135</sup>



Abb. 6.11 Sicht aus Baggerkabine am Display<sup>136</sup>

<sup>135</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

<sup>136</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

Abb. 6.12 Draufsicht am Display<sup>137</sup>

Maschinensteuerungssysteme für Hydraulikbagger können aus Kostengründen aber auch im Ein-Mast-System ausgeführt werden. Da mit dieser Methode allerdings die Ausrichtung des Baggers nicht bekannt ist, muss man den Oberwagen nach jeder Positionsänderung einmal vollständig drehen, um eindeutige Werte zu erhalten. Aus diesem Grund kommen Ein-Mast-Systeme bei Bagger nur selten zum Einsatz.

### 6.4.3 Raupe

Die maschineninternen Bewegungsmöglichkeiten bei Raupen sind mit einer Höhen- und Querneigungsbewegung des Schildes um vieles einfacher als jene von Hydraulikbaggern. Aufgrund dieser größeren Starrheit der Maschine können auch mehrere Systeme zur Maschinensteuerung zum Einsatz kommen. Die Entscheidung, welche Systemkonfiguration zum Einsatz kommt, hängt dabei einerseits von der zu erreichenden Genauigkeit und andererseits von der Neigung des zu erstellenden Planums ab.

<sup>137</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

Im Wesentlichen kann man folgende Systeme unterscheiden:

- Ein-Mast GPS System

Im Falle des Ein-Mast GPS Systems wird eine GPS Antenne in der Mitte des Schildes montiert, um die Position der Schildmitte in Lage und Höhe zu bestimmen. Zur Ermittlung der Querneigung dient ein Sensor an der Rückseite des Schildes, der die Schrägstellung bestimmt. Sämtliche Daten werden an den Bordrechner weitergeleitet, der die Position der Schildkanten mit Hilfe der Schildgeometrie errechnet.

Aus der Bewegung (Lageveränderung) der Raupe wird die Fahrtrichtung festgestellt, indem ein Vektor durch die aktuelle Position und die vorhergehende gelegt wird. Lotrecht auf diesen Vektor wird aus dem DGM die SOLL-Querneigung errechnet, auf die das Schild eingestellt werden muss.

Die Komponenten des Ein-Mast GPS Systems sind:

- ♦ 1 GPS Antenne
- ♦ Empfänger
- ♦ Funkgerät
- ♦ Querneigungssensor
- ♦ Bordrechner



Abb. 6.13 Ein-Mast GPS Systeme einer Raupe<sup>138</sup>

<sup>138</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

- Zwei-Mast GPS System

Wie der Name schon sagt, kommen bei diesem System zwei GPS Antennen zum Einsatz, die den Einbau eines Querneigungssensors überflüssig machen. Durch die Positionsdaten der beiden, an den Schildaußenkanten montierten Antennen, kann nämlich sowohl die exakte Position, die Querneigung als auch die Schrägstellung des Schildes ermittelt werden.

Verwendet wird dieses System hauptsächlich bei Einsätzen in extremen Schräglagen, wo das Ein-Mast GPS System an seine Grenzen stößt. Durch seitliches Abdriften würde sich beim Ein-Mast System nämlich ein verfälschter Vektor für die Fahrtrichtung ergeben und damit die SOLL-Querneigung des Schildes falsch errechnet werden. Dieses Problem wird durch das Zwei-Mast GPS System gelöst und es werden auch Arbeiten in beträchtlichen Schräglagen ermöglicht.

Die Komponenten dieses Systems entsprechen im Wesentlichen denen des Ein-Mast Systems, nur wird anstatt eines Querneigungssensors eine zweite GPS Antenne eingebaut.





Abb. 6.14 Zwei-Mast GPS Systeme einer Raupe<sup>139</sup>

Zur Steigerung der erreichbaren Höhengenaugigkeit kann die Maschinensteuerung von Raupen auch mit den in Punkt 6.2.1 und 6.2.2 beschriebenen Verfahren erfolgen. Da jedoch die mittels GPS erreichbaren Werte für einen Großteil der Arbeitsaufgaben von Raupen ausreichend sind, kommt der Steuerung mittels Rotationslaser oder Totalstation nur eine geringe Bedeutung zu und wird darum hier nicht explizit angeführt.

#### 6.4.4 Grader

Im Gegensatz zu Raupen, die überwiegend für die Grobplanie zum Einsatz kommen, ist die Hauptaufgabe des Graders die Feinplanie. Aus diesem Grund werden auch höhere Anforderungen an die Höhengenaugigkeit gestellt, was zur Folge hat, dass Grader sowohl mit GPS Systemen als auch mit Rotationslasern und Totalstationen gesteuert

<sup>139</sup> <http://www.cat.com/cda/files/333514/7/aehg5703-01+TTT+Specaloo.pdf>, Datum des Zugriffs: 08.12.2010, 21:48

werden. Damit stehen für Grader folgende Maschinensteuersysteme zur Verfügung:

- Ein-Mast GPS System

Bei der Steuerung eines Graders mit nur einer GPS Antenne verhält es sich ähnlich wie beim Ein-Mast System von Raupen. Die Antenne sitzt auf einem Mast, der an einer Kante der Schar montiert ist und ständig deren Position ermittelt. Um die exakte Position der gesamten Schar bestimmen zu können, kommen des Weiteren Sensoren zum Einsatz, die die Stellung des Drehkranzes und die Querneigung erfassen. Mit Hilfe dieser Daten und der bekannten Maschinengeometrie wird im Bordrechner die aktuelle Position der Schar errechnet, mit dem DGM abgeglichen und im Automatikmodus auf die geforderte Höhe eingestellt.

Die Komponenten des Ein-Mast GPS System sind:

- ♦ 1 GPS Antenne
- ♦ Empfänger
- ♦ Funkgerät
- ♦ Querneigungssensor
- ♦ Drehkranzsensoren
- ♦ Bordrechner

- Zwei-Mast GPS System

Eine rein auf GPS Ortung beruhende Maschinensteuerung für Grader stellt das Zwei-Mast GPS System dar. Durch die Montage von zwei GPS Antennen an den Kanten der Schar kann ihre Position zu jeder Zeit bestimmt werden, da durch die beiden Positionsdaten eine Gerade beschrieben wird, die der Stellung der Schar entspricht. Auch bei diesem System wird aufgrund der Maschinengeometrie die genaue Lage der Schar im Raum festgestellt und gesteuert.

Die Komponenten des Zwei-Mast GPS System sind:

- ♦ 2 GPS Antennen
- ♦ Empfänger
- ♦ Funkgerät
- ♦ Bordrechner

Abb. 6.15 Zwei-Mast GPS System eines Graders<sup>140</sup>

- Ein-Mast GPS System mit Laserunterstützung

Um höhere Genauigkeiten in der Höhe realisieren zu können wird die Positionsbestimmung mittels GPS durch eine Bestimmung der Höhe mit Hilfe eines Rotationslasers erweitert. Hierfür wird ein zusätzlicher Laserempfänger auf dem Grader montiert (oftmals im Mast der GPS Antenne integriert), der Signale von einem Rotationslaser empfängt. Im Bordrechner werden nun die horizontalen Positionsdaten aus der GPS Ortung, die vertikalen Positionsdaten aus der Lasermessung, die Daten der Drehkranz- und Querneigungssensoren und die Maschinengeometrie herangezogen, um die Position der Schar zu errechnen und zu steuern.

Abb. 6.16 Ein-Mast GPS System mit Laserunterstützung<sup>141</sup>

- Zwei-Mast GPS System mit Laserunterstützung

Diese Systemkonfiguration unterscheidet sich von der vorangegangenen nur dadurch, dass die horizontale Positionsbestimmung mittels zweier

<sup>140</sup> <http://www.trimble.com/gcs900dq-mg.shtml>. Datum des Zugriffs: 08.12.2010, 22:20

<sup>141</sup> <http://www.trimble.com/gcs900sgla-mg.shtml>. Datum des Zugriffs: 09.12.2010, 18:48

GPS Antennen erfolgt. Die vertikale Position wird wieder anhand der Lasermessung festgestellt, um genauer arbeiten zu können.

- Totalstation

Vollkommen ohne GPS Unterstützung kommt die Steuerung eines Graders mittels Totalstation aus. Dieses System setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- ◆ 1 aktives Maschinenprisma
- ◆ Empfänger
- ◆ Funkgerät
- ◆ Querneigungssensor
- ◆ Drehkranzsensoren
- ◆ Bordrechner
- ◆ Totalstation

Vor dem Beginn der Arbeit mit diesem System muss der Maschinist die Totalstation auf einem Stativ aufbauen und einmessen. Da für diese Tätigkeit vermessungstechnische Kenntnisse benötigt werden, kann nur gut geschultes Personal zur Steuerung eines Graders mittels Totalstation zum Einsatz kommen. Ein Fehler in der Positionierung der Totalstation würde nämlich dazu führen, dass die Maschine falsche Daten empfängt und daher nicht wie gewünscht arbeitet.

Nach dem Aufbau stellt die Totalstation die Verbindung zum aktiven Maschinenprisma her, welches auf einem Mast über einer Kante der Schar montiert ist. Durch die aktive Zielerfassung und –verfolgung ist sichergestellt, dass die Totalstation immer nur ein und dasselbe Prisma als Ziel hat. Das verhindert Verwechslungen, wenn auf Baustellen, auf engem Raum, gleichzeitig mehrere mittels Totalstation gesteuerte Maschinen arbeiten.

Ist die Verbindung hergestellt, misst die Totalstation laufend die genaue Position des Prismas und sendet diese mittels Funk an den Bordrechner des Graders. Zusammen mit den Daten der Sensoren und der Maschinengeometrie wird so ständig die Position der Schar ermittelt und auf die SOLL-Höhe des DGM angepasst.



Abb. 6.17 Gradersteuerung mittels Totalstation<sup>142</sup>



Abb. 6.18 Darstellung des Planums am Display<sup>143</sup>

<sup>142</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

<sup>143</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

### 6.4.5 Schwarzdeckenfertiger

Da an die Ebenheit von Straßenoberflächen extrem hohe Ansprüche gestellt werden, stößt die Maschinensteuerung mittels GPS Ortung bei Fertigern teilweise an ihre Grenzen. Wie Abb. 6.19 zeigt, ist die Ungenauigkeit von DGPS zu groß, um eine den Anforderungen entsprechende Deckschicht zu erstellen. Aus diesem Grund kommen für die leitdrahtlose Steuerung von Fertigern fast ausschließlich Totalstationen zum Einsatz.

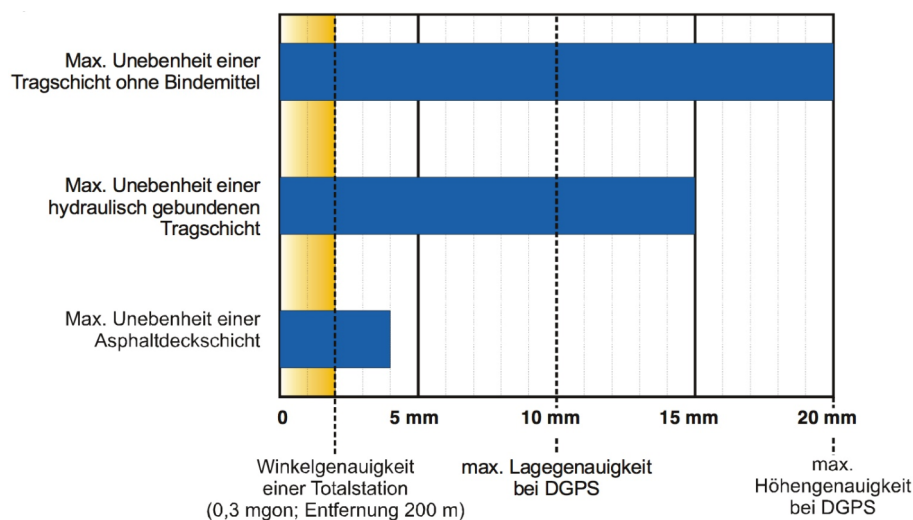


Abb. 6.19 Ebenheitsanforderungen an Straßenbauwerke<sup>144</sup>

Die Komponenten einer leitdrahtlosen Steuerung von Fertigern sind:

- 1 aktives Maschinenprisma
- Funkgerät
- Längs- und Querneigungssensor an der Bohle
- Bordrechner
- Totalstation

Nachdem die Totalstation aufgebaut und eingemessen wurde, wird die Verbindung zum Maschinenprisma hergestellt und dessen Position ermittelt. Die errechneten Positionsdaten werden per Funk an den Bordrechner des Fertigers gesendet und gemeinsam mit den Daten der Neigungssensoren verarbeitet. Daraus ergibt sich die IST-Position der Bohle, welche mit der SOLL-Position aus dem DGM verglichen wird. Um die gewünschte Höhe und Lage der einzubauenden Schicht zu

<sup>144</sup> MEYER, H.J.: Anwendung leitdrahtloser Maschinensteuerungen bei Straßenfertigern, Der Vermessungsingenieur, 03/2003, S. 188

erreichen, nivellieren Hydraulikzylinder die Bohle auf die entsprechende Höhe. Die vorzunehmenden Richtungskorrekturen werden entweder dem Maschinisten auf dem Bordrechner dargestellt oder erfolgen ebenfalls automatisch.

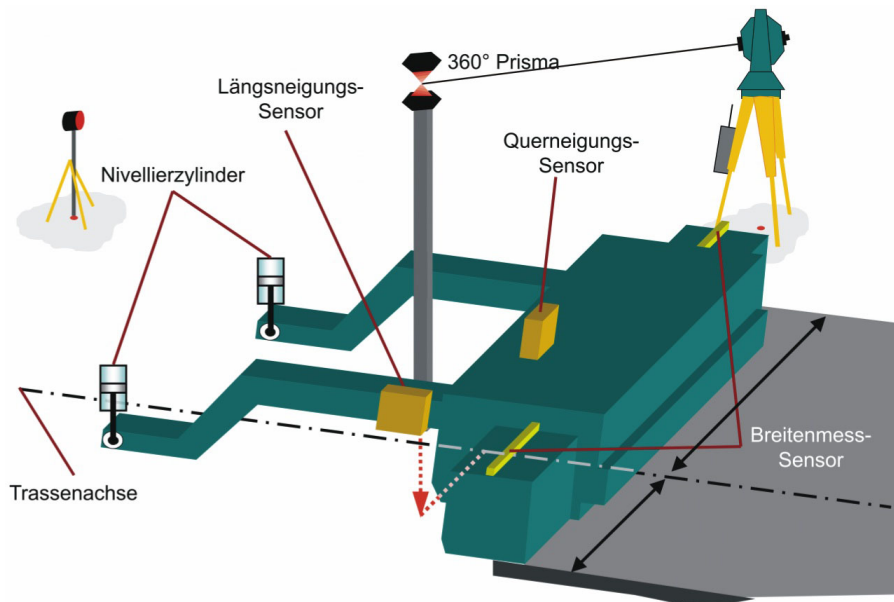


Abb. 6.20 Grundkonzeption von Systemen zur leitdrahtlosen Nivellierung<sup>145</sup>

Als Alternative zur Steuerung von Fertigern mittels Totalstation gibt es am Markt auch GPS/Laser Kombinationen. Hier wird über GPS Empfänger nur die Lage der Bohle ermittelt, da dies in einer ausreichenden Genauigkeit möglich ist. Die Nivellierung der Bohle erfolgt über einen Rotationslaser, der Höhenkorrekturdaten ermittelt und somit einen mm-genauen Einbau ermöglicht.

Aufgrund der geringeren Genauigkeit im Gegensatz zur Steuerung mittels Totalstation und der komplexeren Systematik kommen GPS/Laser Kombination zu Fertigersteuerung allerdings nur selten zum Einsatz.

#### 6.4.6 Betondeckenfertiger

Da an Betondeckenfertiger ähnliche Genauigkeitsanforderungen wie an Schwarzdeckenfertiger gestellt werden, kommt das Prinzip der leitdrahtlosen Steuerung mittels Totalstation in gleicher Weise auch hier zur Anwendung.

<sup>145</sup> MEYER, H.J.: Anwendung leitdrahtloser Maschinensteuerungen bei Straßenfertigern, Der Vermessungsingenieur, 03/2003, S. 190

## 6.5 Baustellennetzwerk

Da für die, auf Satellitenortung basierende Maschinensteuerung das Verfahren des Differential GPS zum Einsatz kommt, reicht es nicht, die Baumaschinen mit GPS Empfängern auszurüsten, sondern es muss auch eine Baustelleninfrastruktur für diesen Ortungsdienst erstellt werden. Abhängig von der flächenmäßigen Ausdehnung der Baustelle, der Beschaffenheit des Geländes, der Anzahl der zum Einsatz kommenden Baumaschinen oder der Dauer des Bauvorhabens, kann ein solches Baustellennetzwerk verschieden gestaltet werden.

### 6.5.1 Referenzstation

Für die Realisierung der differentiellen GPS Ortung ist eine Referenzstation (Basis) nötig, die Korrekturdaten ermittelt und an die Baumaschinen weiterleitet. Eine konventionelle Referenzstation, bestehend aus der GPS Antenne, Funkgerät und Stromversorgung kann mit Hilfe eines Stativs über einem Punkt, dessen Koordinaten bekannt sind, aufgebaut und betrieben werden. Wie Abb. 6.21 zeigt, sind die Geräte allerdings weitestgehend ungeschützt und müssen täglich auf- und abgebaut werden um Diebstahl vorzubeugen. Damit eignet sich eine solche Aufstellung nur für einen zeitlich sehr beschränkten Einsatz.



Abb. 6.21 GPS Basis auf Stativ<sup>146</sup>

<sup>146</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH



Für einen dauerhaften Einsatz über mehrere Monate oder Jahre gilt es Referenzstationen an einem Platz aufzustellen, an dem sie vor Diebstahl und vor allem dem Versetzen möglichst geschützt sind. Beispiele dafür wären in etwa die Montage auf einem Baucontainer oder einem Hausdach. Die Montage an einem solchen höhergelegenen Platz bringt auch Vorteile für die Sende- und Empfangsleistung mit sich.

Eine spezielle Referenzstation wurde von der ALPINE Bau GmbH entwickelt und kam unter anderem beim Bau des 51 km langen Südabschnitts der Nordautobahn A5 im Norden von Wien zum Einsatz. Aufgrund der Größenordnung dieses Projekts und der damit verbundenen Bauzeit, mussten die Referenzstationen dauerhaft aufgestellt werden. Um von Gebäuden, Containern, Masten oder anderen für die Montage der GPS Antennen geeigneten Bauten unabhängig zu sein und auch energieautark zu bleiben, wurde eine Referenzstation entworfen, deren Funk- und GPS Antennen an einem Mast auf einem Container montiert wurden und ihren Strom aus einer Solarzelle bezogen.



Abb. 6.22 Referenzstation „System ALPINE Bau GmbH“<sup>147</sup>

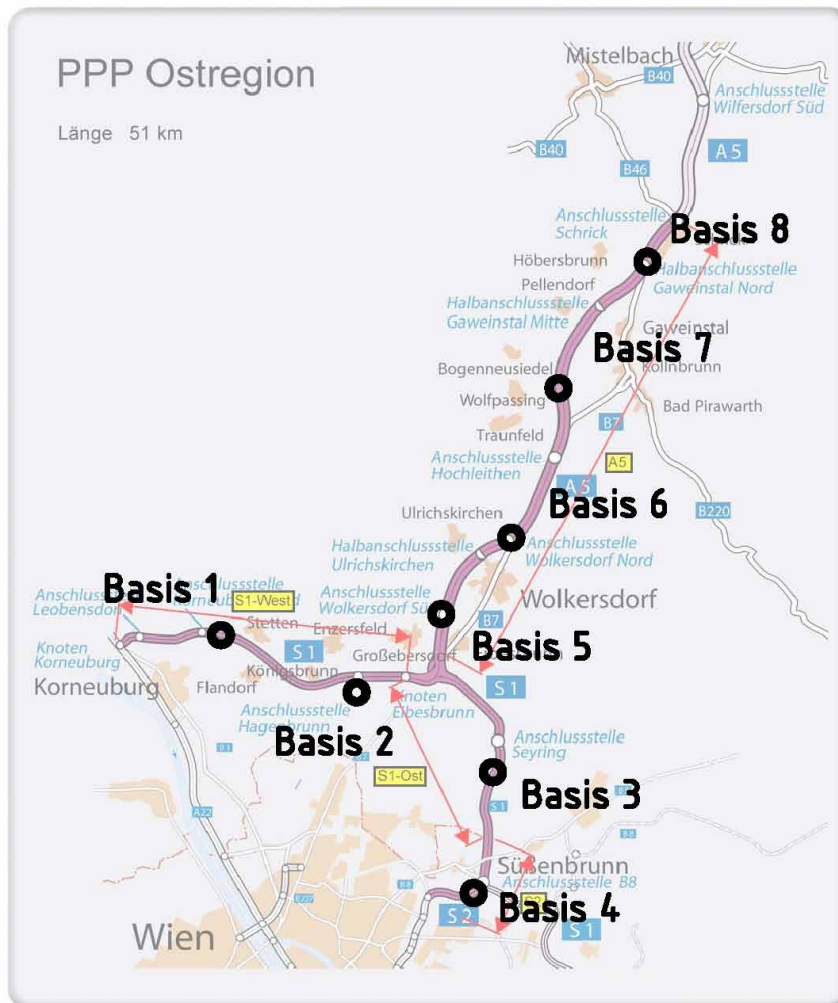
<sup>147</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

Umso größer die Entfernung von der Referenzstation zum Empfänger auf der Baumaschine ist, desto größer wird der Fehler der Positionsortung. Der Grund dafür ist, dass die Korrekturwerte, die an der Basis errechnet werden, streng genommen auch wirklich nur an diesem Ort exakt sind. Jedoch werden genau diese Werte an die Baumaschinen weitergegeben und zur Positionsbestimmung verwendet. Bis zu einer gewissen Entfernung kann dieser Fehler in Kauf genommen werden, verschlechtert allerdings die Ergebnisse.

Aufgrund dieser Tatsache, findet man in vielen Fällen mit einer einzigen Referenzstation nicht das Auslangen. So wurden beim angesprochenen Bauvorhaben an der Nordautobahn A5 acht Referenzstationen benötigt.

Vor Beginn eines solchen Bauvorhabens gilt es daher die optimalen Standorte für Referenzstationen zu finden. Dabei gilt es vor allem die Entfernungen so zu wählen, dass die zu erreichenden Genauigkeiten im gesamten Baustellenbereich realisierbar sind. Des Weiteren ist es von Vorteil, wenn Standorte an exponierten Stellen gewählt werden, da dadurch die Übersicht über weite Teile der Baustelle ermöglicht wird und die Empfangs- und Sendequalität steigt. Nicht außer Acht lassen sollte man aber die Erreichbarkeit der Referenzstationen, da die Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten gewährleistet sein sollte.

Abb. 6.23 zeigt die Verteilung der Referenzstationen des Bauvorhabens auf der Nordautobahn A5, die nach eingehenden Untersuchungen als beste Lösung befunden wurde.

Abb. 6.23 Situierung Referenzstationen<sup>148</sup>

### 6.5.2 Repeater

Die Korrekturwerte, die von den Referenzstationen ermittelt werden, werden über Funk an die Baumaschinen gesendet und dort weiterverarbeitet. Vor Baubeginn müssen dazu Frequenzen ausgewählt werden, auf denen ein störungsfreier Betrieb gewährleistet ist. Da auch die Reichweite dieser Funkverbindungen begrenzt ist, kommen bei großen Bauvorhaben Funkverstärker, sogenannte Repeater zum Einsatz. Diese verstärken die Funksignale und erhöhen damit Reichweite und Signalqualität.

<sup>148</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

### 6.5.3 Datensynchronisierung

Um die Daten auf den Bordrechnern der Maschinen zu aktualisieren, gibt es die verschiedensten Möglichkeiten. Das DGM kann zum Beispiel auf Massenspeichermedien wie etwa 3,5" Disketten oder USB Sticks gespeichert werden, auf welche zugegriffen werden kann. Muss allerdings das digitale Geländemodell häufig überarbeitet werden und somit oft mit den Bordrechnern synchronisiert werden, sind diese Lösungen verhältnismäßig aufwendig. Aus diesem Grund haben die neuesten Systeme zur Maschinensteuerung Schnittstellen, die den Datenaustausch über GSM-, UMTS- oder WLAN Netze ermöglichen.

Im Falle einer Verbindung über GSM- oder UMTS Netze werden über eine im Bordrechner integrierte SIM-Karte Daten empfangen und aktualisiert. Dabei werden Karten von Mobilfunkanbietern verwendet, die je nach Netzausbau in einem GSM Netz oder einem UMTS Netz, welches einen schnelleren Datenaustausch ermöglicht, arbeiten. Für den Transfer von Daten fallen hierbei Kosten beim jeweiligen Anbieter an.

Im Falle einer Datensynchronisierung mittels Wireless LAN, benötigt der Bordrechner einen integrierten WLAN Empfänger für den Datentransfer. In diesem Fall fallen keine zusätzlichen Kosten an, allerdings ist die Reichweite mit maximal 200 m sehr begrenzt.

## 6.6 Anwendungsbereiche

In der Baubranche herrscht seit jeher ein enormer Preiskampf und der Kostendruck auf Bauunternehmen wird immer noch größer. Einen nicht unwesentlichen Anteil daran haben unter anderem<sup>149</sup>

- steigende Personalkosten
- steigende Treibstoffkosten
- verkürzte Ausführungsfristen
- Einschränkungen durch Normen und Verordnungen

Aus diesem Grund ist es entscheidend, ständig Optimierungspotentiale zu erkennen und Abläufe rationaler zu gestalten, um weiterhin konkurrenzfähig zu sein und wirtschaftlich arbeiten zu können.

Maschinensteuerungssysteme bieten eine Vielzahl von Rationalisierungsmöglichkeiten, um den konventionellen Erd- und Straßenbau wirtschaftlicher zu gestalten. Doch nicht jedes Bauvorhaben eignet sich gleichermaßen für den Einsatz von solchen Systemen, was

<sup>149</sup> <http://www.schreiber-geoinformation.de/German/System-Entwicklungen-Dateien/Flyer%20DTM-Navigator%20de.pdf>  
Datum des Zugriffs: 10.01.2011, 15:15

heißen soll, dass manche Bauvorhaben viel mehr Einsparungspotentiale beinhalten als andere.

Der Einsatz von Maschinensteuerungssystemen ist besonders anzuraten für:

- Unterwasseraushub

Abb. 6.24 und Abb. 6.25 zeigen einen Komatsu PC600 Langstielbagger im Unterwasseraushub. Obwohl der Aushub zur Gänze unter der Wasseroberfläche stattfindet und somit kein direkter Sichtkontakt besteht, ermöglicht das installierte GPS System einen bis auf wenige Zentimeter genauen Aushub.



Abb. 6.24 GPS gesteuerter Langstielbagger im Unterwasseraushub<sup>150</sup>

<sup>150</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH



Abb. 6.25 GPS gesteuerter Langstielbagger im Unterwasseraushub (Entladen)<sup>151</sup>

- Herstellung einer komplexen Bauaufgabe

Im Zuge des Baues eines neuen Siedlungsgebietes in Wien (altes Flugfeld Aspern) wird eine sehr komplexe Terrassenlandschaft hergestellt. Abb. 6.26 zeigt sowohl im Lageplan als auch in Geländeschnitten wie feingliedrig diese Terrassen gestaltet sind. Aufgrund der Komplexität dieser Bauaufgabe und des damit verbundenen hohen Aufwandes an Vermessungsarbeiten kommen zur Erstellung GPS gesteuerte Hydraulikbagger und Raupen zum Einsatz.

<sup>151</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH



Abb. 6.26 Asperner Terrassen<sup>152</sup>

Um die Möglichkeiten der GPS Steuerung optimal ausnutzen zu können, hat man den Bau der Terrassen in zwei Schritte gegliedert. Als erster Schritt kommen für den Einbau des Materials GPS gesteuerte Raupen zum Einsatz, die einen leicht überhöhten Dammkörper erstellen. Es wird

<sup>152</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

dabei in Kauf genommen, dass die Raupen durch diese Überhöhung um 5% mehr an Masse zu bewegen haben.

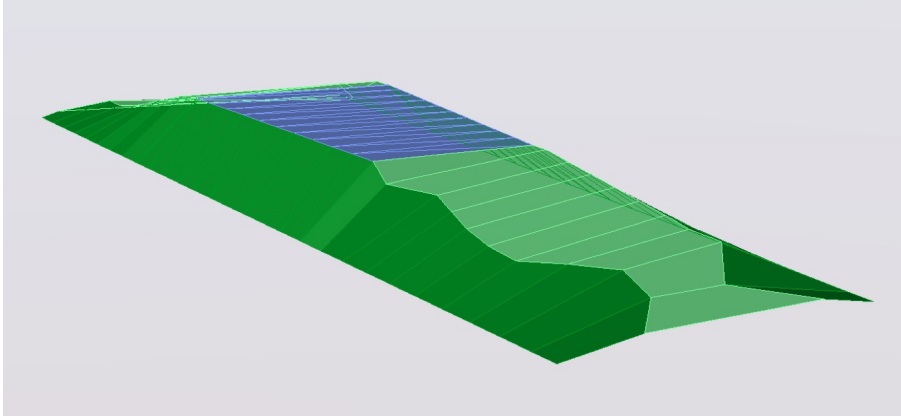


Abb. 6.27 Überhöhter Einbau mit GPS gesteuerter Raupe<sup>153</sup>

Im zweiten Schritt stellen schlussendlich GPS gesteuerte Hydraulikbagger das exakte Profil der Terrassen her.

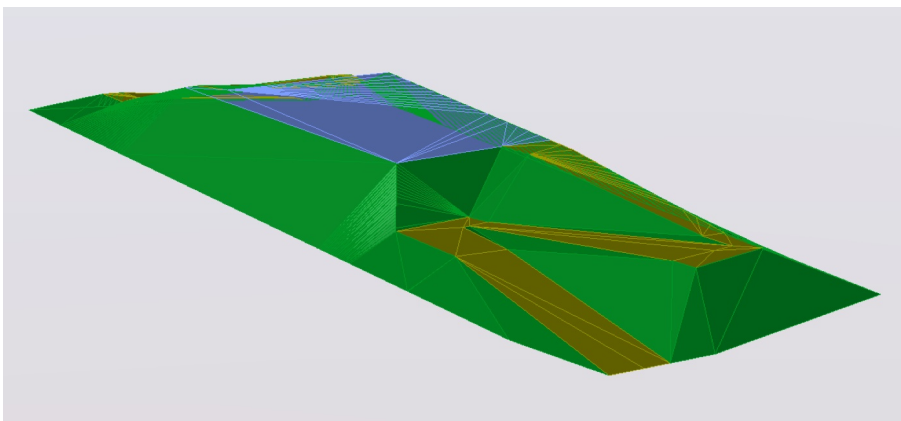


Abb. 6.28 Fertigstellung mit GPS gesteuertem Hydraulikbagger<sup>154</sup>

<sup>153</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

<sup>154</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH



- Bearbeitung großer Flächen

Beim Bau des Südabschnittes der Nordautobahn A5, durch sein Aussehen auch „Projekt Y“ genannt, gab es für den Erdbau eine Vielzahl von Damm- und Einschnittsflächen sowie das gesamte Straßenplanum herzustellen. Aus diesem Grund entschied man sich für den Einsatz von GPS gesteuerten Maschinen, die im Wesentlichen alle mit den Daten eines ganzheitlichen DGM's arbeiteten. Durch die Bearbeitung großer Flächen und dem Einsatz von mehreren GPS gesteuerten Maschinen können diese besonders wirtschaftlich eingesetzt werden.

Abb. 6.29 zeigt einen GPS gesteuerten Hydraulikbagger bei der Fertigstellung eines Einschnitts.



Abb. 6.29 Einschnittsfertigstellung mittels GPS gesteuertem Hydraulikbagger<sup>155</sup>

---

<sup>155</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

- Hoher Vermessungsaufwand bei Geogitterwänden

In einem Abschnitt des Bauvorhabens „Projekt Y“ waren Geogitterwände zu errichten, die durch ihre abgestufte Ausführung bei konventionellem Bau einen sehr hohen Vermessungsaufwand mit sich gebracht hätten. Aus diesem Grund entschied man sich auch hier für den Einsatz von GPS gesteuerten Baumaschinen und reduzierte die Vermessungstätigkeiten auf ein Minimum.

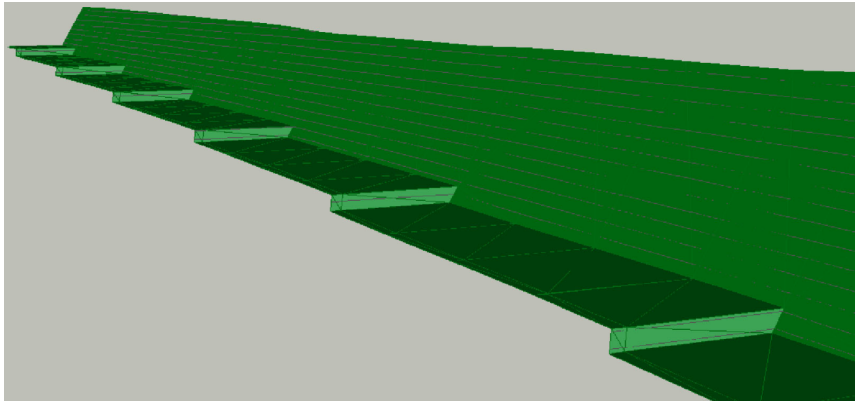


Abb. 6.30 Geogitterwand<sup>156</sup>

Des Weiteren ist es von Vorteil, wenn Unternehmen, die GPS Steuerung oder ähnliche Systems einsetzen, eine große Anzahl von Maschinen damit bestücken. Zum einen lassen sich so Arbeitsgeschwindigkeiten besser aufeinander abstimmen und ermöglichen somit effizientere Maschinenketten, zum anderen sammelt man mehr Erfahrung, den Einsatz von Maschinensteuerungssystemen betreffend. Die Einsatzplanung und –abwicklung bedarf nämlich einer Menge Erfahrung und Fingerspitzengefühl, um die Arbeit von GPS gesteuerten Maschinen wirklich gewinnbringend zu gestalten. Dabei muss man sowohl über die Stärken der jeweiligen Systeme und Maschinen, als auch über deren Schwächen Bescheid wissen, um sie richtig einsetzen zu können.

Eine Umfrage eines Herstellers von Maschinensteuerungssystemen unter Anwendern zu diesem Thema macht deutlich, wo die entscheidenden Vorteile dieser Systeme liegen. Abb. 6.31 stellt die Ergebnisse im Detail dar.

<sup>156</sup> PRETZLER, M., ALPINE Bau GmbH

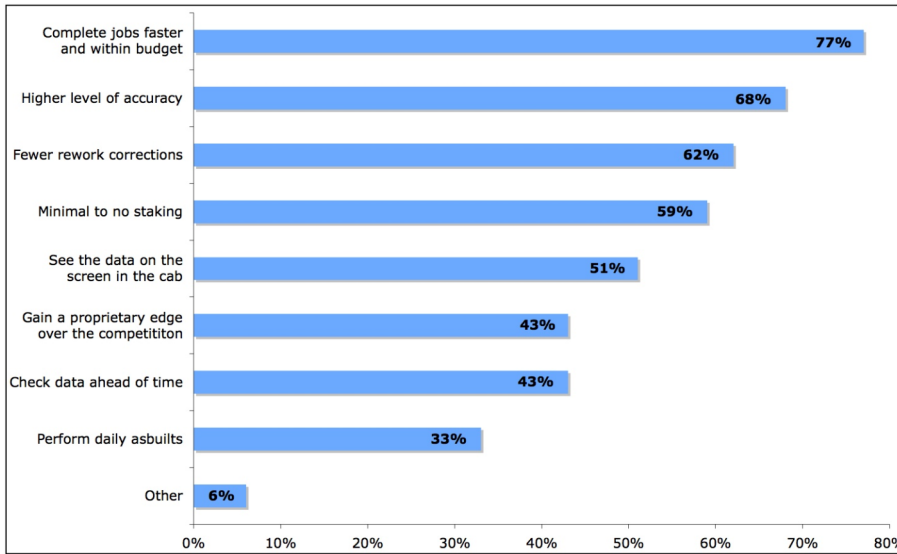


Abb. 6.31 Die größten Vorteile von Maschinensteuerungssystemen<sup>157</sup>

<sup>157</sup> [http://www.dot.state.tx.us/iheep2009/presentations/3D\\_MachineGuidanceOnSH45\\_MikeWehling.pdf](http://www.dot.state.tx.us/iheep2009/presentations/3D_MachineGuidanceOnSH45_MikeWehling.pdf) Datum des Zugriffs: 10.01.2011, 14:50

## 7 Leistungsermittlung und -vergleich

Um einen Vergleich zwischen konventionell arbeitenden Maschinen und Maschinen mit GPS Steuerung durchführen zu können, müssen deren Leistungswerte ermittelt werden.

### 7.1 Leistungsermittlung nach der Berechnungsmethodik an der TU Graz

Es gibt verschiedene Ansätze um die Leistung von Baumaschinen zu ermitteln, allerdings kommt für diese Arbeit alleine die Berechnungsmethodik der TU Graz zur Anwendung, da sie klar und übersichtlich eine rasche Durchführung der Leistungsermittlung ermöglicht. Die im Folgenden angeführten Berechnungsschritte basieren zur Gänze auf dem Skriptum „Baubetriebslehre“ der TU Graz.<sup>158</sup>

Die Berechnung der technischen Nutzleistung gliedert sich in drei Teilschritte:

Theoretische Grundleistung  $Q_0$



Technische Grundleistung  $Q_T$



Technische Nutzleistung  $Q_N$

Für die theoretische Grundleistung  $Q_0$  gilt:

$$Q_0 = 60 \times V_N \times n = 3600 \times \frac{V_N}{T_S} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Dabei ist:

$V_N$ ..... Nenninhalt des Misch-, Grab- oder Fördergefäßes [ $\text{m}^3$ ]

$T_S$  ..... theoretische Spielzeit eines Arbeitszyklus [s]

$n$  ..... Spielzahl [1/min]

<sup>158</sup> HECK, D.: Skriptum Baubetriebslehre VU, Technische Universität Graz WS 2010/11, S. 240ff

Durch Berücksichtigung von Zeitverlusten und Leistungsverlusten aufgrund des zu be- und verarbeitenden Materials ergibt sich für die technische Grundleistung  $Q_T$  nachstehende Formel:

$$Q_T = Q_0 \times \frac{T_S}{T_N} \times f_Z \times f_F = 3600 \times \frac{V_N \times f_Z \times f_F}{T_N} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Dabei ist:

$f_Z$  .....Zeitfaktor, maschinenspezifische Kennzahl der Größenordnung  $0,83 \leq f_Z \leq 0,92$ , wodurch Betriebszeiten der Geräte von 50 bis 55 Minuten pro Stunde erreicht werden

$f_F$  .....Füllungsfaktor des Misch-, Grab- oder Fördergefäßes; abhängig von der Art der Maschine und vom be- und verarbeitenden Material

$T_N$ .....erhöhte Nutzspielzeit; allgemein kein großer Einfluss  $\rightarrow T_N=T_S$

Abschließend werden in der technischen Nutzleistung alle übrigen Einflussfaktoren berücksichtigt und in einem Abminderungsfaktor  $f_E$  zusammengefasst.

$$Q_N = Q_T \times f_E = Q_0 \times f_Z \times f_F \times f_E \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Dabei ist:

$f_E$  .....Abminderungsfaktor oder Nutzleistungsfaktor, dessen Einflussgrößen sich in Baustellenbedingungen ( $f_{E1}$ ) und Betriebsbedingungen ( $f_{E2}$ ) einteilen lassen.

$f_{E1}$  .....Baustellenfaktor, resultiert aus Aufmaß der Arbeiten, ungünstigen Platzverhältnissen, Witterungs- und Wasserverhältnissen, Höhenlage der Arbeitsstelle, störungsbedingte Unterbrechungen

$f_{E2}$  .....Betriebsfaktor, resultiert aus technischem Zustand der Maschinen, Qualifikation und Leistungsbereitschaft des Maschinenführers, Betriebsklima, persönlichen Erholzeiten, Arbeitsvorbereitung und Controlling

## 7.2 Einfluss von Maschinensteuerungssystemen auf die Leistung

Sieht man sich nun die diversen Parameter an, aus denen sich die technische Nutzleistung zusammensetzt, so kann man zwei Größen festmachen, auf die die Verwendung von Maschinensteuerungssystemen Einfluss hat.

Zum einen wird der Betriebsfaktor  $f_{E2}$  durch den Einsatz von Maschinensteuerungssystemen entscheidend verbessert, da sich GPS gesteuerte Maschinen technisch auf dem neuesten Stand befinden und somit Maschinen höher bewertet werden können (siehe Tabelle 7.1). So wäre es denkbar, dass der Zustand der Maschine nur mit „sehr gut“ angenommen werden darf, sofern ein Maschinensteuerungssystem darauf montiert ist und genutzt wird.

Tabelle 7.1 Personen- und Maschinenfaktor<sup>159</sup>

Arbeitsvorbereitung Alter und Zustand der Maschine	Qualität und Einsatzfreude des Maschinisten			
	sehr gut	gut	mittel	schlecht
sehr gut	1,00	0,96	0,79	0,60
gut	0,94	0,88	0,71	0,56
mittel	0,81	0,75	0,64	0,52
schlecht	0,58	0,54	0,47	0,45

Zum anderen wird aber durch den Einsatz von Steuerungssystemen auch die Spielzahl der Maschinen erhöht, was im Besonderen für Planiertrauben und Grader gilt. Diese können durch GPS Unterstützung mit höheren Geschwindigkeiten arbeiten, bewältigen die in einem Arbeitszug zu bearbeitende Strecke schneller und erreichen dadurch eine größere Spielzahl.

Doch auch Hydraulikbagger können durch Maschinensteuerungssysteme ihre Arbeitsgeschwindigkeit erhöhen und steigern dadurch ebenfalls ihre Spielzahl.

Um allerdings die Leistungssteigerung mittels GPS Systemen noch besser und transparenter abbilden und in die Leistungsermittlung miteinbeziehen zu können, sollte ein eigener Faktor eingeführt werden. Dieser sollte maschinenspezifisch festgelegt werden und die technische Nutzleistung erhöhen.

Ein Beispiel hierfür ist ein Programm zur Leistungs- und Betriebskostenberechnung für Hydraulikbagger von *F. Schreiber*, in dem

<sup>159</sup> HECK, D.: Skriptum Baubetriebslehre VU, Technische Universität Graz WS 2010/11, S. 248

der Einsatz von GPS basierten Maschinensteuerungssystemen berücksichtigt wird. Hier wird der GPS Einsatz, also die elektronische Einweisung, als Regelfall angenommen und die konventionelle Methode, also die Einweisung durch Profile, wird durch eine Minderung der theoretischen Leistung von 20% ausgedrückt.<sup>160</sup>

### 7.3 Einsparungspotentiale und Investitionen

Die Vorteile einer Maschinensteuerung mittels GPS allein auf die Leistungssteigerung der Maschinen zu reduzieren ist allerdings falsch, denn ein großer Anteil des Einsparungspotentials liegt in Arbeiten, die im Umfeld der eigentlichen Tätigkeit der Maschine stattfinden.

In Fachgesprächen mit *M. Pretzler* (ALPINE Bau GmbH), *A. Fürst* (Energie Steiermark – STEWEAG-STEG), *J. Dettelbacher* (Gebrüder Haider Bauunternehmung GmbH) und *F. Schreiber* (FH Coburg), sowie Herstellern von GPS basierten Maschinensteuerungssystemen konnten folgende Einsparungspotentiale erörtert werden.

- Einsparungen bei Vermessungsarbeiten
- Einsparungen bei Hilfsarbeiten
- Einsparungen bei Betriebsstoffen

#### 7.3.1 Einsparungen bei Vermessungsarbeiten

Wie bereits unter Punkt 6.6 beschrieben, liegen die Stärken von GPS gesteuerten Maschinen im Einsatz auf komplexen und vermessungsintensiven Baustellen.

Im Zuge eines konventionellen Betriebes, ohne GPS gesteuerte Baumaschinen, werden die zu erstellenden Gräben, Dämme, Einschnitte, Ebenen etc. mittels Absteckpflöcken definiert und kenntlich gemacht. Für diese Arbeit kommen Vermessungsteams zum Einsatz, die aus zwei oder mehreren Personen bestehen, wobei abhängig von Größe und Komplexität der abzusteckenden Bauaufgabe auch mehrere Teams eingesetzt werden. Der Aushub eines Baggers oder die Planie einer Planierdrape erfolgen somit durch die Orientierung an diesen gekennzeichneten Punkten und Höhen. Beim Einsatz von GPS gesteuerten Baumaschinen entfällt diese Arbeit fast zur Gänze, denn das Abstecken mittels Absteckpflöcken ist für den normalen GPS Betrieb nicht nötig. Einzig die Vermessung und Absteckung eines Kontrollpunktes ist in manchen Fällen unerlässlich, um die erreichte Genauigkeit

<sup>160</sup> email Kontakt mit SCHREIBER, F.: FH Coburg, 05.12.2010

zu überprüfen. Somit könnte das Vermessungsteam quasi vollständig eingespart werden, denn die Baumaschinen arbeiten einzig und allein nach den Daten des digitalen Geländemodells.

Allerdings ist ein Arbeiten gänzlich ohne Vermessungsteam nur theoretisch möglich, denn es müssen laufend Kontrollmessungen durchgeführt werden und teilweise auch Punkte abgesteckt werden. Oftmals schreibt auch der Bauherr eine laufende Absteckung bereits in der Ausschreibung vor, welche auf der Baustelle natürlich realisiert werden muss.<sup>161</sup>

### 7.3.2 Einsparungen bei Hilfsarbeiten

Bei Erdbaumaschinen, im Speziellen bei Flachbaggern wie Planier-  
raupen, muss praktisch jeder Arbeitsgang positionsmäßig, besonders  
aber bezüglich der Höhe kontrolliert werden. Aus diesem Grund benötigt  
man im konventionellen Betrieb einen Einweiser, der den Maschinisten  
unterstützt. Nur mit ihm und einer vermessungstechnischen Vorbereitung  
kann, ohne Maschinensteuerungssysteme, höhengerecht planiert oder  
ausgehoben werden.<sup>162</sup>

Kommen GPS gesteuerte Baumaschinen zum Einsatz, wird der  
Einweiser, so er nicht auch noch weitere Aufgaben im Umfeld der  
Maschine erledigt, nicht mehr benötigt, denn die Darstellung des  
Geländes am Display der Maschine ermöglicht dem Maschinisten cm-  
genaues Arbeiten in der Höhe wie auch in der Lage.

### 7.3.3 Einsparungen bei Betriebsstoffen

Gerade durch die, in den vergangenen Jahren, extrem gestiegenen  
Rohstoffpreise für Erdöl, zählt der Verbrauch von Treib- und  
Schmierstoffen zu den Kostentreibern des Erd- und Straßenbaus,  
weshalb auch diese Thematik hier berücksichtigt werden soll.

Da der Einsatz von GPS basierten Maschinensteuerungssystemen nicht  
nur die Leistung erhöht, sondern auch die Genauigkeit steigert, können  
viele Aufgaben in weniger Arbeitszügen verrichtet werden bzw. entfallen  
zeitintensive Nacharbeiten zur Korrektur, was auf direktem Weg einen  
geringeren Treibstoffverbrauch bedeutet.

Ein ebenfalls oft auftretendes Problem ist ein, aufgrund von ungenauer  
Absteckung oder schlechter Einweisung auftretender Mehraushub bei  
der Erstellung von Gräben oder Einschnitten. Dadurch fällt mehr

<sup>161</sup> Interview mit FÜRST, A.: Energie Steiermark – STEWEAG-STEAG, 12.01.2011, Gössendorf

<sup>162</sup> email Kontakt mit SCHREIBER, F.: FH Coburg, 05.12.2010



Aushubmaterial an, das von LKW's oder Mulden zusätzlich abtransportiert werden muss. Hier wird es besonders deutlich, dass ungenaues Arbeiten indirekt auch eine beträchtliche Steigerung des Treibstoffverbrauchs zur Folge haben kann, bedenkt man nur, dass Material oft über mehrere Kilometer abtransportiert werden muss.

Somit kann der Einsatz von Maschinensteuerungssystemen direkt wie indirekt auch einen positiven Einfluss auf den Treibstoffverbrauch der Baumaschinen haben und somit helfen die Kosten von Betriebsstoffen niedrig zu halten.

Neben den angeführten Einsparungspotentialen, ergeben sich durch den Einsatz von Maschinensteuerungssystemen auch zusätzliche Investitionen und Aufwendungen wie:

- Investitionen in Ausrüstung
- Schulung von Personal
- Größerer Aufwand für Datenaufbereitung

#### 7.3.4 Investitionen in die Ausrüstung

Die Steuerung von Baumaschinen mittels GPS oder anderen Systemen setzt den Einbau der für die Ortung nötigen Ausrüstung voraus. Komponenten wie GPS Empfänger, Funkantenne oder Bordcomputer sind für die Ortung und Datenverarbeitung an sich zuständig. Doch um diese Komponenten auch verwenden zu können, müssen die Baumaschinen vorbereitet werden. Dazu muss die Verkabelung des Systems verlegt, benötigte Sensoren installiert und an den passenden Stellen Halterungen für Antennen montiert werden. Erst dann ist eine Maschine bereit für den GPS gesteuerten Einsatz. Somit unterteilen sich die Investitionen in Kosten für

- das Maschinensteuerungssystem und
- die Maschinenvorbereitung

Die Anschaffungskosten für die Maschinenausrüstung können wie folgt beziffert werden (sämtliche Werte sind Richtwerte, exemplarisch für Produkte der Firma Trimble)<sup>163</sup>:

- |  |            |
|--|------------|
| ▪ GPS Ausrüstung für Bagger bzw. Raupen: | € 50.000,- |
| ▪ GPS Basisstation:                      | € 20.000,- |
| ▪ Theodolit für Gradersteuerung:         | € 35.000,- |
| ▪ Graderausrüstung (inkl. Theodolit):    | € 75.000,- |

<sup>163</sup> Interview mit PRETZLER, M.: ALPINE Bau GmbH, 17.11.2010, Großebersdorf/Wien

Da für viele Erdbauarbeiten die Steuerung mittels GPS nicht ständig benötigt wird, und somit die Gerätekosten zu hoch wären, verfahren viele Baufirmen folgendermaßen: Es werden zwar eine Vielzahl von Baumaschinen für den Einsatz mittels Maschinensteuerung vorbereitet, allerdings nicht ständig mit diesen Systemen bestückt. Die Steuerungssysteme werden je nach Bedarf montiert und kommen somit auf mehreren Maschinen zur Anwendung, wodurch eine optimale Auslastung der Systeme erreicht wird, und ihr Einsatz so am wirtschaftlichsten ist.<sup>164</sup>

Weiters fallen auch Kosten für die Installation der benötigten Baustelleninfrastruktur für ein GPS basiertes Maschinensteuerungssystem an. Dazu zählen einerseits Kosten für die Errichtung einer oder mehrerer Basisstationen und gegebenenfalls von Repeatern, andererseits aber auch die Anschaffung von mobilen GPS Empfängern für Absteckungen oder Kontrollmessungen.

### 7.3.5 Schulung von Personal

Um GPS gesteuerte Maschinen richtig bedienen zu können bedarf es einer ausführlichen Einschulung der Maschinisten. Aus diesem Grund bieten Hersteller beim Kauf eines ihrer Steuerungssysteme zusätzlich auch Vororteinschulung an, um dem Geräteführer bestmöglich auf den Einsatz vorzubereiten und das System optimal zu nutzen. Abhängig vom installierten System und der Maschine auf der es verwendet wird, können solche Schulungen zwischen einem halben und 2 Tagen dauern. Danach sollte der Maschinist sämtliche Funktionen des Systems kennen und auch dementsprechend einsetzen können. Um das volle Potential der Systeme ausschöpfen zu können, bedarf es allerdings einer Einarbeitungszeit von ungefähr 2-4 Wochen, wobei die Dauer wiederum abhängig von der jeweiligen Maschine und der Auffassungsgabe des Maschinisten ist.

Generell kann festgehalten werden, dass alle Maschinensteuerungssysteme nur dann eine Leistungssteigerung bringen, wenn der jeweilige Maschinist erfahren und leistungsbereit ist und in dem System eine Arbeitshilfe sieht.<sup>165</sup>

### 7.3.6 Größerer Aufwand für die Datenaufbereitung

Wie bereits erläutert wurde, benötigt man zum Einsatz eines auf GPS basierendem Steuerungssystem dreidimensionale, digitale Gelände-

<sup>164</sup> Interview mit DETTELBACHER, J.: Gebrüder Haider Bauunternehmung GmbH, 12.01.2011, Gössendorf

<sup>165</sup> email Kontakt mit SCHREIBER, F.: FH Coburg, 05.12.2010

modelle. Da solche in den meisten Fällen vom Bauherrn nicht zur Verfügung gestellt werden, müssen die vorhandenen Pläne von der Vermessungsabteilung in ein solches DGM umgewandelt werden. Das ist ein Grund, warum solche Systeme zumeist nur auf größeren Bauvorhaben zum Einsatz kommen. Dort braucht man dieses DGM nicht nur für eine einzelne Maschine, sondern auch alle anderen GPS gesteuerten Maschinen können es als Steuerungsbasis verwenden.<sup>166</sup>

#### 7.4 Maschinenleistungsvergleich

Aus Untersuchungen und Vergleichstests lässt sich das Potential von Maschinensteuerungssystemen auch in Zahlenwerten ausdrücken. Im normalen Baustellenbetrieb ist ein Vergleich nur sehr schwer möglich, da jedes Bauvorhaben ein Unikat ist und unter verschiedenen Randbedingungen errichtet wird. Aus diesem Grund wurde zu Testzwecken ein und dieselbe Bauaufgabe unter gleichen Rahmenbedingungen einmal in konventioneller Weise erstellt und einmal unter Verwendung von GPS gesteuerten Maschinen (was im Folgenden als „Neuer Weg“ bezeichnet wird).

##### 7.4.1 Produktivitätsstudie Caterpillar<sup>167</sup>

Im Jahr 2006 führte der Baumaschinenhersteller Caterpillar eine Produktivitätsstudie unter dem Namen „Road Construction Production Study“ durch, um die Produktivität von Maschinensteuerungssystemen zu ermitteln. Zu diesem Zweck wurden auf einem Testareal nebeneinander zwei idente Straßenabschnitte von 80 Meter Länge hergestellt. Zum Einsatz kamen Maschinen der jeweils selben Type, mit dem Unterschied, dass zum Bau der einen Straße Maschinen mit Steuerungssystemen eingesetzt wurden.

- Planierraupe Caterpillar D6N mit Dual GPS Steuerung
  - Hydraulikbagger Caterpillar 330D mit Dual GPS Steuerung
  - Grader Caterpillar 140H mit Steuerung mittels Totalstation
- sowie
- Muldenkipper Caterpillar 725
  - Muldenkipper Caterpillar 730
  - Muldenkipper Caterpillar 740 Ejector

<sup>166</sup> Interview mit PRETZLER, M.: ALPINE Bau GmbH, 17.11.2010, Großbeersdorf/Wien

<sup>167</sup> <http://www.trimble-productivity.com/media/pdf/ProductivityReportCATRoadConstruction2006.pdf> Datum des Zugriffs: 18.01.2011, 20:40

Im Zuge des Vergleichs wurden die Tätigkeiten in folgende Bereiche gegliedert und die benötigte Zeit, die Spielzahl und der Treibstoffverbrauch ermittelt:

- Abstecken
- Auf-/Abtrag von Material
- Unterbauherstellung
- Planie der Tragschicht
- Feinplanie der Tragschicht

Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 7.2 Vergleich der Arbeitszeit

Zeit		konventioneller Weg	neuer Weg	Ersparnis
		[min]	[min]	
Abstecken		451	54	<b>88,03%</b>
Auf-/Abtrag von Material	D6N	280	258	<b>7,86%</b>
	330D	143	113	<b>20,98%</b>
Unterbauherstellung	D6N	228	88	<b>61,40%</b>
	330D	176	163	<b>7,39%</b>
Planie Tragschicht	D6N	144	53	<b>63,19%</b>
Feinplanie Tragschicht	140H	109	32	<b>70,64%</b>
Summe		1531	761	<b>50,29%</b>

Wie bereits besprochen ist einer der großen Vorteile, den der Einsatz von Maschinensteuerungssystemen mit sich bringt, die dramatische Reduzierung der Vermessungsarbeiten. Brauchte man in der konventionellen Bauweise allein 7,5 Stunden für das Platzieren von über 100 Absteckpflöcken, so konnte man durch den Einsatz von Steuerungssystemen diese Zeit auf unter eine Stunde reduzieren. Den Großteil davon nahm die Positionierung der Totalstation auf drei verschiedenen Standpunkten in Anspruch.

Sieht man sich nun die Arbeitszeiten der Maschinen an, so kann man zwei wesentliche Tatsachen ableiten. Einerseits kommt klar zum Ausdruck welche Maschinen am meisten vom Einsatz von Steuerungssystemen profitiert haben, und andererseits ist ersichtlich für welche Bauaufgaben sich GPS Systeme auf Planiertraupen am besten eignen.

Grader profitieren durch die Steuerung mittels Totalstation am meisten von allen Maschinen und benötigen für die Feinplanie der Tragschicht um 70% weniger Zeit. Ebenfalls eine gewaltige Steigerung der Leistung ergibt sich für Planiertraupen, wobei die Stärken des Systems in der Feinplanie liegen (durchschnittlich 62% Zeitersparnis). Nur eine geringe Zeitersparnis wurde beim Anschütten des Materials erreicht, da hier im Gegensatz zur Planie nicht die Genauigkeit im Mittelpunkt stand und somit der konventionelle Betrieb ähnlich effektiv war.

Auch der GPS gesteuerte Hydraulikbagger konnte seine Aufgaben schneller bewältigen als jener ohne Einsatz von GPS, wenngleich hier die Ersparnis im Vergleich zu Planierdrape und Grader eher gering ausfiel. In Summe konnten aber die Einsatzzeiten der Maschinen durch die Verwendung von Steuerungssystemen halbiert werden.

Tabelle 7.3 Vergleich der Spielzahl

<b>Spielzahl</b>		konventioneller Weg	neuer Weg	<b>Ersparnis</b>
		[#]	[#]	
D6N	Auf-/Abtrag von Material	259	200	22,78%
	Unterbauherstellung	214	60	71,96%
	Planie Tragschicht	156	46	70,51%
		<b>629</b>	<b>306</b>	<b>51,35%</b>
330D	Auf-/Abtrag von Material	234	176	24,79%
	Planie Tragschicht	74	69	6,76%
		<b>308</b>	<b>245</b>	<b>20,45%</b>
725/730/740	Auf-/Abtrag von Material	31	23	25,81%
	Planie Tragschicht	9	8	11,11%
		<b>40</b>	<b>31</b>	<b>22,50%</b>
140H	Feinplanie Tragschicht	62	17	<b>72,58%</b>

Im Zusammenhang mit der Zeit steht natürlich die Spielzahl, die die Baumaschinen für die Durchführung ihrer Bauaufgaben benötigen. Maschinen mit Steuerungssystemen schaffen es durch die höhere Genauigkeit, mit der sie arbeiten, die Spielzahl im Gegensatz zum konventionellen Betrieb stark zu senken. Wie bereits bei der Betrachtung der benötigten Zeit, stechen die Werte von Planierdrape und Grader mit einer Verringerung der Spielzahl von über 70% im Bereich Planie hervor.

Auch der Hydraulikbagger verringert durch eine höhere Genauigkeit bei seinen Arbeiten und dem dadurch reduzierten Mehraushub seine Spielzahl, was auch direkten Einfluss auf die eingesetzten LKW's hat. Weniger Aushub bedeutet auch weniger Material, das abtransportiert werden muss, und spart somit viele LKW Kilometer.

Tabelle 7.4 Vergleich des Treibstoffverbrauchs

Treibstoffverbrauch	konventioneller Weg	neuer Weg	Ersparnis
	[l]	[l]	
D6N	210	136	35,24%
330D	231	123	46,75%
140H	22	7	68,18%

Als weiteres Kriterium des Vergleichs wurde der Treibstoffverbrauch analysiert. Da durch den Einsatz von Maschinensteuerungssystemen sowohl eine Zeit- als auch eine Spielzählersparnis erreicht wurde, ist es nicht weiter verwunderlich, dass auch der Treibstoffverbrauch geringer ausfiel. Dabei bewegten sich die Prozentwerte der Ersparnis von Planierraupe und Grader im Bereich jener der Spielzählersparnis, wohingegen der Treibstoffverbrauch der Maschinenkette Hydraulikbagger-LKW (hier unter 330D angeführt) wesentlich geringer war. Das zeigt deutlich, dass genaues Arbeiten bei der Planie als auch beim Aushub und die daraus folgende Vermeidung von unnötigen LKW Transportstrecken den Treibstoffverbrauch drastisch senken. Im Falle von LKW's fällt zusätzlich zu beförderndes Material besonders ins Gewicht, da sie teils lange Transportstrecken zu bewältigen haben.

Aufgrund der wirtschaftlicheren Arbeitsweise ergab sich für die gesamte Bauaufgabe auch ein Einsparungspotential im Personalbereich. So waren der Bauleiter und die 4 Maschinisten, die die Bauaufgabe mit Hilfe von Maschinensteuerungssystemen durchführten nur halb so lange im Einsatz wie ihre Kollegen. Der Vermesser und ein zusätzlicher Arbeiter konnten beinahe ganz eingespart werden, und trotzdem konnte man doppelt so genau arbeiten als im konventionellen Betrieb.

Nicht berücksichtigt wurde in diesem Vergleich die Zeit, die aufgewendet werden muss, um ein dreidimensionales, digitales Geländemodell zu erstellen, das für den Einsatz von GPS gesteuerten Baumaschinen unumgänglich ist. Da dies Aufgabe des Vermessers ist, könnte die Zeit in den Punkt „Abstecken“ (Tabelle 7.2) miteingerechnet werden.

Da diese Studie von den Firmen Caterpillar und Trimble durchgeführt wurde, können die erhaltenen Ergebnisse nicht ganz ohne Vorbehalt herangezogen werden, da davon auszugehen ist, dass die nötige Objektivität in der Studie nicht immer gegeben war.

#### 7.4.2 Produktivitätsstudie der Universität Reykjavik<sup>168</sup>

In Anlehnung an die von Caterpillar durchgeführte Produktivitätsstudie wurde in kleinerem Rahmen an der Universität Reykjavik eine solche erstellt. Hierbei galt es zwei 160 Meter lange Gräben herzustellen, in denen in verschiedenen Höhen Rohre verlegt werden sollten.

Zum Einsatz kam wie schon bei der Studie von Caterpillar der Hydraulikbagger Caterpillar 330D, der einen Graben in konventioneller Art herstellte und den zweiten unter Verwendung eines Trimble Dual-GPS Systems.

Sämtliche Arbeitsgänge wurden zeitlich exakt erfasst und somit ergeben sich die in Tabelle 7.5 angeführten Arbeitszeiten.

Tabelle 7.5 Vergleich der Arbeitszeit und des Treibstoffverbrauchs

<b>Zeit</b>	konventioneller Weg	neuer Weg	<b>Ersparnis</b>
	[min]	[min]	
Grabenaushub	258,5	395	<b>22,93%</b>
Nachbesserungen	254	0	
	512,5	395	
<b>Treibstoffverbrauch</b>			
	[l]	[l]	
Grabenaushub	196	270	<b>22,19%</b>
Nachbesserungen	151	0	
	347	270	

Betrachtet man nun die Zeit, die für den Grabenaushub aufgewandt wurde, so stellt man fest, dass der Bagger mit dem GPS basierten Maschinensteuerungssystem mehr Zeit benötigte. Allerdings war mit der GPS Ausrüstung ein so genaues Arbeiten möglich, dass es keiner Nachbesserungen bedurfte und somit eine Zeitersparnis von knapp 23% im Gegensatz zum konventionellen Betrieb erreicht werden konnte.

Durch die verkürzte Arbeitszeit des GPS gesteuerten Baggers konnte dessen Treibstoffverbrauch um beinahe denselben Prozentsatz gesenkt werden.

Auch für das Personal, das auf der Testbaustelle arbeitete ergab sich teils erhebliches Einsparungspotential. Entsprechend der Zeitersparnis für den Baggereinsatz reduzierte sich auch die Arbeitszeit des Maschinisten gleichermaßen um fast 23%. Auf Vermesser und zusätzliche Arbeitskräfte konnte man bei der neuen Herstellungsweise beinahe komplett verzichten, wogegen für die konventionelle Herstellung

<sup>168</sup> AðALSTEINSSON, D.H.: Bachelorproject: GPS machine guidance in construction equipment, Reykjavik University 2008

knapp eineinhalb Stunden für den Vermesser und mehr als fünfteinhalb Stunden für einen Arbeiter anfielen.

### 7.4.3 Produktivitätsstudie zum Einsatz von Gradern<sup>169</sup>

Die „American Society of Civil Engineers“ (ASCE) veröffentlichte in ihrem „Journal of construction engineering and management“ eine Produktivitätsstudie zum Einsatz von Gradern und Planiertrauben. Durch Beobachtungen und Messungen auf zwei verschiedenen Baustellen auf denen GPS gesteuerte Maschinen zum Einsatz kamen, wurde versucht, die Produktivität der eingesetzten Maschinen zu ermitteln. Des Weiteren versuchte man auf Basis der ermittelten Werte die zu erreichende Leistungssteigerung für eine weitere Maschine abzuschätzen.

Interviews mit Maschinisten und Bauleitern ergaben, dass die betriebliche Leistung der Maschinen und die geringere Anzahl an Spielen die entscheidenden Vorteile von Maschinensteuerungssystemen sind. Der generelle Vermessungsaufwand verändere sich nur gering, da für andere Maschinen immer noch eine umfassende Absteckung von Nöten sei. Allerdings entfallen im Gegensatz zur konventionellen Durchführung der Bauaufgabe die ständige Kontrolle der Absteckpflöcke und vor allem die Kontrolle des Planums, da GPS gesteuerte Maschinen, diese mit einer ausreichenden Genauigkeit herstellen. Damit ergibt sich trotz allem eine Halbierung des Vermessungsaufwands, wobei die Erstellung des benötigten DGM's hier nicht berücksichtigt wurde.

In Tabelle 7.6 sind die signifikanten Leistungswerte des auf einer Baustelle beobachteten Graders Caterpillar 16H (Trimble Dual-GPS) abgebildet, Tabelle 7.7 zeigt die abgeschätzten Werte für eine fiktive Bauaufgabe durchgeführt von einem Caterpillar 140H (Trimble Dual-GPS).

Tabelle 7.6 Produktivität eines Graders Caterpillar 16H

<b>Caterpillar 16H</b>		konventioneller Weg	neuer Weg	Differenz
betriebliche Leistung	[min/h]	40	50	<b>25,00%</b>
durchschnittl. Arbeitsgeschwindigkeit	[km/h]	6,95	6,88	<b>-1,01%</b>
benötigte Spielzahl	[#]	7	4	<b>-42,86%</b>
Produktivität	[m <sup>3</sup> /h]	537,89	1165,01	<b>116,59%</b>

<sup>169</sup> JONASSON, S., DUNSTON, P.S., AHMED, K., HAMILTON, J.: Factors in Productivity and Unit Cost for Advanced Machine Guidance, Journal of construction engineering and management, 09-10/2002, S. 367ff



Tabelle 7.7 Produktivität eines Graders Caterpillar 140H

<b>Caterpillar 140H</b>		konventioneller Weg	neuer Weg	Differenz
betriebliche Leistung	[min/h]	40	50	<b>25,00%</b>
durchschnittl. Arbeitsgeschwindigkeit	[km/h]	7,86	8,43	<b>7,25%</b>
benötigte Spielzahl	[#]	9	8	<b>-11,11%</b>
Produktivität	[m <sup>3</sup> /h]	405,09	814,53	<b>101,07%</b>

Was bereits aus den Interviews hervorging, bestätigten auch die ermittelten Daten. So konnte die betriebliche Leistung durch den Einsatz von GPS Steuerung um ein Viertel erhöht werden, und auch die Spielzahl konnte besonders im Fall des Testgraders 16H wesentlich gesenkt werden. Aufgrund dieser Tatsachen wurde eine Steigerung der Produktivität um das Doppelte erreicht. Die durchschnittlich erreichte Arbeitsgeschwindigkeit blieb weitestgehend konstant und hatte somit nur geringen Einfluss auf die Leistung.

#### 7.4.4 Leistungssteigerung von Fertigern mit Steuerungssystem<sup>170</sup>

Im Zuge der Sanierung der Start- und Landebahn des Flughafens Zweibrücken (Deutschland) setzte das ausführende Bauunternehmen drei Schwarzdeckenfertiger mit GPS und Laserausrüstung ein. Aufgrund des Flugverkehrs konnten die 45 m breiten und aus drei Schichten bestehenden Bahnen ausschließlich in Nachtschichten hergestellt werden. Die Fertiger der Firma Vögele (2x Super 1800-2, 1x Super 2100-2) hatten jeweils eine Arbeitsbreite von 7,5 m und waren allesamt mit einem GPS Steuerungssystem und einem Zonenlaser ausgestattet, was eine Steigerung der Einbauleistung um zwei Drittel ermöglichte. Mit einer konventionellen Nivellierung mittels Leitdraht wäre der straffe Zeitplan nur schwer einzuhalten gewesen.

Tabelle 7.8 Leistungssteigerung eines Fertigers

		veranschlagt	realisiert	Differenz
Länge / Schicht	[m]	180	300	<b>66,67%</b>
Asphaltfläche / Schicht	[m <sup>2</sup> ]	8.100	13.500	<b>66,67%</b>
Arbeitsschichten	[#]	50	31	<b>-38,00%</b>

<sup>170</sup> VÖGELE, J.: 70% höhere Einbauleistung dank Navitronic Plus, tis Tiefbau – Ingenieurbau - Straßenbau, 03/2010, S. 58ff

## 7.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse nach Bereichen gegliedert diskutiert.

### 7.5.1 Baumaschinen

Sieht man sich die Resultate der durchgeführten Studien an, so kommt ganz klar zum Ausdruck, dass der Einsatz von GPS gesteuerten Baumaschinen einen großen Einfluss auf die Produktivität hat bzw. haben kann. Im Folgenden sind die Ergebnisse der Studien in Diagrammen zusammengefasst und durch Bildung des arithmetischen Mittelwertes wird die durchschnittlich erreichte Zeitersparnis abgebildet.

Es bleibt aber festzuhalten, dass diese Durchschnittswerte nur auf einer geringen Anzahl von Ausgangswerten basieren, da erst wenige Vergleichstests zwischen konventionellem Betrieb und dem Betrieb mit GPS gesteuerten Maschinen durchgeführt wurden. Trotz allem wird das Potential dieser Systeme klar aufgezeigt.

- Fertiger

Für die Leistungssteigerung von Fertigern wird in dieser Arbeit nur ein Test herangezogen, in dem die eingesetzten Fertiger mit GPS Steuerung ihre Leistung um 70% erhöhen konnten und somit den höchsten Wert aller betrachteten Baumaschinen erreichten. Der Grund dafür ist vor allem die Tatsache, dass die zeitintensive Montage eines Leitdrahtes nicht mehr nötig ist. Weiters ermöglicht die präzise Arbeitsweise von Steuerungssystemen eine Steigerung der Einbaugeschwindigkeit, was ebenfalls großen Einfluss auf die Produktivität von Fertigern hat.

Die Steuerung von Fertigern kann aber notgedrungen Weise nicht mit einem reinen GPS System, da die Höhenabweichung bei der Herstellung der Deckschicht maximal in einem Bereich von  $\pm 2$  mm liegen darf, was mit GPS (noch) nicht realisierbar ist. Deshalb kommen für Fertiger oftmals Kombinationen aus einer GPS und Lasersteuerung zum Einsatz, um durch die Lasermessung die geforderte Genauigkeit in der Höhe sicherzustellen.

- Grader

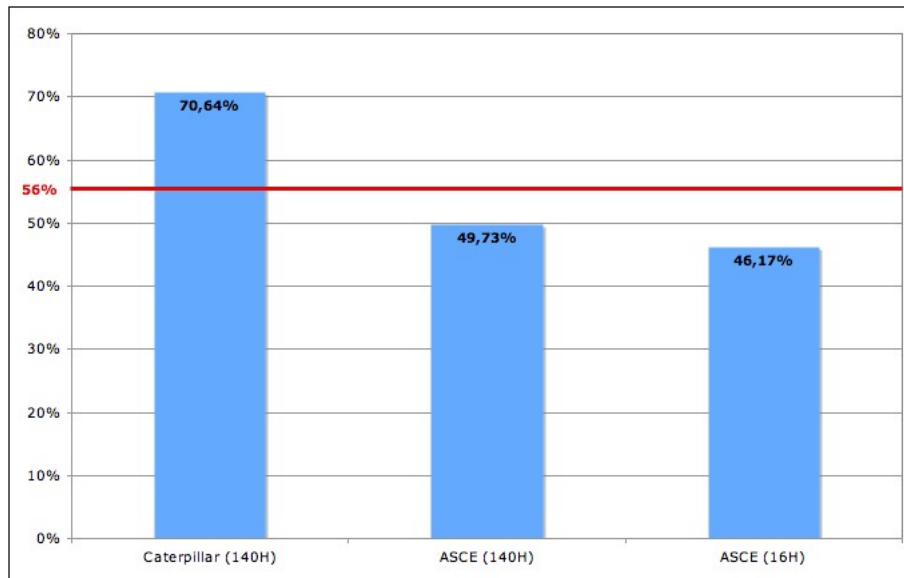


Abb. 7.1 Produktivitätssteigerung von Grader durch GPS Einsatz

Mit einer Produktivitätssteigerung von 56% sind Grader die Erdbaumaschinen, welche den größten Nutzen aus einer Maschinensteuerung ziehen. Da Grader zum Großteil für die Feinplanie eingesetzt werden, kommen die Vorteile der Steuerungssysteme klar zur Geltung. So wird die Exaktheit mit der die Systeme arbeiten dahingehend ausgenutzt, dass die zu erreichende SOLL-Höhe durch weniger Arbeitszüge erreicht wird. Weiters wird auch eine höhere Arbeitsgeschwindigkeit und eine größere betriebliche Leistung ermöglicht.

Je nach Arbeitsaufgabe und den erlaubten Toleranzen muss entschieden werden, ob GPS basierte Systeme oder Totalstationen verwendet werden. Bei sehr hohen Anforderungen an die Höhen Genauigkeit ist der Einsatz von Totalstationen oder die Erweiterung von GPS Systemen durch Rotationslaser unumgänglich.

Die im Zuge dieser Arbeit befragten Personen sahen allesamt Grader als jene Baumaschinen an, die am meisten vom Einsatz von Maschinensteuerungssystemen profitieren.

- Planierraupe

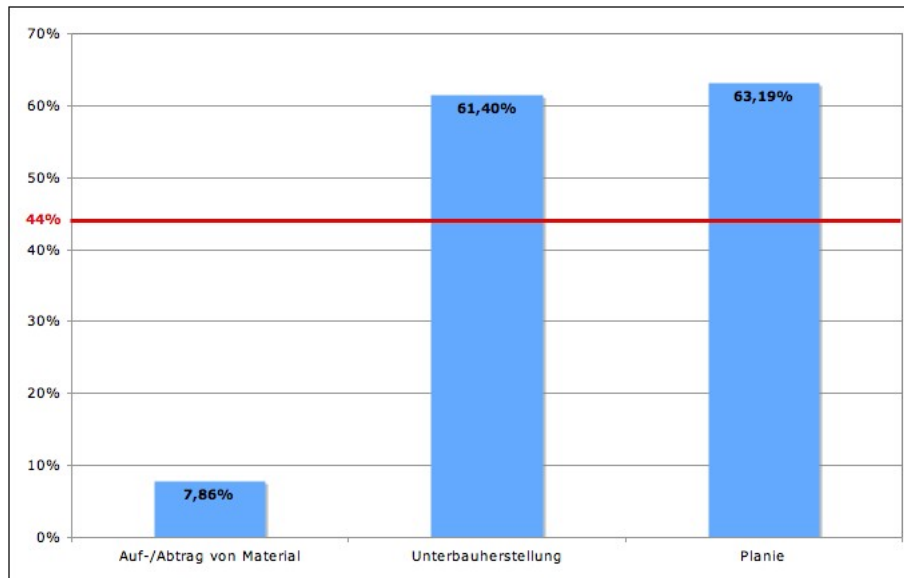


Abb. 7.2 Produktivitätssteigerung von Planierraupen durch GPS Einsatz

Die, wie der Grader, zu den Flachbaggern zählende Planierraupe konnte eine Steigerung der Leistung von durchschnittlich 44% erreichen, wobei aber folgendes festgehalten werden muss. Planierraupen steigern ihre Produktivität besonders im Bereich der Grob- und Feinplanie. In diesen Bereichen liegen sie mit 62% Steigerung sogar über den erreichten Werten der Testgrader. Der geringere Gesamtwert ist durch die nur mäßige Zeitersparnis für das Auf- und Abtragen von Material begründet.

Tätigkeiten, die kein hohes Maß an Genauigkeit benötigen, können also von konventionell gesteuerten Planierraupen beinahe ebenso gut durchgeführt werden wie mit GPS gesteuerten Maschinen. Dadurch wird nochmals klar, dass die Stärken von Maschinensteuerungssystemen in der höheren erzielbaren Genauigkeit und der dadurch entstehenden Verminderung der Spielzahl liegen.

### ▪ Hydraulikbagger

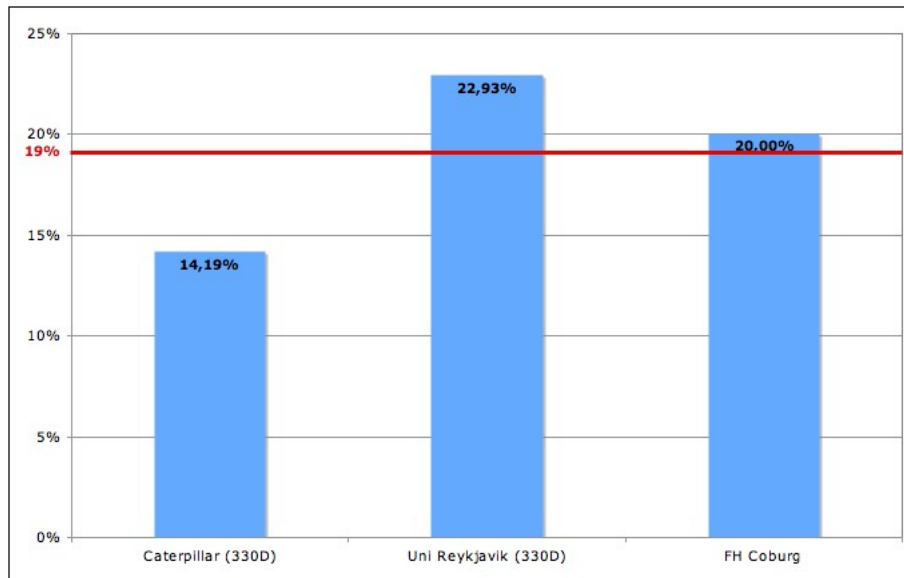


Abb. 7.3 Produktivitätssteigerung von Hydraulikbagger durch GPS Einsatz

Da Testergebnisse zur Produktivitätssteigerung für Hydraulikbagger von mehreren verschiedenen Quellen vorlagen, darf der errechnete Durchschnittswert als der repräsentativste Wert angesehen werden.

Die Schwankungsbreite der gemessenen Werte ist eher gering und zu einem großen Teil abhängig von der Arbeitsaufgabe. So erreichte der für die Produktivitätsstudie der Firma Caterpillar eingesetzte und hauptsächlich mit eher groben, großflächigen Arbeiten beschäftigte Bagger eine Steigerung von knapp über 7%. Im Gegensatz dazu ließ sich beim Aushub des eher schmalen, abgestuften Grabens in der Studie der Universität Reykjavik eine Produktivitätssteigerung von über 22% erreichen. Dieser Wert deckt sich annähernd mit dem im Berechnungsbehelf für die Leistungsberechnung eines Hydraulikbaggers von *F. Schreiber* veranschlagten Wert von 20%.

Daraus kann gefolgert werden, dass sich die Verwendung von GPS Maschinensteuerung für Hydraulikbagger besonders bei sehr komplexen und feingliedrigen Aufgaben bezahlt macht. Ebenfalls ratsam ist ein Einsatz, wenn große Planumsflächen von einem Bagger hergestellt werden müssen, da aufwendige Nacharbeiten weitestgehend vermieden werden.

Ebenfalls für den Einsatz von GPS basierten Steuerungssystemen sprechen die Erfordernis von:

- ◆ Baggerarbeiten bei Dämmerung und/oder schlechter Sicht
- ◆ genauem Baggern unter Wasser
- ◆ Kabelortungen

### 7.5.2 Vermessungsarbeiten

Prinzipiell steckt in den Vermessungsarbeiten auf der Baustelle ein sehr großes Einsparungspotential. Es muss nämlich nicht mehr notgedrungen Weise abgesteckt werden, um den Baustellenbetrieb zu ermöglichen, GPS gesteuerte Baumaschinen kommen gänzlich ohne Absteckung aus. So wurden auch im Zuge der betrachteten Studien, die Zeiten in denen ein Vermesser oder Einweiser anwesend sein muss, nahezu auf Null reduziert.

Allerdings ist eine Reduktion der Vermessungsarbeiten um bis zu 100% in der Praxis nicht möglich. Gründe dafür sind:

- Kontrollmessungen

Trotz der hohen Genauigkeit von GPS Systemen ist es unerlässlich in regelmäßigen Intervallen Kontrollmessungen durchzuführen.

- Absteckungen für konventionell gesteuerte Maschinen

Da neben GPS gesteuerten Baumaschinen immer auch konventionell gesteuerte Maschinen zum Einsatz kommen, kann auf Absteckungen, die deren Orientierung dienen, nicht verzichtet werden.

- vertraglich vereinbarte Absteckungen

Es kann vom Bauherrn vertraglich vorgegeben sein, dass in bestimmten Abständen Absteckungen zu erfolgen haben.

### 7.5.3 Datenaufbereitung

Wenn man von Einsparungspotential bei Vermessungsarbeiten spricht, muss man auch den Mehraufwand für die Datenaufbereitung berücksichtigen, denn GPS basierte Steuerungssysteme erfordern ein digitales Geländemodell. Da ein solches DGM nur in den seltensten Fällen vom Bauherrn zur Verfügung gestellt wird, liegt es an der ausführenden Firma, das vorliegende Planmaterial zu einem DGM aufzubereiten. Da dies grundsätzlich Aufgabe der Vermessungsabteilung ist, muss ein Teil der einzusparenden Zeit für Absteckungen in die Datenaufbereitung investiert werden.

Das ist der Grund, warum die Wirtschaftlichkeit von Maschinensteuerungssystemen mit dem Volumen des jeweiligen Bauvorhabens steigt. Denn egal wie groß das Bauvorhaben ist oder wie viele (GPS gesteuerte) Maschinen im Einsatz sind, es arbeiten alle Maschinen mit demselben Geländemodell, das demnach nur einmal erstellt werden muss.

#### 7.5.4 Investitionen

Für viele, im Speziellen kleinere Firmen, ist die Anschaffung von GPS basierten Steuerungssystemen aufgrund der hohen Investitionen in die Ausstattung der Baumaschinen nicht oder nur schwer möglich. Auch größere Firmen haben nur einen sehr geringen Prozentsatz ihrer Baumaschinen mit GPS Systemen ausgerüstet.

Doch die wirtschaftliche Verwendung dieser Systeme setzt in gewisser Weise eine bestimmte Stückzahl an GPS gesteuerten Maschinen voraus. Mit der Anzahl steigen nämlich auch die erlangten Erfahrungswerte, den Maschineneinsatz betreffend, welche für diese noch recht neue Technologie extrem wichtig sind. Ebenso kann durch die Bildung von Geräteketten verschiedener GPS gesteuerter Maschinen eine Leistungssteigerung erfolgen durch die eine Zeitersparnis erreicht wird.

Grundsätzlich bleibt zu sagen, dass eine Innovation, wie die Maschinensteuerung mittels GPS zweifelsohne eine ist, auch innovatives Personal voraussetzt. Angefangen von einer Vermessungsabteilung, die das Potential eines Bauvorhabens zum Einsatz von GPS basierten Systemen erkennt und auch einsetzt, über die Bauleitung, die nicht von vornherein nur eine technische Spielerei darin sieht, bis zum Maschinisten, der technikaffin ist und der Aufgabe, eine mittels GPS gesteuerte Maschine zu bedienen, aufgeschlossen gegenüber steht.

## 7.6 Fazit und Ausblick

Durch die Analyse der durchgeführten Studien zur Leistungssteigerung von Baumaschinen durch den Einsatz von GPS basierten Maschinensteuerungssystemen wird ersichtlich, welches Potential in den verwendeten Systemen steckt. Die Produktivität aller getesteten Maschinen konnte teils erheblich gesteigert werden, was auf höhere Arbeitsgeschwindigkeiten, weniger erforderliche Arbeitsgänge und geringere Abweichungen gegenüber den SOLL-Werten zurückzuführen ist. Weiters gelingt es Vermessungs- und Hilfsarbeiten auf ein Minimum zu reduzieren, was sich direkt auf die Personalkosten auswirkt.

Da die mit GPS Systemen erreichbaren Genauigkeiten allerdings begrenzt sind, müssen für Bauaufgaben, die nur sehr geringe Toleranzen zulassen, alternative Systeme zum Einsatz kommen. Deshalb werden GPS basierte Steuerungssysteme teilweise mit einer Totalstation oder einem Rotationslaser kombiniert, gegebenenfalls auch durch diese Systeme ersetzt.

Aus diesem Grund ist zu erwarten, dass Systeme zur Steuerung von Baumaschinen mittels GPS in den kommenden Jahren weiterentwickelt werden und neue Lösungen auf den Markt kommen, die deren Anwendbarkeit verbessern. Dies kann eine weitere Steigerung der erreichbaren Genauigkeit, bessere Visualisierung der Tätigkeiten für Maschinisten oder eine Entwicklung in eine völlig neue Richtung sein.

Bei allen Vorteilen, die eine Maschinensteuerung mittels GPS mit sich bringt, müssen aber immer auch die höheren Anschaffungskosten für Maschinen mit GPS Ausrüstung bedacht werden. Dem Produktivitätsgewinn stehen also größere Investitionen gegenüber, die sich nicht für jede Bauaufgabe rechnen.

In Zukunft müssen die Einflüsse von Maschinensteuerungssystemen auf Baukosten und Produktivität anhand von Vergleichstests genauer analysiert werden, um deren Potentiale besser hervorheben zu können. Dafür gilt es in Form von Produktivitätsstudien zu ermitteln, in welchen Arbeitsaufgaben die Stärken der jeweiligen Maschinen liegen, und unter welchen Umständen ihr Einsatz am wirtschaftlichsten ist.



## 8 Literaturverzeichnis

### BÜCHER

BAUER, M.: Vermessung und Ortung mit Satelliten, 4., völlig überarbeitete Auflage, Heidelberg: Wichmann Verlag, 1997

BRECHELER, W., FRIEDRICH, J., HILMER, A., WEIß, R.: Baubetriebslehre – Kosten- und Leistungsrechnung – Bauverfahren; Wiesbaden: Vieweg Verlag 1998

DODEL, H., HÄUPLER, D.: Satellitennavigation, Bonn: Hüthig Telekommunikation, 2004

DREES, G., KRAUß, S.: Baumaschinen und Bauverfahren, 3., völlig neu bearbeitete Auflage, Renningen: expert Verlag, 2002

EL-RABBANY, A.: Introduction to GPS, Norwood: Artech House, Inc., 2002

HEßELBARTH, A.: GNSS Auswertung mittels Precise Point Positioning (PPP), DVW-Schriftenreihe, Band 57/2009, Augsburg: Wißner-Verlag

HOFFMANN, M.: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 7., vollständig überarbeitete Auflage, Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H., WASLE, E.: GNSS – Global Navigation Satellite Systems, Wien: Springer Verlag, 2008

KAHMEN, H.: Angewandte Geodäsie – Vermessungskunde, 20., völlig neu bearbeitete Auflage, Berlin: de Gruyter Lehrbuch, 2006

KÖNIG, H.: Maschinen im Baubetrieb; 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 2008

KÜHN, G.: Der maschinelle Erdbau; Stuttgart: Teubner Verlag 1984

KUNZE, G., GÖHRING, H., JACOB, K.: Baumaschinen, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg Verlag, 2002

MANSFELD, W.: Satellitenortung und Navigation, 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010

PRASAD, R., RUGGIERI, M.: Applied Satellite Navigation Using GPS, GALILEO, and Augmentation Systems, Boston/London: Artech House mobile communication series, 2005

SCHILDT, G. H.: Satellitennavigation, Wien: LYK-Informationstechnik, 2008

ZOGG, J.-M.: GPS und GNSS: Grundlagen der Ortung und Navigation mit Satelliten, Thalwil: u-blox AG, 2011

**SKRIPTEN**

HECK, D.: Skriptum Baubetriebslehre VU, Technische Universität Graz WS 2010/11

MEYER, H.J.: Skriptum Grundlagen mobiler Arbeitsmaschinen, Technische Universität Berlin 2009

STADLER, G.: Skriptum Grundlagen der Bauverfahren, Technische Universität Graz 2003

**WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN**

AÐALSTEINSSON, D.H.: Bachelorproject: GPS machine guidance in construction equipment, Reykjavik University 2008

FICK, E.: Diplomarbeit: Übersicht über die Baugeräte, Technische Universität Graz 1995

KORB, K.: wissenschaftliche Prüfungsarbeit: Satellitennavigation in der Schule, Universität Mainz 2008

MARX, A.: Bachelorprojekt: Leistungswert Hydraulikbagger

**NORMEN**

Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr: Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen – RVS; Wien, Stand: 01.09.2010

Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 2205 – „Erdbau“; Wien, Stand: 01.11.2000

**FACHZEITSCHRIFTEN**

JONASSON, S., DUNSTON, P.S., AHMED, K., HAMILTON, J.: Factors in Productivity and Unit Cost for Advanced Machine Guidance, Journal of construction engineering and management, 09-10/2002

MEYER, H.J.: Anwendung leitdrahtloser Maschinensteuerungen bei Straßenfertigern, Der Vermessungsingenieur, 03/2003

VÖGELE, J.: 70% höhere Einbauleistung dank Navitronic Plus, tis Tiefbau – Ingenieurbau – Straßenbau, 03/2010

## SONSTIGES

Bureau International des Poids et Mesure: The International System of Units(SI), 8<sup>th</sup> edition, 2006

KELLER, F.: Fachseminararbeit: Globale satellitengestützte Positionssysteme im Vergleich, Hochschule RheinMain 2010

## 9 Linkverzeichnis

<http://www.cat.com/cda/files/333514/7/aeHQ5703-01+TTT+Specalog.pdf>,

Datum des Zugriffs: 08.12.2010, 21:48

<http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/1215789>, Datum des Zugriffs:  
13.10.2010, 20:08

[http://www.dot.state.tx.us/iheep2009/presentations/3D\\_MachineGuidanceOnSH45\\_MikeWehling.pdf](http://www.dot.state.tx.us/iheep2009/presentations/3D_MachineGuidanceOnSH45_MikeWehling.pdf), Datum des Zugriffs: 10.01.2011, 14:50

<http://www.gomaco.com/Resources/photos/newgenghp2800/fourtrack/HW-040307-13A.jpg>, Datum des Zugriffs: 22.03.2010, 19:02

[http://www.komatsu.eu/komatsu-machine.asp?machine\\_type\\_id=13&prdt\\_id=173](http://www.komatsu.eu/komatsu-machine.asp?machine_type_id=13&prdt_id=173), Datum des Zugriffs:  
14.07.2010, 14:13

[http://www.komatsu.eu/komatsu-machine.asp?machine\\_type\\_id=1&prdt\\_id=366](http://www.komatsu.eu/komatsu-machine.asp?machine_type_id=1&prdt_id=366), Datum des Zugriffs:  
14.07.2010, 13:13

<http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2316534,00.asp>, Datum des  
Zugriffs: 13.08.2010, 18:02

<http://www.pdhcenter.com/courses/l116/l116content.pdf>, Datum des  
Zugriffs: 23.09.2010, 15:25

<http://www.schreiber-geoinformation.de/German/System-Entwicklungen-Dateien/Flyer%20DTM-Navigator%20de.pdf>, Datum des Zugriffs:  
10.01.2011, 15:15

<http://www.trimble.com/gcs900dg-mg.shtml>, Datum des Zugriffs:  
08.12.2010, 22:20

<http://www.trimble.com/gcs900sgla-mg.shtml>, Datum des Zugriffs:  
09.12.2010, 18:48

<http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-312767/Brochure%20-%20GCS600%20for%20Excavators%20-%20German.pdf>, Datum des Zugriffs: 06.12.2010, 17:52

<http://www.trimble-productivity.com/media/pdf/ProductivityReportCATRoadConstruction2006.pdf>, Datum des Zugriffs: 18.01.2011, 20:40

[http://www.voegele.info/de/produkte/super\\_serie/raupenfertiger/super\\_2500/SUPER\\_2500\\_-\\_Einelseite.php](http://www.voegele.info/de/produkte/super_serie/raupenfertiger/super_2500/SUPER_2500_-_Einelseite.php), Datum des Zugriffs: 22.03.2010,  
19:20

<http://www.volvo.com/dealers/de-Volvo/products/motorgraders/G940/introduction.htm>, Datum des  
Zugriffs: 14.07.2010, 14:22

[http://www.zeppelin-cat.at/img/pdfs/accugrade/68689\\_AccuGrade.pdf](http://www.zeppelin-cat.at/img/pdfs/accugrade/68689_AccuGrade.pdf),

Datum des Zugriffs: 15.02.2011, 10:24

[http://www.zeppelin-cat.at/img/pdfs/bagger/kettenbagger\\_8\\_40/G-3325-1-320D-Specialog.pdf](http://www.zeppelin-cat.at/img/pdfs/bagger/kettenbagger_8_40/G-3325-1-320D-Specialog.pdf), Datum des Zugriffs: 15.07.2010, 16:38

## 10 Interviewverzeichnis

BEßLER, M.: Scanlaser GmbH, 24.04.2010, München, Dauer: 30 Minuten

DETTELBACHER, J.: Gebrüder Haider Bauunternehmung GmbH, 12.01.2011, Gössendorf, Dauer: 20 Minuten

FÜRST, A.: Energie Steiermark – STEWEAG-STEG, 12.01.2011, Gössendorf, Dauer: 30 Minuten

MAFFINI, S.: Trimble Germany GmbH, 24.04.2010, München, Dauer: 20 Minuten

PRETZLER, M.: ALPINE Bau GmbH, 17.11.2010, Großebersdorf/Wien, Dauer: 5 Stunden

SCHREIBER, F.: FH Coburg, email Kontakt am 05.12.2010,

WERNER, D.: Sitech Ost GmbH, 24.04.2010, München, Dauer: 20 Minuten