

Projekt Gleismesswagen



0. Inhaltsverzeichnis

0.	Inhaltsverzeichnis	1
0.1.	Tabellenverzeichnis:.....	1
1.	Einleitung.....	2
2.	Kalibrierung.....	3
2.1.	Querneigung Messwagen	3
2.2.	Kalibrierung Potentiometer	5
2.3.	Kalibrierung Odometer.....	7
2.4.	Prismenhöhe über Gleis.....	8
2.5.	Richtungskorrektur bei Tachymeter ATS600.....	9
3.	Verifikation der Kalibrierung	10
3.1.	Tachymeter – GriPos (statisch)	10
3.2.	Kinematisch mit Tachymeter	12
3.3.	Interpretation der Messungen	14
4.	Zusammenhang zwischen Längs- und Querneigung	14
4.1.	Nicht vollständig aufgeheizte Elektronikbox	14
4.2.	Einfluss der Längs- auf die Querneigung	14
5.	Schlussbemerkungen	15
6.	Anhang.....	16
6.1.	Querneigung	16
6.2.	Potentiometer.....	17
6.3.	Odometer	18
6.4.	Prismenhöhe	19
6.5.	Tachymeter – GriPos (statisch)	20
6.6.	Tachymeter – kinematisch.....	24
6.7.	Neigungskontrolle	26

0.1. Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1:	Resultate Potentiometer in Fahrtrichtung links.....	6
Tabelle 2:	Resultate Potentiometer in Fahrtrichtung rechts.....	6
Tabelle 3:	Resultate Odometer.....	7
Tabelle 4:	Höhen der verwendeten Prismen	8
Tabelle 5:	Genauigkeitsbetrachtung Lage- und Höhendifferenzen	11
Tabelle 6:	Genauigkeitsbetrachtung Überhöhungs- und Spurweitenabweichung	12

1. Einleitung

Im Rahmen eines KTI-Projektes (Kommission für Technologie und Innovation) entwickelt geomETH gemeinsam mit der Hochschule für Technik und Architektur Burgdorf, Terra Vermessungen in Zürich und Grunder Ingenieure AG in Burgdorf einen Messwagen für die Aufnahme und Absteckung von Gleisen. Auf dem Schienennetz der SBB wurde der mit mehreren Sensoren bestückte Wagen bereits erfolgreich eingesetzt, unter anderem für den Einbau der festen Fahrbahn im Tunnel Zürich-Thalwil. Im Geodätischen Projektkurs wird eine Schmalspurversion (Meterspur) des Wagens auf den Gleisen der Matterhorn Gotthard Bahn (MGBahn) getestet. Messgelände ist die Ausweichstelle Ackersand zwischen Neubrück und Stalden. Die Arbeiten setzen sich aus Vorbereitungen und der eigentlichen Gleismessung zusammen. Zur Vorbereitung gehören die Kalibrierung des Messwagens und seiner Sensoren sowie die freie Stationierung von Tachymeterstandorten und deren Koordinatenbestimmung über vorhandene Gleisversicherungspunkte. Die Gleismessung erfolgt sowohl statisch (stehender Messwagen bei vorgegebener Kilometrierung) als auch kinematisch (Messungen bei fahrendem Gleismesswagen).

2. Kalibrierung

2.1. Querneigung Messwagen

Der Neigungssensor des Gleismesswagens misst eine Spannung U . Da zwischen Spannungssignal und dazugehöriger Neigung v ein linearer Zusammenhang besteht, kann die Spannung auf eine Querneigung umgerechnet werden.

Bestimmt werden muss dafür der Offset v_0 (Achsenabstand) und der Gain c (Steigung):

$$\mathbf{n} = \mathbf{n}_0 + c \cdot U$$

Für die Bestimmung des Gains müssen von mindestens zwei Spannungen die Sollneigungen berechnet und daraus die Höhendifferenz abgeleitet werden. Um die Genauigkeit zu steigern, wird jedoch überbestimmt gemessen, d.h. es wird von mehr als zwei Spannungen die Sollhöhen bestimmt.

Die Spannung kann nicht direkt gemessen werden, es kann jedoch das totale Differential gebildet werden:

$$d\mathbf{n} = d\mathbf{n}_0 + c \cdot dU + U \cdot dc$$

Unter der Annahme, dass am Nullpunkt ist kein Fehler vorhanden ist und die Spannung fehlerfrei gemessen wird (d.h. $dv_0 = 0$, $dU=0$), ergibt sich:

$$d\mathbf{n} = U \cdot dc$$

Die Änderung des Gains beträgt somit:

$$dc = \frac{d\mathbf{n}}{U}$$

Die Spannung U kann nicht gemessen werden. Durch Auflösen der Geradengleichung ergibt sich jedoch:

$$U = \frac{1}{c}(\mathbf{n} - \mathbf{n}_0)$$

Eingesetzt in den Ausdruck für die Gainänderung ergeben sich die Beobachtungsgleichungen:

$$dc = \frac{d\mathbf{n}}{\mathbf{n} - \mathbf{n}_0}$$

wobei:

$$d\mathbf{n} = \mathbf{n}_{soll} - v_{ist}$$

Die Basis muss auf einen Millimeter genau bekannt sein, damit sie zu keinem Fehler bei der Neigungsbestimmung führt.

Abschätzung:

Basis $b = 1 \text{ m}$

Genauigkeit der Basisbestimmung $db = 1 \text{ mm}$

Neigungswinkel = $\arcsin(h/\text{Basis})$

Seitliche Überhöhung h	Neigungswinkel mit Basis = $b = 1 \text{ m}$	Neigungswinkel mit Basis = $b - db = 0.999 \text{ m}$	Neigungswinkel mit Basis = $b + db = 1.001 \text{ m}$
1 mm	1.000 mrad	1.001 mrad	0.999 mrad
2 mm	2.000 mrad	2.002 mrad	1.998 mrad
5 mm	5.000 mrad	5.005 mrad	4.995 mrad
1 cm	10.000 mrad	10.010 mrad	9.990 mrad
2 cm	20.001 mrad	20.021 mrad	19.981 mrad
5 cm	50.020 mrad	50.020 mrad	49.971 mrad
10 cm	100.167 mrad	100.268 mrad	100.067 mrad
25 cm	252.680 mrad	252.939 mrad	252.422 mrad

Aus der Betrachtung der Tabelle folgt:

$$\frac{db}{b} = \frac{1\text{mm}}{1\text{m}} = 1.00 \text{ Promille} \approx \left| \frac{n_{\text{korrekt}} - n_{\text{abweichend}}}{v_{\text{korrekt}}} \right|$$

Da der Fehler näherungsweise proportional zur seitlichen Überhöhung ist, vergrößert sich der aus einer ungenauen Basisbestimmung entstandene Fehler mit zunehmender Neigung. Unsere Basismessungen erfüllen die Genauigkeitsforderung von 1 mm, deshalb betrachten wir in der analytischen Herleitung der Neigungen die Basis als fehlerfrei ($db = 0$). Zudem ist es aufgrund obiger Formel zulässig, den Sinus des Winkels durch dessen Bogen ersetzen:

$$h = n \cdot b$$

$$dh = b \cdot dn$$

Aufgelöst nach der Neigungsänderung dn ergibt sich:

$$dn = \frac{dh}{b}$$

Eingesetzt in die Formel für die Änderung des Gains dc erhält man:

$$dc = c \cdot \frac{dh}{h - b \cdot n_0}$$

Holzpflöcke mit einer Höhe von jeweils ca. 40 mm wurden unter ein Rad des Gleismesswagens gelegt, um die Neigungssensoren kalibrieren zu können. Der Unterschied zwischen Soll und Ist beträgt bei einem unterlegten Pflöck 1.4 mm, bei zwei unterlegten Pflöcken 2.9 mm und bei drei unterlegten Pflöcken 4.5 mm, was die Annahme von linearem Zusammenhang zwischen Ist und Soll stützt. Der daraus errechnete neue Gain c , welcher sich mit einem Wert von -421.7159 um 3% vom ursprünglichen Wert von -410.0684 unterscheidet, kann nun in die Konfigurationsdatei `sensor.cfg` eingefügt werden.

→ Anhang 6.1. Querneigung

2.2. Kalibrierung Potentiometer

Um die Spurweite zu messen, sind am Gleissmesswagen zwei Taster angebracht, welche mit einer Feder an die Innenkante der Geleise gedrückt werden. Die Auslenkung der beiden Taster wird mit je einem Potentiometer abgegriffen. Die Taster sind mit Arretierungen versehen, welche beim Aufsetzen des Messwagens auf ein Gleis unbedingt eingeklappt sein müssen.

Um Gain und Offset der Potentiometer zu bestimmen, werden die Taster mit der Schiebelehre in bestimmte Auslenkungen gebracht und der Wert der Spurweite auf dem Display des Laptops notiert. Es ist zu beachten, dass der Wert der Spurweite von beiden Potentiometern abhängig ist und daher ein Taster arretiert wird, wenn beim ändern die Auslenkung mit der Schiebelehre bestimmt wird.

Im Sensorkonfigurationsfile sind bereits ein Offset- und ein Gainwert vorgegeben, der bekannt sein muss. Dieser kann nicht zu Beginn auf Null gesetzt werden, da sonst das Programm keine Spurweite ausgeben kann. Es muss eine Übertragungsfunktion von der gemessenen Spannung in Volt auf die Spurweite in Millimetern vorhanden sein. Diese wird mit der Kalibrierung nun angepasst und verifiziert.

Als zusätzliche Schwierigkeit kommt hinzu, dass die Messwerte der Potentiometer, welche auf dem Auslenkungswinkel α beruhen, nicht direkt auf die Auslenkungsdistanz a an den Tastern schliessen lassen:

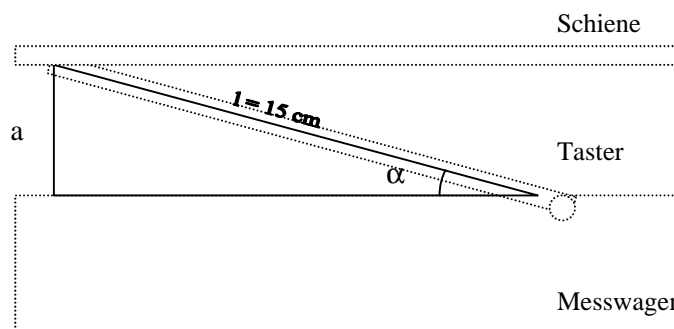
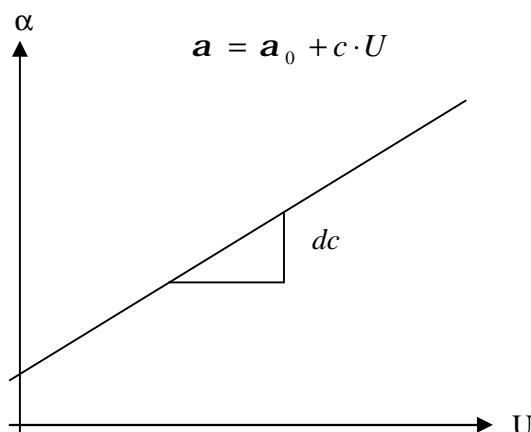


Abbildung 1: Prinzip der Spurmessung

Es lässt sich nun die Steigung (Gain) wie folgt bestimmen:



Für kleine Winkel gilt:

$$a \cong l \cdot \alpha = l \cdot \alpha_0 + l \cdot c \cdot U$$

Totales Differential:

$$da = \overbrace{l \cdot d\alpha_0}^{=0} + l \cdot dc \cdot U + \overbrace{l \cdot c \cdot dU}^{=0}$$

$$dc = \frac{1}{l \cdot U} da \quad U = \frac{a - l \cdot \alpha_0}{l \cdot c}$$

$$\Rightarrow \frac{dc}{c} = \frac{da}{a - l \cdot \alpha_0}$$

Abbildung 2: Spannung U als Funktion der Auslenkung a

Wobei c als Wert des alten Gain betrachtet wird und v die Messung mit der Schiebelehre darstellt. Als Näherung bei kleinen Auslenkungen ergibt sich $v_0 = \alpha_0 \cdot l$.

α_0 ist der Offsetwinkel und l die Länge des besagten Tasterarmes. Hiermit wird die Korrektur an der Auslenkung durch den Hebelarm angebracht.

Mit der Ausgleichung nach kleinsten Quadraten der gewichteten Mittel getrennt für jedes Potentiometer ergeben sich aus neun Messungen die Resultate für dc . Die Messungen mit grosser Auslenkung wurden stärker gewichtet. Wird der Messwagen auch noch exakt horizontal positioniert, kann der Offset α_0 bestimmt werden.

→ Anhang 6.2. Potentiometer

Tabelle 1: Resultate Potentiometer in Fahrtrichtung links

$\alpha_0 =$	-0.1279	mrاد
$c =$	0.8367	mrاد/V
$c + dc = c_{\text{neu}} =$	0.8460	mrاد/V
$\sigma_{\text{mittel}} =$	0.0012	mrاد/V

Tabelle 2: Resultate Potentiometer in Fahrtrichtung rechts

$\alpha_0 =$	-0.2647	mrاد
$c =$	-0.8357	mrاد/V
$c + dc = c_{\text{neu}} =$	-0.8106	mrاد/V
$\sigma_{\text{mittel}} =$	0.0025	mrاد/V

2.3. Kalibrierung Odometer

Bei den Odometern spielt der Offset keine Rolle, da nur Distanzen (= Positionsdifferenzen) und keine Absolutpositionen benötigt werden. Ein beliebiger Punkt zu Beginn der Teststrecke wurde deshalb willkürlich als Kilometrierung 110 bezeichnet und dieser Wert als Offset eingegeben. Von Kilometrierung 110 aus verläuft die Teststrecke in negativer Zählrichtung bis zu Kilometrierung 48 (Ende der Teststrecke).

Die Odometer-Messungen stammen aus der statischen Messung, welche alle 2 m vorgenommen wurde. Für die Bestimmung des Odometer-Gains müssen jedoch nur die Positionsbestimmungen am Anfang (Kilometrierung 48) und am Ende der Teststrecke (Kilometrierung 110) betrachtet werden. Die Differenz der beiden Positionen ergibt die Ist-Distanz. Zur Steigerung von Genauigkeit und Zuverlässigkeit werden die Messungen aus Hin- und Rückfahrt gemittelt.

Die Soll-Distanz errechnet sich aus den ebenfalls alle 2 m vorgenommenen Tachymeter-Messungen mit dem Leica TCRA 1101 auf die Schienenlehre. Die ermittelten Gleisachspunkte werden dabei in die Soll-Geometrie eingebunden und daraus die Achslänge zwischen Kilometrierung 48 und 110 bestimmt.

Tabelle 3: Resultate Odometer

Instrument	Schienenlehre (Soll)	Odometer (Ist)
Distanz [m]	61.9941	61.9065

Der Massstabsfaktor zwischen den Messungen mit der Schienenlehre und den Odometer-Ablesungen beträgt somit **1.00141504**.

Die Abweichung von 1.4 Promille zwischen Ist und Soll liegen im erwarteten Bereich und bedürfen deshalb keiner zusätzlichen Ursachenanalyse. Die in der Konfigurationsdatei sensor.cfg als default eingestellten Gains (CTR1_Gain und CTR2_Gain) werden nun um den oben ermittelten Faktor vergrößert.

→ Anhang 6.3.Odometer



Abbildung 3: Rad des Gleismesswagen mit Odometer

2.4. Prismenhöhe über Gleis

Auf dem Gleismesswagen werden zwei verschiedene Prismen angewendet: Das Leica Rundprisma und ein 360 Grad Prisma von Trimble. Bei beiden Prismen ist die Montagehöhe über der Gleisoberkante nicht exakt bekannt. Um diese Höhen zu ermitteln, wird für beide Prismen ein Tachymeter vor dem Wagen stationiert und das betreffende Prisma auf dem Wagen sowie ein Rundprisma auf der Schienenoberkante mit der Schienenlehre gemessen. Aus dem berechneten Höhenunterschied, mit Hilfe von Zenitwinkel und Distanz, kann auf die Prismenhöhe über Gleisoberkante geschlossen werden. Zur Kontrolle wird auch noch die Raumdistanz aus den vom Tachymeter errechneten Koordinaten ermittelt. Ist der Gleismesswagen horizontal positioniert, sollten sich die gleichen Resultate ergeben. In unserem Fall ergibt sich für beide Prismen eine Differenz von 0.4 mm, was auf die leichte Querneigung des Messwagens zurückzuführen ist. Bei den Messungen muss beachtet werden, dass die Prismen von Leica und Trimble unterschiedliche Additionskonstanten aufweisen.

Tabelle 4: Höhen der verwendeten Prismen

Rundprisma Leica	66.7 cm	über Gleis
Trimble 360° Prisma	79.0 cm	über Gleis
Höhendifferenz zwischen den Prismen:		12.26 cm



Abbildung 4: Trimble 360° Prisma mit Höhe 79.0 cm über Gleis

→ Anhang 6.4. Prismenhöhe

2.5. Richtungskorrektur bei Tachymeter ATS600

Bei der Verwendung der Kombination vom Trimble 360 Grad Prisma mit dem ATS600 Tachymeter im kinematischen Modus ist bei überhöhten Gleisen eine Korrektur an den gemessenen Richtungen anzubringen. Die automatische Anzielung (Autolock) beim Prisma erfolgt auf den vertikal nach unten versetzten Diodenkranz und nicht auf den Prismenkranz.

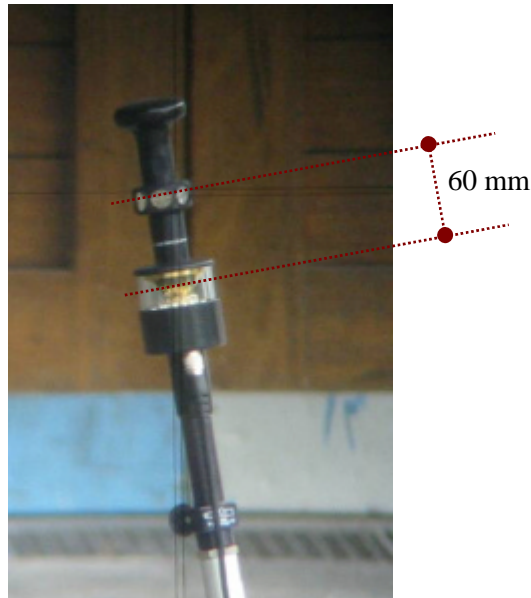


Abbildung 5: Trimble 360° Prisma mit Offset Prismen- Diodenkranz

Daher muss bei geneigtem Prisma auf überhöhten Geleisen folgende Korrektur beachtet werden:

$$Y_{soll} = Y_{ist} + b \cdot \sin v \cdot \cos(Az_{AM} - Az_T) \cdot \cos(Az_{AM})$$

$$X_{soll} = X_{ist} - b \cdot \sin v \cdot \cos(Az_{AM} - Az_T) \cdot \sin(Az_{AM})$$

b sei die Distanz vom Prismenkranz zum Diodenkranz (60 mm) und v die Querneigung des Gleises. Az_{AM} ist das Azimut des Messwagens vom Tachymeter aus und Az_T ist das Azimut der Gleisachse.

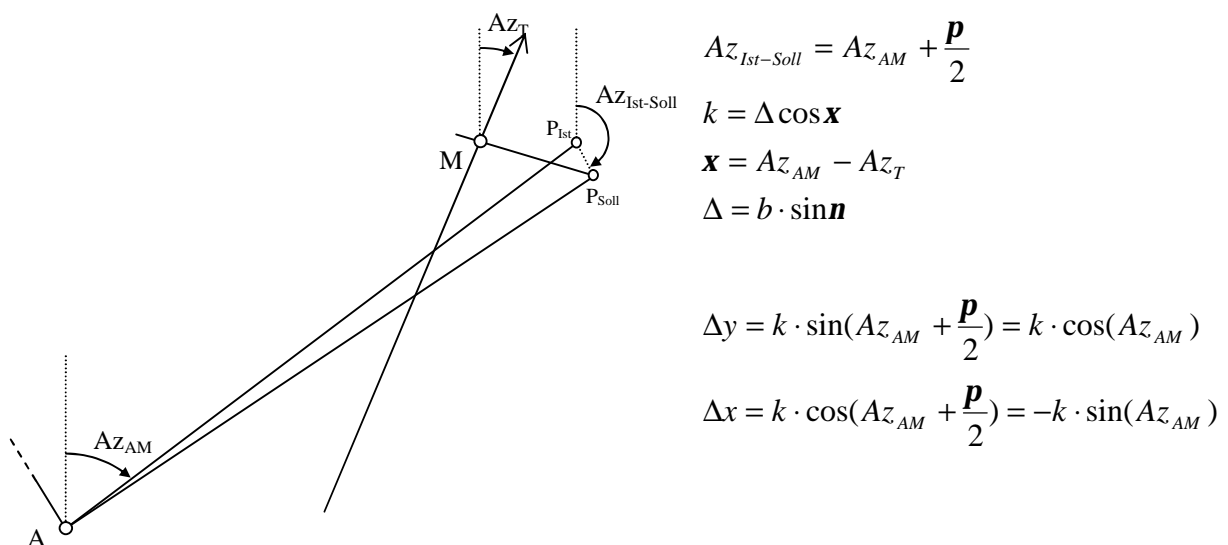


Abbildung 6: Herleitung der Richtungskorrektur für kinematischen Modus

3. Verifikation der Kalibrierung

3.1. Tachymeter – GriPos (statisch)

Zur statischen Messung wird der TCRA 1101 mit einer GEOCOM Funkverbindung verwendet. Am Anfang muss der Tachymeter grob auf das Prisma des Gleismesswagens ausgerichtet werden. Die Feinzentrierung erfolgt mit ATR. Nach dieser Initialisierung übermittelt das Programm GriPos bei jeder Messauslösung dem Tachymeter die neuen Grobkoordinaten. Diese werden mit Hilfe der Sollachse und der Distanzangabe der Odometer berechnet. Damit kann der Tachymeter sich automatisch grob ausrichten und mit dem ATR kann der neue Punkt gemessen werden.

Aus der ASCII Speicherdatei 030725_gpk..asc des GriPos-Programms werden die Lage- und die Höhenabweichungen von der Sollachse extrahiert.

```

...
Stationierung          m          107.9991

25.07.2003 10:25:47

Achselement          5(TCir)      3(TLinV)
Azimut                gon      227.1875
Achse Soll m          633636.5217 121265.6877
        697.4504
Ist m                  633636.4952 121265.6998
        697.4820
        Abweichung mm      29.0          31.6
Überhöhung Soll mm    0.0
        Ist mm      38.9
        Abweichung mm      38.9
Spurweite Soll mm     1000.0
        Ist mm      1006.3
        Abweichung mm      6.3
...

```

Abbildung 7: Auszug aus dem GriPos Log-File

Mit Hilfe der Stationierung werden die entsprechenden Werte der Hin- und Rückmessung einander zugeordnet und verglichen. Der Mittelwert der Differenzen in der Lage liegt bei 1.14 mm. Dies entspricht einem leichten Querneigungsfehler des Prismas von einem Millimeter nach rechts in Fahrtrichtung schauend. Die Standardabweichung beträgt einen halben Millimeter. Bei der Höhenabweichung befindet sich der Mittelwert bei -0.07 mm und die Standardabweichung bei 0.20 mm. Dies wird als sehr gut betrachtet.

Mit dem Tachymeter und der Schienenlehre werden auf einer Länge von 62 Metern alle zwei Meter ein Punkt aufgenommen. Die Schienenlehre wird am führenden Schienenstrang angeschlagen. Durch das Befestigen des Reflektors an dem unteren SBB Bolzen wird direkt auf der Gleisachse gemessen. Mit Hilfe des Ausgleichsprogramms *LTOP* wird der gemessene Satz ausgeglichen. Die dazu benötigten Näherungskordinaten werden mit dem Programm *Prefilter* berechnet. Nach erfolgter gezwängter Ausgleichung haben die einzelnen Punkte eine maximale grössere mittlere Fehlerellipse von 1.8 mm.

Als nächster Schritt durchlaufen die ausgeglichenen Koordinaten das Programm *Axischeck*. Dort werden die Sollabweichungen und genauen Stationierungen bestimmt.

Aus der Differenz zwischen Gleismesswagenmessung und Tachymetermessung wird der wahre Fehler berechnet.

Tabelle 5: Genauigkeitsbetrachtung Lage- und Höhendifferenzen

	RMS	Mittelwert	Standardabweichung
Lagedifferenzen	2.19 mm	-	-
Höhendifferenzen	5.09 mm	5.13 mm	0.40 mm

Bei der grafischen Betrachtung der Differenzen wird eine Drehung der Messungen um die Station vermutet. Im Log File 030725.log des Gleismesswagens wird bei der Orientierungsüberprüfung eine Abweichung von 74 cc ausgewiesen.

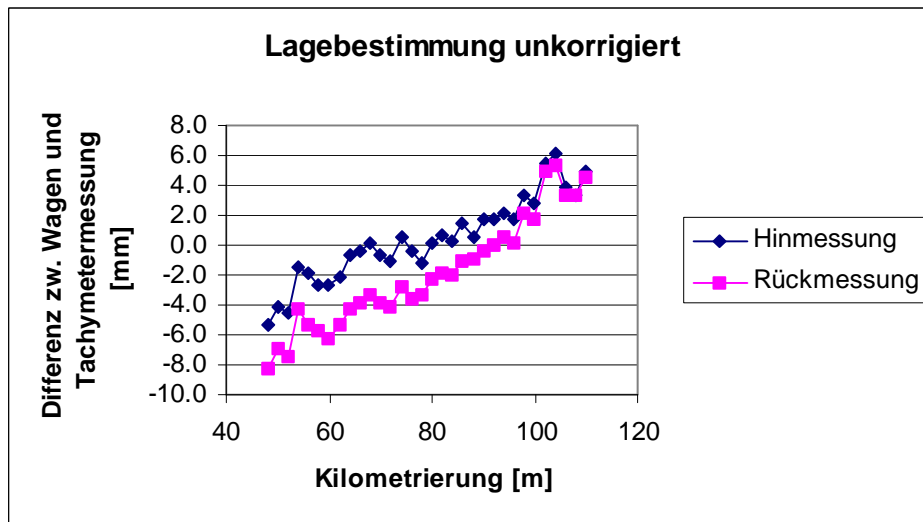


Diagramm 1: unkorrigierte Lagedifferenzen

Aus dieser Erkenntnis werden alle Messresultate um diesen Winkel korrigiert.

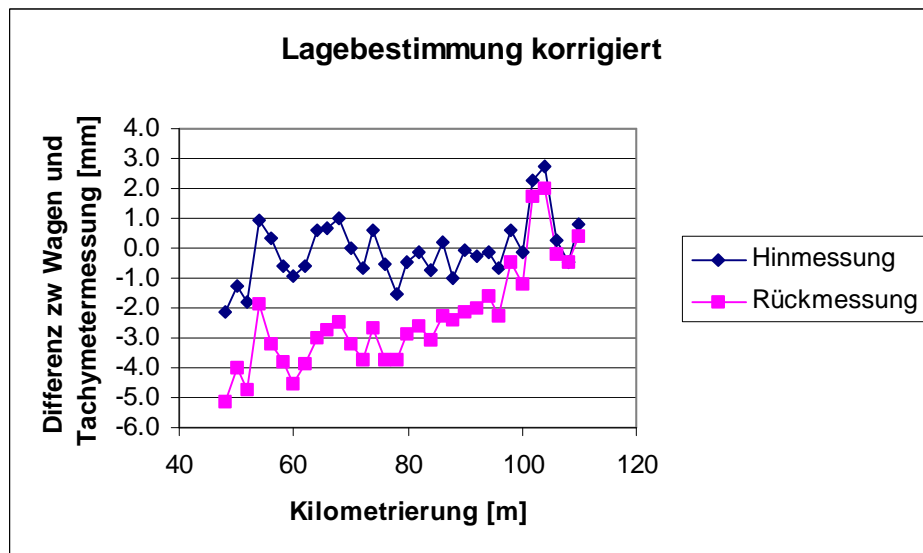


Diagramm 2: korrigierte Lagedifferenzen

Die Überhöhung und Spurweite wird im Gleismesswagen gleich mitgemessen und kann aus dem 030725_gpk.asc herausgelesen werden. Bei der Handmessung kommt der sogenannte Spurweiten- und Überhöhungsmesser zum Zuge. Was einer grossen Schieblehre mit integrierter verstellbarer Libelle entspricht.

Als erste Genauigkeitsbetrachtung werden die Werte der Hin- und Rückmessung des Wagens verglichen. Im Weiteren werden die analog erfassten Daten mit den Daten vom Messwagen verglichen.

Tabelle 6: Genauigkeitsbetrachtung Überhöhungs- und Spurweitenabweichung

	Mittelwert (Hin – Rück)	Standardabweichung (Hin – Rück)	RMS (Wagen – analog)
Überhöhungsabweichung	-0.03 mm	0.41 mm	0.59 mm
Spurweiteabweichung	-0.12 mm	0.52 mm	1.78 mm

→ Anhang 6.5. Tachymeter – GriPos (statisch)

3.2. *Kinematisch mit Tachymeter*

Bei der kinematischen Messung wird ein Trimble ATS 600 mit einem Aktivprisma verwendet. Wobei der Tachymeter mit 5 Hz Daten misst und aufzeichnet. Der Gleismesswagen speichert die Daten mit einer Frequenz von 2 Hz. In der Anfangsphase wird gleichmässig beschleunigt. Während der Fahrt mit dem Messwagen bleibt die Geschwindigkeit konstant.

Die so gewonnenen Daten werden im Postprocessing weiter verarbeitet. Das Kernstück des Postprocessing sind mehrere hintereinander geschaltete Kalmanfilter, die vorwärts als auch rückwärts die Daten filtern und das Mittel daraus bilden. Beim Vergleich der 4 Fahrten mit der analogen Messung mittels Tachymeter, Überhöhungs- und Spurweitenmesser sind die folgenden Diagramme entstanden:

→ Anhang 6.6. Tachymeter - kinematisch

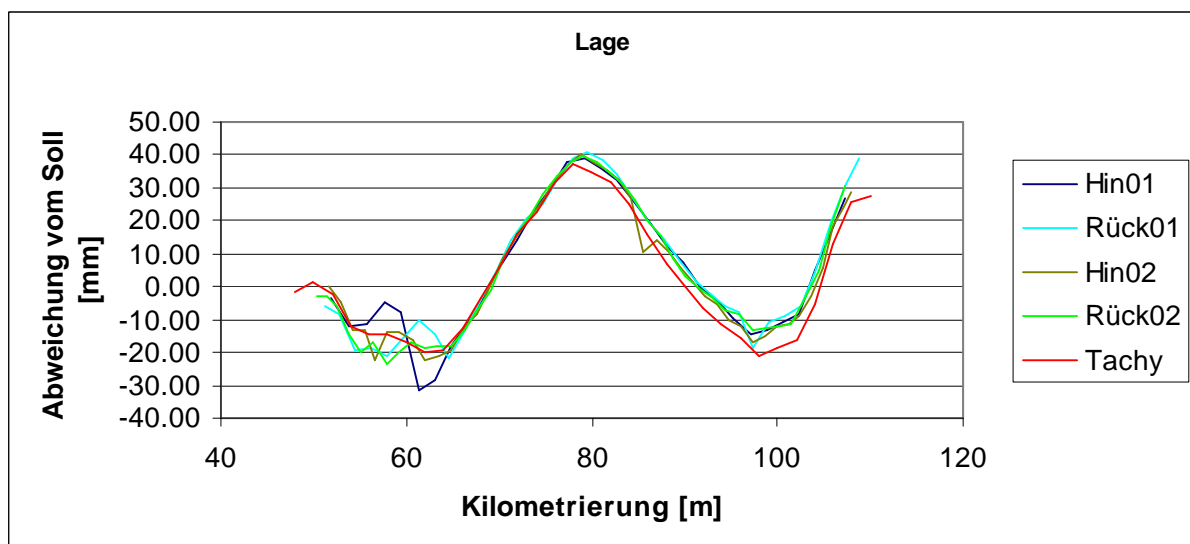


Diagramm 3: Lageabweichung

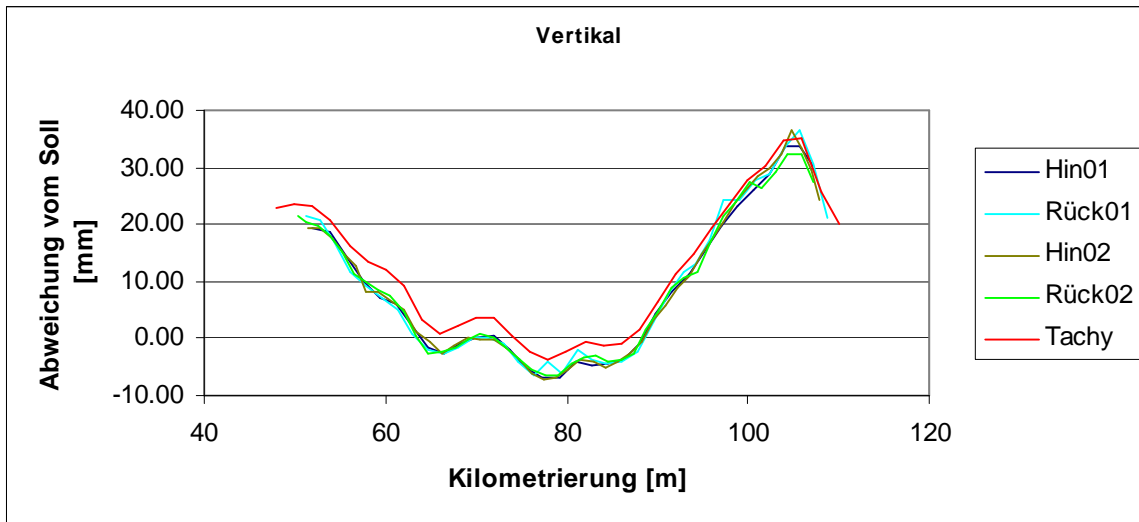


Diagramm 4: Vertikalabweichung

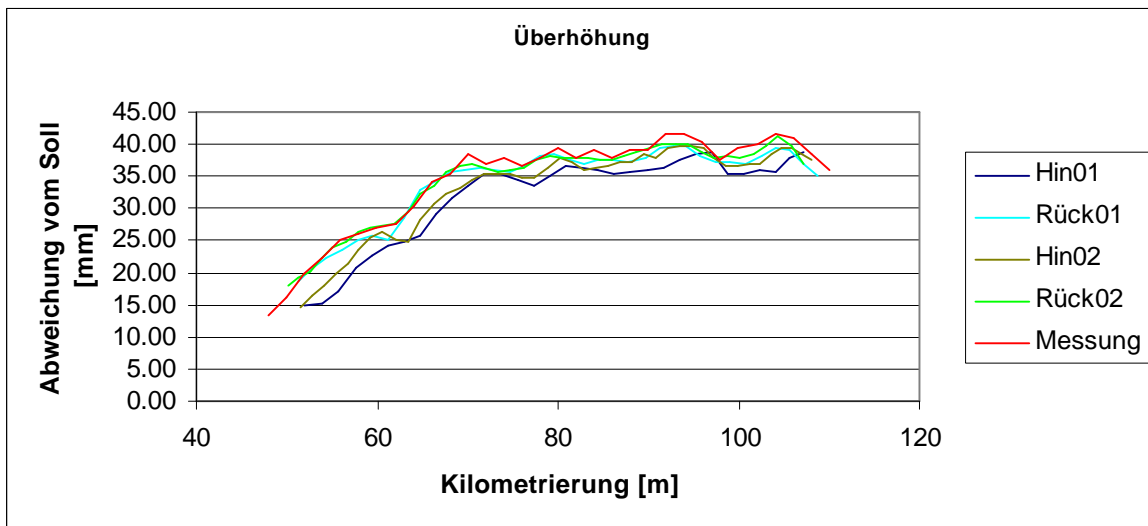


Diagramm 5: Überhöhungsabweichung

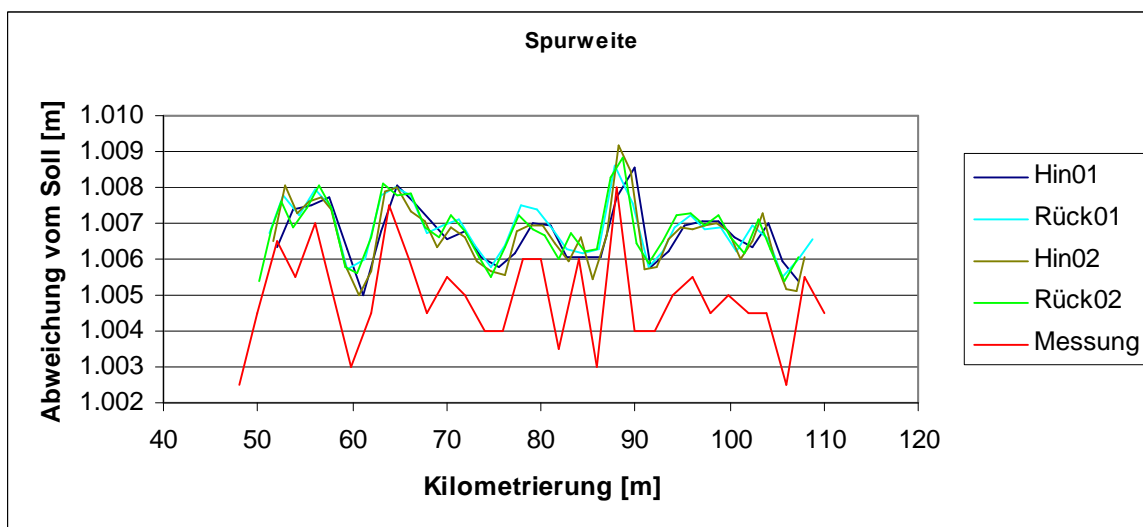


Diagramm 6: Spurweitenabweichung

3.3. *Interpretation der Messungen*

Im Allgemeinen stimmen die Messungen des Gleismesswagens gut mit den Referenzmessungen überein. Vereinzelt wird eine nicht ganz saubere Bestimmung des Offsets und Gains vermutet. Bei der Überhöhungs- und Spurweitenmessung könnte nämlich auch ein Offset beim Referenzmesssystem liegen.

4. Zusammenhang zwischen Längs- und Querneigung

Die Resultate aus den im GPK durchgeführten Messungen mit dem Gleismesswagen lassen die Vermutung aufkommen, dass bei verschiedenen Längsneigungen trotz gleicher Überhöhung verschiedene Querneigungen resultieren. Um die Grösse dieses Fehlers feststellen zu können, wurden am letzten Kurstag die gegenseitigen Einflüsse der beiden Parameter Längsneigung und Querneigung analysiert. Zusätzlich wurde der Fehler bei Messungen mit nicht vollständig aufgeheizter Elektronikbox erhoben.

4.1. *Nicht vollständig aufgeheizte Elektronikbox*

Während des Aufheizens der Elektronikbox werden in Schritten von 5°C Längs- und Querneigung abgelesen. Der Wagen bleibt dabei in horizontaler Stellung. Die erste Messung erfolgt bei 25°C, die achte und letzte Messung bei Betriebstemperatur (60°C). Die Resultate zeigen, dass bis zu einem Temperaturwert von 35°C sowohl Längsneigungs- als auch Querneigungsanzeige den wahren Wert massiv überschreiten, sich diesem aber in Schritten von mehreren mrad pro °C annähern. Zwischen 35°C und 60° zeigen Längs- und Querneigungsanzeige verschiedene Verläufe. Währenddem die Längsneigungsanzeige um den wahren Wert iteriert, nähert sich die Querneigungsanzeige stets von der gleichen Seite dem wahren Wert.

4.2. *Einfluss der Längs- auf die Querneigung*

Verschiedene Längs- und Querneigungen werden durch Unterlegen von Holzklötzen unter die Räder simuliert. Die Resultate zeigen einen linearen Zusammenhang zwischen Längsneigung und dazugehörigem Querneigungsfehler. Der Fehler erreicht jedoch erst bei Steigungen von mehr als 50 Promille, welche ohne Zahnstangenbetrieb nicht erreicht werden, resultatverfälschende Grössenordnungen.



Abbildung 8: Messanordnung zur Neigungsmessung

→ Anhang 6.7. Neigungskontrolle

5. Schlussbemerkungen

Im Verhältnis zur Dauer der eigentlichen Messphase bedurften die Vorbereitungen, insbesondere die Kalibrierung der diversen Sensorparameter, eines grossen zeitlichen Aufwandes. Noch vergrössert wurde dieser durch unerwartete Probleme wie durchgebrannte Stecker, Wackelkontakte an Schnittstellen und wegen eines Kurzschlusses, da infolge eines ruckartigen Aufsetzens des Wagens die Batteriekontakte die Metallfläche des Messwagens berührten.

Die aufgetauchten Probleme sind umso erstaunlicher, wenn man bedenkt, dass es sich bei dem von uns getesteten Gleismesswagen nicht um eine vollkommene Neuentwicklung handelt: Eine Normalspurversion des Wagens wurde bereits erfolgreich bei der Absteckung der festen Fahrbahn im Tunnel Zürich-Thalwil eingesetzt.

Einmal betriebsbereit, konnte der Gleismesswagen seine Vorzüge aufzeigen: Im Vergleich zur konventionellen Gleismessung mit Spurweiten- und Überhöhungsmesser können Schienenabschnitte mit dem Gleismesswagen viel schneller überprüft werden. Dank der vorausgehenden Kalibrierung bewegen sich auch die Genauigkeiten im für den Bahnbau notwendigen Bereich.

Schade ist der Umstand, dass wir keine Gelegenheit mehr hatten, den Gleismesswagen über eine GPS-Antenne zu positionieren, da diese Methodik, sofern sie den Genauigkeitsforderungen entspricht, nochmals einen erheblichen Zeitgewinn bringen würde.

Bedanken möchten wir uns bei der Matterhorn-Gotthard-Bahn für die gute Zusammenarbeit beim Test des Gleismesswagens auf deren Trasse. Ein besonderer Dank geht in diesem Zusammenhang an Egon Gsponer, welcher als Kontaktperson sämtliche den Bahnbetrieb betreffenden Koordinationsaufgaben übernahm und an den Sicherheitswärter Willi Imboden, der uns stets vor den herannahenden Zügen warnte.

6. Anhang

6.1. Querneigung

Referenzwert für dH 1.0370
 Korrekter Referenzwert 1.0370 (Abstand zwischen Radmitten)

Nr.	dH Niv [mm]	Trolley Mittel mittel/l*10	Soll-Ist [mm]	dC dC = C*dNue/Nue-nue0	p Nue^2	p*I dC*Nue^2	v	pvv
1	38.30	39.7171	-1.417	-2.7127	0.0015	-0.0040	-8.9348	0.1171
2	80.10	83.0637	-2.964	-7.0488	0.0064	-0.0452	-4.5987	0.1357
3	123.20	127.7584	-4.558	-14.4549	0.0152	-0.2194	2.8074	0.1196
					0.0231	-0.2686		0.3724

ny0 = 252.516147
 C_alt = -410.0684
 Cneu = -421.7159

dCm = -11.6475

sigma0 0.4315
 sigmaMittel 2.8416

6.2. Potentiometer

Spur Null = 1385.7
 Spur Min = 1386.4
 Spur Max = 1471.3

Ablesung

1 = in Fahrtrichtung links
 2 = in Fahrtrichtung rechts

Lehre	Lehre	1	delta	dRed
12.40	0.00	1387.0	1.3	0.0
20.44	8.04	1395.5	9.8	8.5
25.00	12.60	1399.5	13.8	12.5
30.00	17.60	1404.4	18.7	17.4
35.00	22.60	1409.1	23.4	22.1
40.00	27.60	1414.2	28.5	27.2
45.00	32.60	1419.1	33.4	32.1
50.00	37.60	1423.8	38.1	36.8
53.00	40.60	1426.8	41.1	39.8

Lehre	Lehre	2	delta	dRed
12.50	0.00	1385.1	-0.6	0.0
20.44	7.94	1393.5	7.8	8.4
25.00	12.50	1398.2	12.5	13.1
30.00	17.50	1403.3	17.6	18.2
35.00	22.50	1408.9	23.2	23.8
40.00	27.50	1414.3	28.6	29.2
45.00	32.50	1419.8	34.1	34.7
50.00	37.50	1425.1	39.4	40.0
53.00	40.50	1428.7	43.0	43.6

Nr. 1 Links	L Lehre [mm]	Trolley Mittel mittel/*10	Soll-Ist [mm]	dC dC = C*dNue/(Nue-alpha0*1)	p Nue^2	p*1 dC*Nue^2	v	pvv
1	0.00	0.0	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0093	0.0000
2	8.04	8.5	-0.5	-0.0141	0.0001	0.0000	0.0234	0.0000
3	12.60	12.5	0.1	0.0026	0.0002	0.0000	0.0067	0.0000
4	17.60	17.4	0.2	0.0045	0.0003	0.0000	0.0048	0.0000
5	22.60	22.1	0.5	0.0100	0.0005	0.0000	-0.0007	0.0000
6	27.60	27.2	0.4	0.0072	0.0008	0.0000	0.0022	0.0000
7	32.60	32.1	0.5	0.0081	0.0011	0.0000	0.0012	0.0000
8	37.60	36.8	0.8	0.0118	0.0014	0.0000	-0.0025	0.0000
9	40.60	39.8	0.8	0.0112	0.0016	0.0000	-0.0019	0.0000
					0.0059	0.0001		0.0000

l = 150 dCm = 0.0093 sigma0 = 0.0001
 alpha0 = -0.1279 sigmaMittel = 0.0012
 C_alt = 0.8367
 Cneu = 0.8460

Nr. 2 Rechts	L Lehre [mm]	Trolley Mittel mittel/*10	Soll-Ist [mm]	dC dC = C*dNue/(Nue-alpha0*1)	p Nue^2	p*1 dC*Nue^2	v	pvv
1	0.00	0.0	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0251	0.0000
2	7.94	8.4	-0.5	0.0081	0.0001	0.0000	0.0170	0.0000
3	12.50	13.1	-0.6	0.0096	0.0002	0.0000	0.0155	0.0000
4	17.50	18.2	-0.7	0.0102	0.0003	0.0000	0.0149	0.0000
5	22.50	23.8	-1.3	0.0175	0.0005	0.0000	0.0076	0.0000
6	27.50	29.2	-1.7	0.0211	0.0008	0.0000	0.0040	0.0000
7	32.50	34.7	-2.2	0.0255	0.0011	0.0000	-0.0004	0.0000
8	37.50	40.0	-2.5	0.0271	0.0014	0.0000	-0.0020	0.0000
9	40.50	43.6	-3.1	0.0323	0.0016	0.0001	-0.0072	0.0000
					0.0059	0.0001		0.0000

l = 150 dCm = 0.0251 sigma0 = 0.0002
 alpha0 = -0.2647 sigmaMittel = 0.0025
 C_alt = -0.8357
 Cneu = -0.8106

6.3. Odometer

Bestimmung aus Testmessungen Ackersand

	Soll		hin	rueck		Mittelwert aus hin und rüch
Position 1	47.9981		48.0000	48.0870		
Position 2	109.9922		109.9000	110.0000		
Distanz	61.9941		61.9000	61.9130		61.9065

Massstab zwischen Mittelwert und Soll **1.00141504**

	Raddimensionen alt:		Raddimensionen neu:
CTR1_Gain	3.82920875 e-005		3.83462722 e-005
CTR2_Gain	3.82920875 e-005		3.83462722 e-005

CTR1_Gain und CTR2_Gain ersetzen in sensor.cfg

6.4. **Prismenhöhe**

	Y	X	H	Raumdistanz [m]	Zur Kontrolle: ΔH [m]	
Prisma auf Gleisoberkante	33641.853	21264.612	695.082			
Rundprisma Leica auf Wagen	33641.834	21264.606	695.749	0.6673	0.667	
360°Prisma Trimble auf Wagen	33641.829	21264.64	695.871	0.7899	0.789	0.123

Rundprisma Leica	66.7cm	über Gleis
Trimble 360° Prisma	79.0 cm	über Gleis

Höhendifferenz zwischen Prismen: 12.26 cm

6.5. Tachymeter – GriPos (statisch)

WagenHinmessung				WagenRückmessung				Differenz		(Hin-Rück)/2	
Position [m]	Abweichung vom Soll			Position [m]	Abweichung vom Soll			Lage	Höhe	Lage	Höhe
	Lage [mm]	korr. Lage [mm]	Höhe [mm]		Lage [mm]	korr. Lage [mm]	Höhe [mm]				
109.9889	32.3	28.2	25.7	109.9898	31.9	27.8	25.9	0.4	-0.2	0.20	-0.10
107.9991	29.0	25.2	31.6	107.9968	29.0	25.2	32.1	0.0	-0.5	0.00	-0.25
105.9992	16.9	13.3	39.8	106.0049	16.4	12.8	40.7	0.5	-0.9	0.25	-0.45
104.0023	0.6	-2.8	39.3	103.9927	-0.1	-3.5	39.4	0.7	-0.1	0.35	-0.05
101.9988	-10.7	-13.8	35.7	101.9911	-11.2	-14.3	36.9	0.5	-1.2	0.25	-0.60
99.9987	-15.9	-18.8	32.2	99.9988	-17.0	-19.9	33.1	1.1	-0.9	0.55	-0.45
97.9992	-17.6	-20.3	28.5	97.9921	-18.7	-21.4	28.4	1.1	0.1	0.55	0.05
95.9992	-13.7	-16.1	24.4	95.9987	-15.3	-17.7	24.5	1.6	-0.1	0.80	-0.05
94.0025	-9.3	-11.5	20.0	94.0043	-10.8	-13.0	19.6	1.5	0.4	0.75	0.20
91.9996	-4.9	-6.9	16.1	91.9943	-6.6	-8.6	16.1	1.7	0.0	0.85	0.00
89.9980	1.8	0.1	11.6	89.9890	-0.3	-2.0	11.5	2.1	0.1	1.05	0.05
88.0040	7.3	5.8	6.7	87.9929	5.9	4.4	6.7	1.4	0.0	0.70	0.00
85.9988	17.6	16.3	4.1	85.9936	15.1	13.8	3.8	2.5	0.3	1.25	0.15
83.9995	25.1	24.1	3.6	83.9909	22.8	21.8	3.6	2.3	0.0	1.15	0.00
81.9989	32.7	31.9	4.3	81.9954	30.2	29.4	4.4	2.5	-0.1	1.25	-0.05
80.0007	35.1	34.5	2.9	79.9986	32.7	32.1	2.8	2.4	0.1	1.20	0.05
78.0003	35.8	35.5	1.3	77.9949	33.6	33.3	1.3	2.2	0.0	1.10	0.00
76.0001	31.3	31.2	2.4	75.9846	28.1	28.0	2.6	3.2	-0.2	1.60	-0.10
74.0028	23.0	23.1	5.7	74.0040	19.7	19.8	5.5	3.3	0.2	1.65	0.10
72.0003	14.8	15.1	8.4	71.9963	11.7	12.0	8.5	3.1	-0.1	1.55	-0.05
69.9980	4.8	5.4	8.4	69.9850	1.6	2.2	8.5	3.2	-0.1	1.60	-0.05
67.9998	-3.6	-2.8	7.2	67.9910	-7.1	-6.3	7.2	3.5	0.0	1.75	0.00
65.9989	-12.9	-11.9	5.7	65.9922	-16.3	-15.3	6.0	3.4	-0.3	1.70	-0.15
63.9999	-19.9	-18.6	8.2	63.9876	-23.5	-22.2	8.2	3.6	0.0	1.80	0.00
61.9989	-22.1	-20.6	13.9	61.9955	-25.4	-23.9	14.2	3.3	-0.3	1.65	-0.15
60.0007	-19.6	-17.9	16.8	59.9983	-23.2	-21.5	16.9	3.6	-0.1	1.80	-0.05
57.9995	-17.0	-15.0	18.3	57.9913	-20.2	-18.2	19.0	3.2	-0.7	1.60	-0.35
55.9987	-16.2	-14.0	21.0	55.9874	-19.7	-17.5	21.7	3.5	-0.7	1.75	-0.35
53.9992	-13.5	-11.1	26.6	53.9903	-16.3	-13.9	26.0	2.8	0.6	1.40	0.30
51.9988	-6.5	-3.8	28.7	51.9982	-9.4	-6.7	28.5	2.9	0.2	1.45	0.10
49.9999	-2.8	0.1	29.2	49.9858	-5.5	-2.6	28.9	2.7	0.3	1.35	0.15
47.9988	-7.0	-3.9	28.0	47.9997	-10.0	-6.9	28.5	3.0	-0.5	1.50	-0.25

Orientierungsabweichung 74 cc
 Position der Station 75 m

Mittelwert [mm]	1.14	-0.07
Std.abw. [mm]	0.55	0.20

Überhöhung						
WagenHin [mm]	WagenRück [mm]	Diff. [mm]		analoge Messung [mm]	WagenHin-analog [mm]	WagenRück-analog [mm]
37.1	35.6	1.50		36.0	1.1	-0.4
38.9	38.2	0.70		38.5	0.4	-0.3
40.9	41.0	-0.10		41.0	-0.1	0.0
42.4	41.9	0.50		41.5	0.9	0.4
40.8	40.1	0.70		40.0	0.8	0.1
40.0	39.8	0.20		39.5	0.5	0.3
38.0	38.0	0.00		37.5	0.5	0.5
40.9	40.9	0.00		40.5	0.4	0.4
41.3	41.3	0.00		41.5	-0.2	-0.2
41.4	41.7	-0.30		41.5	-0.1	0.2
39.8	39.8	0.00		39.0	0.8	0.8
39.4	39.3	0.10		39.0	0.4	0.3
38.9	39.1	-0.20		38.0	0.9	1.1
39.0	39.3	-0.30		39.0	0.0	0.3
38.5	38.6	-0.10		38.0	0.5	0.6
39.3	39.3	0.00		39.5	-0.2	-0.2
38.2	38.4	-0.20		38.0	0.2	0.4
37.0	37.5	-0.50		36.5	0.5	1.0
37.8	37.9	-0.10		38.0	-0.2	-0.1
37.7	37.9	-0.20		37.0	0.7	0.9
38.1	38.3	-0.20		38.5	-0.4	-0.2
36.4	36.6	-0.20		35.5	0.9	1.1
34.3	34.3	0.00		34.0	0.3	0.3
31.6	31.6	0.00		30.5	1.1	1.1
27.8	28.2	-0.40		27.5	0.3	0.7
27.7	28.1	-0.40		27.0	0.7	1.1
26.9	26.9	0.00		26.0	0.9	0.9
25.5	25.7	-0.20		25.0	0.5	0.7
22.6	22.8	-0.20		22.5	0.1	0.3
19.5	19.8	-0.30		20.0	-0.5	-0.2
16.3	16.6	-0.30		16.0	0.3	0.6
13.0	13.6	-0.60		13.5	-0.5	0.1

Mittelwert	-0.03
Std.abw.	0.41

wahrer Fehler	0.59
---------------	------

Spurweite						
WagenHin [mm]	WagenRück [mm]	Diff. [mm]	analoge Messung [mm]		WagenHin-analog [mm]	WagenRück-analog [mm]
5.30	5.80	-0.50	4.5	1.00	0.8	1.3
6.30	7.10	-0.80	5.5	1.01	0.8	1.6
4.20	5.50	-1.30	2.5	1.00	1.7	3.0
6.30	7.20	-0.90	4.5	1.00	1.8	2.7
6.10	6.20	-0.10	4.5	1.00	1.6	1.7
6.40	7.30	-0.90	5.0	1.01	1.4	2.3
6.10	5.70	0.40	4.5	1.00	1.6	1.2
6.90	7.70	-0.80	5.5	1.01	1.4	2.2
6.90	7.40	-0.50	5.0	1.01	1.9	2.4
5.80	6.00	-0.20	4.0	1.00	1.8	2.0
6.00	6.60	-0.60	4.0	1.00	2.0	2.6
10.30	9.80	0.50	8.0	1.01	2.3	1.8
5.60	5.40	0.20	3.0	1.00	2.6	2.4
7.20	7.20	0.00	6.0	1.01	1.2	1.2
4.90	5.10	-0.20	3.5	1.00	1.4	1.6
7.50	7.20	0.30	6.0	1.01	1.5	1.2
7.70	7.90	-0.20	6.0	1.01	1.7	1.9
5.60	5.50	0.10	4.0	1.00	1.6	1.5
5.80	5.90	-0.10	4.0	1.00	1.8	1.9
6.30	7.10	-0.80	5.0	1.01	1.3	2.1
7.20	7.40	-0.20	5.5	1.01	1.7	1.9
6.40	6.40	0.00	4.5	1.00	1.9	1.9
7.40	7.50	-0.10	6.0	1.01	1.4	1.5
9.20	8.80	0.40	7.5	1.01	1.7	1.3
6.80	6.40	0.40	4.5	1.00	2.3	1.9
4.60	4.70	-0.10	3.0	1.00	1.6	1.7
6.90	7.40	-0.50	5.0	1.01	1.9	2.4
8.50	8.30	0.20	7.0	1.01	1.5	1.3
7.10	6.70	0.40	5.5	1.01	1.6	1.2
8.40	7.60	0.80	6.5	1.01	1.9	1.1
5.90	5.40	0.50	4.5	1.00	1.4	0.9
4.50	3.80	0.70	2.5	1.00	2.0	1.3

Mittelwert	-0.12
Std.abw.	0.52

wahrer Fehler	1.78
---------------	------

Tachymeter		Lage			
Position [m]	Lage [mm]	WagenHin-Tachy [mm]		WagenRück-Tachy [mm]	
109.9922	27.4	0.8	4.9	0.4	4.5
108.0119	25.6	-0.4	3.4	-0.4	3.4
105.9946	13.0	0.3	3.9	-0.2	3.4
104.0030	-5.5	2.7	6.1	2.0	5.4
102.0049	-16.1	2.3	5.4	1.8	4.9
99.9979	-18.7	-0.1	2.8	-1.2	1.7
98.0079	-20.9	0.6	3.3	-0.5	2.2
95.9920	-15.5	-0.6	1.8	-2.2	0.2
94.0068	-11.4	-0.1	2.1	-1.6	0.6
91.9957	-6.6	-0.3	1.7	-2.0	0.0
89.9982	0.1	0.0	1.7	-2.1	-0.4
88.0042	6.8	-1.0	0.5	-2.4	-0.9
86.0001	16.1	0.2	1.5	-2.3	-1.0
83.9957	24.8	-0.7	0.3	-3.0	-2.0
81.9988	32.0	-0.1	0.7	-2.6	-1.8
79.9978	35.0	-0.5	0.1	-2.9	-2.3
78.0049	37.0	-1.5	-1.2	-3.7	-3.4
75.9987	31.7	-0.5	-0.4	-3.7	-3.6
74.0085	22.5	0.6	0.5	-2.7	-2.8
71.9937	15.8	-0.7	-1.0	-3.8	-4.1
69.9940	5.4	0.0	-0.6	-3.2	-3.8
67.9964	-3.8	1.0	0.2	-2.5	-3.3
65.9883	-12.5	0.6	-0.4	-2.8	-3.8
63.9978	-19.2	0.6	-0.7	-3.0	-4.3
62.0087	-20.0	-0.6	-2.1	-3.9	-5.4
59.9907	-16.9	-1.0	-2.7	-4.6	-6.3
57.9916	-14.4	-0.6	-2.6	-3.8	-5.8
56.0000	-14.3	0.3	-1.9	-3.2	-5.4
54.0020	-12.0	0.9	-1.5	-1.9	-4.3
51.9994	-2.0	-1.8	-4.5	-4.7	-7.4
49.9995	1.4	-1.3	-4.2	-4.0	-6.9
47.9981	-1.7	-2.2	-5.3	-5.2	-8.3

wahrer Fehler **2.19**

Tachymeter	Höhe	
Höhe [mm]	WagenHin-Tachy [mm]	WagenRück-Tachy [mm]
20.1	5.6	5.8
25.6	6.0	6.5
35.0	4.8	5.7
34.6	4.7	4.8
30.3	5.4	6.6
27.6	4.6	5.5
23.7	4.8	4.7
19.5	4.9	5.0
14.7	5.3	4.9
11.3	4.8	4.8
6.6	5.0	4.9
1.4	5.3	5.3
-0.9	5.0	4.7
-1.3	4.9	4.9
-0.6	4.9	5.0
-2.2	5.1	5.0
-3.6	4.9	4.9
-2.4	4.8	5.0
0.5	5.2	5.0
3.5	4.9	5.0
3.5	4.9	5.0
2.2	5.0	5.0
0.8	4.9	5.2
3.2	5.0	5.0
9.1	4.8	5.1
12.1	4.7	4.8
13.4	4.9	5.6
16.1	4.9	5.6
20.9	5.7	5.1
23.1	5.6	5.4
23.7	5.5	5.2
23.0	5.0	5.5

wahrer Fehler **5.09**
Mittelwert **5.13**
Std.abw. **0.40**

6.6. Tachymeter – kinematisch

Lage:

hin01		rück01		hin02		rück02	
Pos.	Abw.	Pos.	Abw.	Pos.	Abw.	Pos.	Abw.
51.97	-3.38	51.17	-6.22	51.57	0.13	50.26	-2.92
53.83	-12.14	52.70	-8.66	52.84	-4.44	51.33	-3.14
55.71	-11.63	54.40	-19.61	54.14	-13.43	52.53	-5.69
57.62	-4.90	56.16	-18.93	55.46	-13.25	53.78	-14.53
59.48	-7.98	57.85	-21.01	56.69	-22.17	55.13	-19.92
61.26	-31.36	59.55	-15.54	57.82	-13.64	56.49	-16.82
63.01	-28.29	61.28	-10.30	59.24	-13.81	57.83	-23.63
64.74	-18.24	62.97	-14.60	60.64	-16.28	59.20	-19.95
66.48	-11.40	64.65	-21.67	62.03	-22.44	60.53	-16.97
68.27	-3.69	66.34	-13.22	63.42	-21.40	61.93	-18.78
70.08	5.56	68.04	-4.24	64.82	-19.08	63.33	-18.18
71.89	14.19	69.69	5.12	66.24	-12.23	64.78	-18.08
73.69	22.47	71.31	14.05	67.65	-8.19	66.24	-13.51
75.48	29.74	72.95	20.67	69.07	0.97	67.67	-7.21
77.31	37.65	74.63	25.13	70.48	8.58	69.11	-1.11
79.14	38.90	76.28	32.46	71.90	15.40	70.49	8.14
80.95	36.24	77.97	39.17	73.32	21.66	71.90	15.78
82.75	32.40	79.53	40.95	74.72	26.43	73.36	22.26
84.52	26.39	81.26	38.48	76.09	32.50	74.79	28.02
86.28	18.79	82.80	34.08	77.45	37.17	76.22	33.66
88.06	12.20	84.40	26.72	78.81	40.49	77.67	38.14
89.87	7.17	86.05	19.36	80.17	37.60	79.08	39.40
91.68	-0.43	87.78	14.12	81.54	35.40	80.49	38.09
93.48	-4.08	89.65	7.26	82.91	32.55	81.88	34.87
95.27	-9.31	91.34	1.26	84.26	27.02	83.25	31.25
97.05	-14.50	92.88	-2.15	85.60	10.62	84.62	26.38
98.84	-13.07	94.24	-5.70	86.94	14.05	86.01	20.31
100.60	-10.91	95.79	-8.02	88.26	10.18	87.35	15.05
102.36	-8.28	97.38	-18.56	89.58	5.81	88.70	8.62
104.08	4.92	99.05	-10.67	90.92	1.41	90.09	3.39
105.71	16.27	100.78	-8.89	92.22	-2.78	91.51	-0.19
107.29	26.76	102.45	-5.69	93.51	-5.21	92.96	-3.39
		104.09	4.42	94.80	-10.03	94.43	-6.92
		105.68	19.73	96.07	-11.88	95.85	-8.22
		107.25	30.67	97.35	-16.84	97.30	-13.40
		108.82	39.02	98.62	-15.03	98.73	-12.60
				99.89	-12.13	100.15	-12.25
				101.13	-11.63	101.56	-11.28
				102.37	-8.96	102.98	-3.78
				103.59	-3.11	104.40	4.75
				104.80	5.68	105.83	18.56
				105.97	18.65	107.27	30.79
				107.04	24.02		
				107.97	28.80		

Überhöhung:

hin01		rück01		hin02		rück02	
Pos.	Abw.	Pos.	Abw.	Pos.	Abw.	Pos.	Abw.
51.97	15.01	51.17	18.71	51.57	14.72	50.26	18.02
53.83	15.07	52.70	20.33	52.84	16.45	51.33	19.24
55.71	17.06	54.40	22.38	54.14	17.92	52.53	20.18
57.62	20.71	56.16	23.74	55.46	19.71	53.78	22.12
59.48	22.52	57.85	24.99	56.69	21.54	55.13	23.77
61.26	24.16	59.55	25.88	57.82	23.70	56.49	24.94
63.01	24.90	61.28	25.05	59.24	25.42	57.83	26.42
64.74	25.66	62.97	28.45	60.64	26.51	59.20	27.02
66.48	29.19	64.65	32.84	62.03	25.17	60.53	27.26
68.27	31.71	66.34	34.24	63.42	24.95	61.93	27.68
70.08	33.63	68.04	35.65	64.82	28.20	63.33	29.54
71.89	35.47	69.69	36.11	66.24	30.61	64.78	32.13
73.69	35.40	71.31	36.39	67.65	32.29	66.24	33.40
75.48	34.30	72.95	36.07	69.07	33.23	67.67	35.67
77.31	33.49	74.63	35.67	70.48	34.43	69.11	36.47
79.14	35.10	76.28	36.47	71.90	35.49	70.49	36.79
80.95	36.57	77.97	38.07	73.32	35.32	71.90	36.32
82.75	36.36	79.53	38.61	74.72	35.44	73.36	35.72
84.52	36.00	81.26	37.62	76.09	34.77	74.79	35.93
86.28	35.51	82.80	37.02	77.45	34.84	76.22	36.40
88.06	35.69	84.40	37.64	78.81	36.35	77.67	37.49
89.87	35.88	86.05	37.65	80.17	37.81	79.08	38.19
91.68	36.43	87.78	37.39	81.54	37.20	80.49	37.85
93.48	37.48	89.65	38.01	82.91	35.99	81.88	37.88
95.27	38.57	91.34	39.41	84.26	36.28	83.25	37.72
97.05	38.77	92.88	39.82	85.60	36.62	84.62	37.55
98.84	35.37	94.24	39.68	86.94	37.36	86.01	37.70
100.60	35.31	95.79	38.10	88.26	37.10	87.35	38.23
102.36	35.90	97.38	37.16	89.58	38.55	88.70	38.91
104.08	35.83	99.05	37.09	90.92	37.77	90.09	39.29
105.71	37.77	100.78	36.80	92.22	39.30	91.51	39.93
107.29	38.87	102.45	38.20	93.51	39.70	92.96	39.99
		104.09	39.51	94.80	39.60	94.43	39.95
		105.68	39.10	96.07	39.29	95.85	38.66
		107.25	36.96	97.35	37.95	97.30	37.92
		108.82	35.01	98.62	36.51	98.73	38.13
				99.89	36.60	100.15	37.85
				101.13	36.86	101.56	38.35
				102.37	37.03	102.98	39.77
				103.59	38.42	104.40	41.34
				104.80	39.49	105.83	39.73
				105.97	39.30	107.27	36.94
				107.04	38.61		
				107.97	37.62		

Vertikal:

Spurweite:

hin01		rück01		hin02		rück02		hin01		rück01		hin02		rück02	
Pos.	Abw.	Pos.	Abw.	Pos.	Abw.	Pos.	Abw.	Pos.	Abw.	Pos.	Abw.	Pos.	Abw.	Pos.	Abw.
51.97	19.42	51.17	21.53	51.57	19.51	50.26	21.32	51.97	1.01	51.17	1.01	51.57	1.01	50.26	1.01
53.83	18.60	52.70	20.64	52.84	19.44	51.33	20.28	53.83	1.01	52.70	1.01	52.84	1.01	51.33	1.01
55.71	14.30	54.40	17.03	54.14	17.75	52.53	19.76	55.71	1.01	54.40	1.01	54.14	1.01	52.53	1.01
57.62	9.89	56.16	11.63	55.46	14.79	53.78	18.04	57.62	1.01	56.16	1.01	55.46	1.01	53.78	1.01
59.48	7.25	57.85	9.08	56.69	12.65	55.13	15.09	59.48	1.01	57.85	1.01	56.69	1.01	55.13	1.01
61.26	6.14	59.55	7.27	57.82	8.34	56.49	11.28	61.26	1.00	59.55	1.01	57.82	1.01	56.49	1.01
63.01	2.35	61.28	4.88	59.24	8.03	57.83	9.90	63.01	1.01	61.28	1.01	59.24	1.01	57.83	1.01
64.74	-1.74	62.97	0.98	60.64	6.51	59.20	8.66	64.74	1.01	62.97	1.01	60.64	1.01	59.20	1.01
66.48	-2.65	64.65	-2.11	62.03	4.97	60.53	7.51	66.48	1.01	64.65	1.01	62.03	1.01	60.53	1.01
68.27	-0.87	66.34	-2.71	63.42	1.11	61.93	4.83	68.27	1.01	66.34	1.01	63.42	1.01	61.93	1.01
70.08	0.27	68.04	-1.75	64.82	-0.50	63.33	0.59	70.08	1.01	68.04	1.01	64.82	1.01	63.33	1.01
71.89	0.33	69.69	0.03	66.24	-2.55	64.78	-2.55	71.89	1.01	69.69	1.01	66.24	1.01	64.78	1.01
73.69	-1.95	71.31	0.21	67.65	-1.37	66.24	-2.39	73.69	1.01	71.31	1.01	67.65	1.01	66.24	1.01
75.48	-5.26	72.95	-1.05	69.07	0.04	67.67	-1.67	75.48	1.01	72.95	1.01	69.07	1.01	67.67	1.01
77.31	-6.87	74.63	-4.22	70.48	-0.12	69.11	-0.14	77.31	1.01	74.63	1.01	70.48	1.01	69.11	1.01
79.14	-6.79	76.28	-6.36	71.90	-0.18	70.49	0.69	79.14	1.01	76.28	1.01	71.90	1.01	70.49	1.01
80.95	-4.14	77.97	-4.00	73.32	-1.44	71.90	0.13	80.95	1.01	77.97	1.01	73.32	1.01	71.90	1.01
82.75	-4.73	79.53	-6.05	74.72	-3.80	73.36	-1.76	82.75	1.01	79.53	1.01	74.72	1.01	73.36	1.01
84.52	-4.57	81.26	-1.93	76.09	-6.18	74.79	-3.83	84.52	1.01	81.26	1.01	76.09	1.01	74.79	1.01
86.28	-3.85	82.80	-3.82	77.45	-7.31	76.22	-5.62	86.28	1.01	82.80	1.01	77.45	1.01	76.22	1.01
88.06	-1.06	84.40	-4.36	78.81	-6.89	77.67	-6.43	88.06	1.01	84.40	1.01	78.81	1.01	77.67	1.01
89.87	4.22	86.05	-3.96	80.17	-5.43	79.08	-6.39	89.87	1.01	86.05	1.01	80.17	1.01	79.08	1.01
91.68	8.08	87.78	-2.38	81.54	-3.84	80.49	-4.36	91.68	1.01	87.78	1.01	81.54	1.01	80.49	1.01
93.48	11.48	89.65	3.02	82.91	-4.16	81.88	-3.31	93.48	1.01	89.65	1.01	82.91	1.01	81.88	1.01
95.27	15.61	91.34	8.32	84.26	-5.22	83.25	-3.16	95.27	1.01	91.34	1.01	84.26	1.01	83.25	1.01
97.05	19.63	92.88	11.70	85.60	-4.16	84.62	-4.14	97.05	1.01	92.88	1.01	85.60	1.01	84.62	1.01
98.84	23.37	94.24	13.21	86.94	-2.73	86.01	-3.69	98.84	1.01	94.24	1.01	86.94	1.01	86.01	1.01
100.60	26.14	95.79	17.42	88.26	-0.52	87.35	-2.82	100.60	1.01	95.79	1.01	88.26	1.01	87.35	1.01
102.36	28.93	97.38	24.21	89.58	3.37	88.70	1.48	102.36	1.01	97.38	1.01	89.58	1.01	88.70	1.01
104.08	33.75	99.05	24.39	90.92	5.83	90.09	4.73	104.08	1.01	99.05	1.01	90.92	1.01	90.09	1.01
105.71	33.67	100.78	27.64	92.22	8.80	91.51	8.74	105.71	1.01	100.78	1.01	92.22	1.01	91.51	1.01
107.29	30.14	102.45	28.76	93.51	11.11	92.96	10.59	107.29	1.01	102.45	1.01	93.51	1.01	92.96	1.01
		104.09	33.77	94.80	14.96	94.43	11.53			104.09	1.01	94.80	1.01	94.43	1.01
		105.68	36.51	96.07	17.15	95.85	16.58			105.68	1.01	96.07	1.01	95.85	1.01
		107.25	30.64	97.35	20.38	97.30	21.33			107.25	1.01	97.35	1.01	97.30	1.01
		108.82	21.00	98.62	23.97	98.73	23.95			108.82	1.01	98.62	1.01	98.73	1.01
				99.89	26.27	100.15	27.42					99.89	1.01	100.15	1.01
				101.13	28.52	101.56	26.50					101.13	1.01	101.56	1.01
				102.37	30.03	102.98	29.28					102.37	1.01	102.98	1.01
				103.59	32.27	104.40	32.38					103.59	1.01	104.40	1.01
				104.80	36.34	105.83	32.19					104.80	1.01	105.83	1.01
				105.97	33.23	107.27	27.57					105.97	1.01	107.27	1.01
				107.04	29.54							107.04	1.01		
				107.97	24.39							107.97	1.01		

6.7. Neigungskontrolle

Zusammenhang zwischen Temperatur und Neigungssensoren

Parameter	Temperatur	Neigung längs	Neigung quer
Notation in Trakdaq	Temp 1	Steigung	Querneigung
	25	74.1	13.0
	30	72.2	9.9
	35	68.4	3.5
	40	11.4	1.0
	45	11.7	1.0
	50	11.9	0.9
	55	12.0	0.7
	60	11.5	-0.3

Einfluss der Längsneigung auf die Querneigungsanzeige

Klötze [Anzahl]			Ablesung [mrad]	
links vorne	rechts vorne	hinten	längs	quer
0	3	0	110.9	114.5
		1	93.8	114.9
		2	65.2	115.7
		3	36.5	116.6
		4	8.1	117.4
0	2	0	83.0	76.5
		1	65.6	76.7
		2	37.1	77.5
		3	8.1	78.4
		4	-20.4	79.3
0	1	0	54.2	37.0
		1	36.2	37.5
		2	7.5	38.3
		3	-21.4	39.1
		4	-49.9	40.0
0	0	0	25.5	-2.5
		1	6.8	-1.9
		2	-21.9	-1.1
		3	-50.9	-0.2
		4	-79.5	0.6
1	0	0	24.3	-42.7
		1	5.9	-42.1
		2	-22.6	-41.3
		3	-51.5	-40.5
		4	-80.0	-39.7
2	0	0	23.4	-82.7
		1	5.2	-81.9
		2	-22.8	-81.8
		3	-51.7	-80.3
		4	-80.0	-79.5
3	0	0	22.5	-121.9
		1	4.6	-121.3
		2	-23.4	-120.5
		3	-52.0	-119.5
		4	-80.1	-118.7