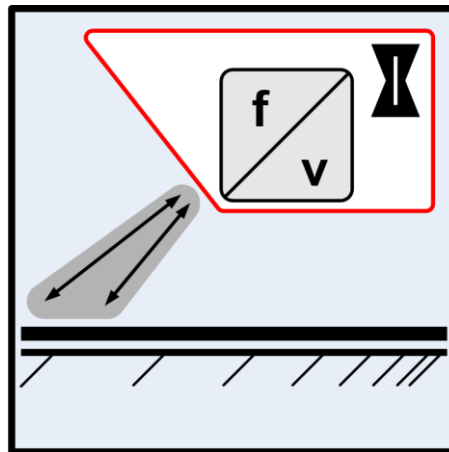


 DEUTA-WERKE Berg. Gladbach	Qualifizierungsplan SmaRT für DRS05 Werkzeug für Inklinometerverfahren	Seite	1 / 12
		Projekt	-

Qualifizierungsplan SmaRT für DRS05

Werkzeug für Inklinometerverfahren



Ersteller: Rainald Koch / ET
Prüfer: Arndt Niepenberg / ET
Firma: Deuta-Werke GmbH
Status: Freigegeben
Projekt: -
Datum: 2023-03-08
Dokumenten-ID: Planungsdokument
Version: 1.2

 DEUTA-WERKE Berg. Gladbach	Qualifizierungsplan SmaRT für DRS05 Werkzeug für Inklinometerverfahren	Seite	2 / 12
		Projekt	-

Änderungsjournal

Ver	Datum	Beschreibung der Änderungen	Autor
0.1	25.01.2023	Erstellung	A. Niepenberg
0.2	31.01.2023	Konzentration auf Test des Tools.	R. Koch
0.3	01.02.2023	Vorschau auf absehbare Änderungen, Konfigurationskontrolle.	R. Koch
1.0	06.02.2023	Version für SmaRT App V1.7.0 (Kap. 4 und 8).	R. Koch
1.1	08.02.2023	Kap. zur Qualifikation der Phonhalter eingefügt.	R. Koch
1.2	08.03.2023	In Kap.3: Verweis auf Kapitel 5 und 9 repariert.	A. Niepenberg

Inhalt

1	Zweck des Dokumentes	3
2	Referenzen.....	3
3	Tool-Klassifikation und Auswahl	3
4	Maßnahmen zur Qualifizierung der App	4
5	Qualifizierung der SmaRT Phonehalter	6
6	Konkurrenz der Verfahren	6
7	Programmierung der SmaRT App.....	7
8	Maßnahmen zur Qualifizierung einzelner Smartphones.....	7
9	App-Updates.....	10
10	Sichere Eingabe des K-Faktors in den Bordrechner	11

 DEUTA-WERKE Berg. Gladbach	Qualifizierungsplan SmaRT für DRS05 Werkzeug für Inklinometerverfahren	Seite	3 / 12
		Projekt	-

1 Zweck des Dokumentes

Das „SmaRT Radarsensor Tool“ dient zur Messung der Anbauwinkel von Radarsensoren DRS05 ([BA]) und zur Berechnung der entsprechenden Kalibrationsfaktoren ([Schu]), die dann im Zugrechner mit der Ausgabe des DRS05 (Geschwindigkeit und Weginkremente) multipliziert werden. Beim Kalibrationsfaktor, $\cos(45^\circ)/(\cos(45^\circ + \text{„nose down“-Winkel})$, handelt es sich offenbar um „Daten“ im Sinne von [EN50657] Satz 3.1.44 (T3-Werkzeug).

Das vorliegende Dokument liefert Informationen zur Abdeckung des Abschnitts [EN50657] 6.7.4 und plant Qualifizierungstests (6.7.4.4).

2 Referenzen

[Schu] = Schulungsunterlagen für die Messung des Anbauwinkels_V2.1.pdf

[EN50657] = OVE EN 50657: 2017-12-01

[BA] = Betriebsanleitung DRS05/3 (4AB1773)

3 Tool-Klassifikation und Auswahl

SmaRT besteht aus zwei Komponenten:

- der „SmaRT-App“ für Android-Smartphones und
- dem „SmaRT-Phonehalter“ als Anlege- und Ausrichtungshilfe.

SmaRT-Phonehalter gibt es in zwei Varianten, um ein darin eingesetztes Smartphone an DRS05 mit kleinem bzw. S1-Gehäuse anzulegen. Sie erlauben die Ausrichtung des Smartphones parallel und antiparallel zur Fahrtrichtung – Messungen in beiden Richtungen eliminieren Offsets und vermindern die Auswirkungen „lokaler Abweichungen“ (verschmutzte Oberfläche, differenzielle Nichtlinearität). Den Umgang erklärt ein integriertes Video (covert [EN50657] 6.7.4.3).

Die SmaRT-App nutzt den Beschleunigungssensor im Smartphone und ermittelt aus den Komponenten der Fallbeschleunigung die Neigung gegen die Lotrichtung.

Über diese Funktion handelsüblicher Inklinometer hinaus zeigt die App dem Benutzer durch Bezug auf den Gerätestecker des DRS05 die jeweils intendierten Richtungen an. Sie lässt ihn die Zugnummer/Cab eingeben und fordert ihn auf, durch Fotos zu dokumentieren, wie der Radarsensor zum Zug orientiert ist (zwecks Identifikation der Montageposition an Cabs mit zwei Radarsensoren) und wie der Zug zur Strecke orientiert ist (falls die Strecke keine vernachlässigbare Steigung hat). Das ermöglicht eine spätere Verifikation, um Vorzeichen- und Zuordnungsfehler aufzudecken. Messergebnisse mehrerer Züge bzw. Tage werden übersichtlich präsentiert, mit flexibler Suchfunktion. Dieser Absatz und die Kap. 5 und 9 decken [EN50657] 6.7.4.2 (Auswahl von Werkzeugen) ab.

 DEUTA-WERKE Berg. Gladbach	Qualifizierungsplan SmaRT für DRS05 Werkzeug für Inklinometerverfahren	Seite	4 / 12
		Projekt	-

4 Maßnahmen zur Qualifizierung der App

[EN 50657] Satz 6.7.4.4 besagt (Hervorhebung und Auslassung durch RKO):

Für jedes Werkzeug in Klasse T3, das für SIL 1 bis SIL 4 verwendet wird, muss ein Nachweis verfügbar sein, dass das Ausgangsprodukt des Werkzeuges der Spezifikation des Ausgangsproduktes entspricht oder Fehlfunktionen in den Ausgangsprodukten festgestellt werden. Der Nachweis darf auf den gleichen Schritten beruhen, die für einen manuellen Prozess als Ersatz für das Werkzeug notwendig sind, [...]

Genau das wurde während der Entwicklung der App mehrfach durchgeführt und soll nun zusammen mit Personal des Kunden im Feld wiederholt werden.

Mögliche Fehler bei der Berechnung des Winkels und des Kalibrierfaktors betreffen Vorzeichen, Skalierung und Offsets. Daneben sollen die Funktionen der App zur Vermeidung von Bedienungsfehlern demonstriert werden.

4.1 Vorzeichen I

Ein DRS05 mit nach unten geneigter Nase (steilere Abstrahlung) wird die Geschwindigkeit tendenziell unterschätzen, weil der Doppler-Effekt sich auf die Geschwindigkeitskomponente in Strahlrichtung bezieht. Diese Unterschätzung ist durch einen Kalibrierfaktor größer 1 zu kompensieren. Für eine Neigung der Nase nach oben muss der Kalibrierfaktor kleiner als 1 ausfallen.

Kontrolle, falls es einen sichtbar in Längsrichtung geneigten Radarsensor gibt: Messung mit dem SmaRT Radarsensor Tool durchführen und den ausgegebenen Kalibrierfaktor mit der vorstehenden Erwartung vergleichen.

Falls die Erwartung nicht erfüllt wird, ist wahrscheinlich nebenstehender Hinweis zur Orientierung des Smartphones zum DRS05 nicht beachtet worden. (Eine deutsche Übersetzung der Benutzeroberfläche steht noch aus).



Falls die Neigung des Radarsensors nicht sicher per Augenmaß auszumachen ist, kann das Smartphone auf eine schiefe Ebene gelegt werden, wobei sich die Erwartung aus der angezeigten Richtung ("Connector" des imaginierten Radarsensors) ergibt.

Die Erwartung und das Ergebnis sind zu dokumentieren.

4.2 Vorzeichen II

Gemessen wird die Neigung gegen die Horizontalebene, wirksam aber die Neigung gegen die Bewegungsrichtung. Die SmaRT App weist auf diesen Einfluss der Streckenneigung hin und erlaubt deren Eingabe und Berücksichtigung nach Betrag und „Vorzeichen“, letzteres anhand von Symbolen relativ zur Blickrichtung des Radarsensors, uphill oder downhill.

 DEUTA-WERKE Berg. Gladbach	Qualifizierungsplan SmaRT für DRS05 Werkzeug für Inklinometerverfahren	Seite	5 / 12
		Projekt	-

Zu kontrollieren ist die vorzeichenrichtige Berücksichtigung der Streckenneigung. Erwartung: Ein uphill blickender DRS05 blickt steiler auf die Strecke als auf die Horizontale, sodass mit Berücksichtigung der Streckenneigung der Korrekturfaktor größer ausfallen muss als ohne.

4.3 ACC_Y → Winkel → Korrekturfaktor

Wenn man das Smartphone mit um $\pm 45^\circ$ geneigter Längsachse in der Hand hält, sollte ein Winkel mit Betrag von etwa 45° angezeigt werden. Der Korrekturfaktor muss „nose-down“ gegen 45° divergieren, bei 45° „nose-up“ $1/\sqrt{2} \approx 0,707$ betragen und für kleine Winkel der linearen Näherung entsprechen ($1 - 0,0175 \cdot \text{„nose-up-Winkel“}$). Es geht hier um Fehler der Implementation, nicht um die Genauigkeit des Sensors (dazu unter Kap. 8 mehr).

4.4 Erwartung eines stabilen Signals

Wie von handelsüblichen Inklinometern gewohnt, startet die Messung automatisch, wenn das Signal stabil ist, und wird bei Schwankungen des Signals vor Ende der Messdauer verworfen und neu gestartet. Primär dient diese Funktion der einfachen Bedienbarkeit. Sie trägt auch ein wenig zur Sicherheit bei: Ein falsch angesetzter SmaRT-Phonehalter kipzelt womöglich. Auch verhindert die Funktion die Verwendung eines Smartphones mit stark rauschendem Acc-Signal, was aber bei Tests mit mehreren verschiedenen Modellen nicht vorgekommen ist.

Kontrolle der Funktion: Eine Messung mit in der Hand gehaltenem Smartphone zu starten, sollte nur mit beidhändig auf dem Tisch liegenden Unterarmen gelingen.

4.5 Offset

Offsets entstehen im Beschleunigungssensor selbst und durch dessen schiefe Montage im Smartphone sowie durch einen Winkel zwischen Smartphone und Kontaktfläche des Halters. Die Maßnahme gegen den Gesamt-Offset ist die doppelte Messung. Bei der 180° -Drehung dazwischen wechselt der Einfluss der Neigung des Radarsensors sein Vorzeichen, während der Offset stabil ist, wenn sich nicht gerade die Temperatur schnell ändert. Die halbe Differenz enthält die Neigung, nicht aber den Offset. Die App startet „Step II“ nicht, wenn sie nicht eine Drehung von mindestens 90° detektiert. Das soll verhindern, dass ohne Drehung gemessen wird, wodurch sich Neigung statt Offset herauskürzen und aus letzterem der Kalibrierfaktor berechnet würde.

Zweierlei ist zu kontrollieren:

4.5.1 Sicherstellen der Drehung

Der Versuch, durch ruhiges Abwarten die zweite Messung zu starten, muss ebenso zu einem Abbruch führen, wie ein Drehen und Zurückdrehen.

 DEUTA-WERKE Berg. Gladbach	Qualifizierungsplan SmaRT für DRS05 Werkzeug für Inklinometerverfahren	Seite	6 / 12
		Projekt	-

4.5.2 Implementation der Differenz

Dafür wird der Offset vergrößert, indem das Smartphone mit leichter Neigung (in Längsrichtung) im Halter fixiert wird. Der für einen Radarsensor bestimmte Kalibrierfaktor soll davon nicht abhängen (Vorher-nachher-Differenz unter 0,1 %-Punkt). Falls doch, war die Fixierung nicht stabil oder der Beschleunigungssensor hat zu große differenzielle Nichtlinearität.

4.6 Maßnahme gegen Offset-Drift

Die App begrenzt die Zeit zwischen den beiden Messungen (jeweils Ende der Messung) auf 30 s. Bei Zeitüberschreitung erscheint eine Fehlermeldung und die erste Messung wird verworfen. Das Ereignis wird nicht protokolliert.

Kontrolle: Das Ende der zweiten Messung verzögern und nach der Fehlermeldung eine neue Messung starten. Sie muss mit „Step I“ beginnen.

5 Qualifizierung der SmaRT Phonehalter

Unbestreitbare Vorteile des Inklinometerverfahrens mit dem SmaRT Radar Tool gegenüber handelsüblichen Inklinometern sind, dass das Personal nicht Dreierlei handeln muss (Inklinometer, Schablone zur Ausrichtung und Schreibutensilien) und dass der SmaRT Phonehalter Kontaktpunkte statt -flächen hat, sodass es wenig wahrscheinlich ist, dass lokale Unebenheiten des Radoms getroffen werden.

Ein potenzieller Nachteil ist die weniger steife Verbindung des Sensorelements mit den Kontaktpunkten/-flächen. Identifizierte Schwachpunkte:

- Die Klammerung des Smartphones. Der Winkel zwischen diesem und dem SmaRT Phonehalter darf sich durch erwartbare Erschütterungen zwischen den beiden Messungen um nicht mehr als 0,05° ändern. Die Unsicherheit liegt hier in „erwartbare Erschütterungen“.
- Verformung des SmaRT Phonehalters. „Erwartbare Handkräfte“ (Anpressdruck und Drehmoment, insbesondere in Pitch-Richtung) dürfen ebenfalls diesen Winkel um nicht mehr als 0,05° ändern.

Die am Qualifizierungstest Beteiligten sollen daher die Grenzen des Erwartbaren einschätzen, wobei die Schwierigkeit darin besteht, vorsätzlich von Vorsatz abzusehen.

6 Konkurrenz der Verfahren

Je nach weiteren Maßnahmen in der OBU müssen grobe Fehler der Korrekturfaktorbestimmung so selten sein, dass sie in einem Feldtest eigentlich nicht vorkommen sollten. Erfahrungen mit dem bisherigen Verfahren (mit handelsüblichem Inklinometer) deuten aber auf

 DEUTA-WERKE Berg. Gladbach	Qualifizierungsplan SmaRT für DRS05 Werkzeug für Inklinometerverfahren	Seite	7 / 12
		Projekt	-

das Gegenteil hin. Also kann es lehrreich sein, beide Verfahren gegeneinander antreten zu lassen, bis hin zu einer simulierten OBU-Eingabe (verdeckt geführtes Protokoll).

Da die Fehlerrate durch Übung sinkt, sollten möglichst mehrere ungeübte Testpersonen teilnehmen, während die Zahl der Messungen pro Person nicht groß sein muss, vielleicht zwei große und zwei kleine DRS05 je einmal pro Verfahren.

Die eine Hälfte der Personen führt zuerst das bisherige Verfahren durch, die andere Hälfte beginnt mit dem SmaRT Radarsensor Tool. Dann wird gewechselt.

7 Programmierung der SmaRT App

Die Entwicklungsumgebung (Android Studio) und der Compiler für die verwendete Programmiersprache (Kotlin) sind zur Entwicklung einer Android App sehr geeignet und millionenfach erprobt. Alle Funktionen, die das Ergebnis, den Wert des Korrekturfaktors, direkt beeinflussen können, sind entweder in die API/das Framework integriert (Eingabe von Werten über Textfelder, Auslesen des Beschleunigungssensors, Allokation von Speicher, Formatierung des Ergebnisses als Zeichenkette) oder sehr simpel (Mittelung, Dreisatz, Kosinusfunktion). Zusammen mit den Tests nach Kap. 4 und 8 covert dies [EN50657] 6.7.4.7/8.

8 Maßnahmen zur Qualifizierung einzelner Smartphones

Folgende Tests wurden entwicklungsbegleitend mit mehreren Smartphones durchgeführt, mit stets positivem Ergebnis. Da aber der Smartphone-Markt groß und offen ist, können problematische Modelle nicht sicher genug ausgeschlossen werden. Die ersten drei Tests sind schnell gemacht und sollten mit jedem neuen Gerät durchgeführt werden. Dieses Kapitel ist als PDF (zukünftig in der jeweiligen Sprachversion) in der SmaRT App verlinkt (covert [EN50657] 6.7.4.3).



Besser als die SmaRT App ist dazu die App [phyphox](#) geeignet, da sie Zeitverläufe grafisch darstellt und Rohdaten exportiert.

8.1 Orientierung des Koordinatensystems

Die Android-API definiert, dass die Y-Achse parallel ist zur längeren Kante des Geräts und so orientiert, dass die Erdbeschleunigung bei normaler Haltung mit positiven Werten angezeigt wird.

 DEUTA-WERKE Berg. Gladbach	Qualifizierungsplan SmaRT für DRS05 Werkzeug für Inklinometerverfahren	Seite	8 / 12
		Projekt	-

8.2 Gain des Acc-Sensors

Bei vertikaler Ausrichtung sollte $Acc_Y = Offset \pm 9,8 \text{ m/s}^2$ sein (+ aufrecht, – kopfüber), die Differenz also $2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 19,6 \text{ m/s}^2$. Das war bisher bei allen getesteten Smartphones gut erfüllt, ist offenbar Gegenstand einer Werks- oder dynamischen Kalibrierung.

Skalierungsfehler in der Größenordnung von 2 % sind bei mäßigen Neigungen der Radar-Anbaukonstruktion unkritisch, da es sich um einen Fehler zweiter Ordnung handelt. Z.B. ergibt eine Neigung von 4° eine Korrektur von 7 %, die bei um 4 % falscher Skalierung um 0,28 % falsch ist ($0,07 \cdot 0,04 = 0,0028$).

8.3 Querempfindlichkeit

Im Falle deutlicher Querneigung ist die Querempfindlichkeit relevant. Abschätzung wie in 8.2: Eine Querneigung von 4° bewirkt bei einer Querempfindlichkeit von 4 % einen Fehler des Korrekturfaktors von 0,28 %.

Die Querempfindlichkeit hat zwei Ursachen, die Mikromechanik des MEMS-Sensors und dessen Ausrichtung zum DRS05 – deshalb der SmaRT-Phonehalter als Ausrichtungshilfe.

Sie kann als Steigung der Funktion $ACC_Y(ACC_X)$ bei reiner Querneigung gemessen werden, d.h., Rotation um die DRS05-Längsachse, die genügend genau durch die seitlichen Kanten seines Flansches definiert ist. Man lege also das Smartphone in den Halter, den Halter korrekt ausgerichtet auf einen DRS05, diesen mit seinem Flansch auf einen Tisch und kippe dann alles um eine Flanschseite, langsam, bis $ACC_X = 5 \text{ m/s}^2$ (30°). Eine beobachtete Änderung in ACC_Y von z.B. $0,1 \text{ m/s}^2$ würde eine Querempfindlichkeit von $0,1 / 5 = 2 \%$ bedeuten.

8.4 Offset-Drift

Offset-Drift ist schädlich, falls sie schnell erfolgt, zwischen den beiden Messungen (vor bzw. nach der Drehung). Vorstellbar ist das bei einer raschen Temperaturänderung, getestet durch beginnendes Schnellladen während der Aufzeichnung mit phyphox. Das Ergebnis war unbedenklich.

Sprünge im Offset sind denkbar, wenn das Smartphone oder die gummierten Backen des Halters sehr fettig sind (geringe Haftreibung) und der Halter zur zweiten Messung sehr unsanft angesetzt wird.

8.5 Differenzielle Nichtlinearität

Angeichts des Sensorprinzips ist als Quelle differenzieller Nichtlinearität (DNL) nur die A/D-Wandlung denkbar. Dies würde sich äußern als Nicht- oder selteneres Auftreten mancher Codes. In extremen Fällen sind mehrere nebeneinanderliegende Codes betroffen. Rauschen



mindert den Einfluss der DNL auf das gemittelte Ergebnis, wenn die Rauschamplitude größer ist als die Lücken. Mit der Maßnahme „hohe Datenrate“ sollte das gegeben sein.

Kontrolle: Aufnahme eines ACC_Y-Sweeps über den interessierenden Bereich von z.B. $9,8 \text{ m/s}^2 \cdot \tan(\pm 4^\circ) \approx \pm 0,7 \text{ m/s}^2$, Export und Darstellung als Histogramm. Ein langsamer Sweep ist aus der Hand schwer gleichmäßig auszuführen. Schwankungen der Geschwindigkeit mitteln sich durch mehrfaches Hin-und-her heraus. Nebenstehender phyphox-Screenshot verdeutlicht die Aktion. Auch das im Anhang wiedergegebene Python-Skript stellt den Zeitverlauf dar.

Die folgende Abbildung zeigt das Histogramm zu dieser Messung, Ergebnis: keine Code-Lücken.

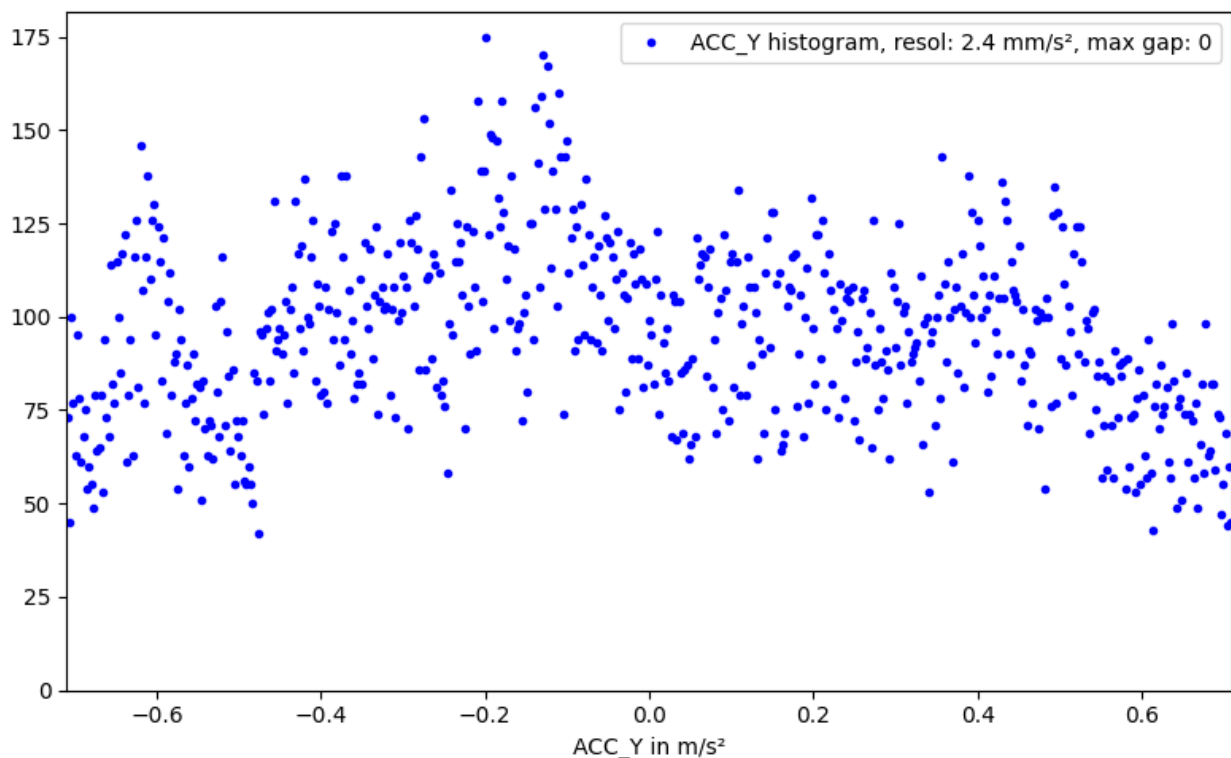
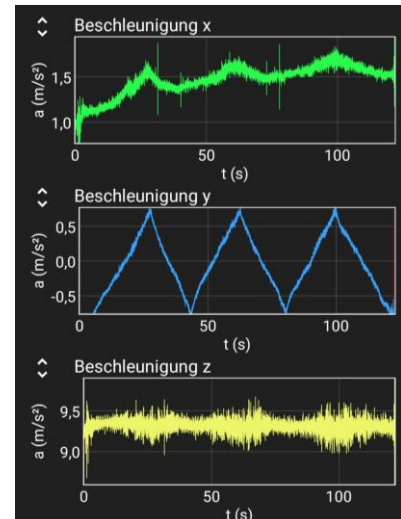


Fig. 2 des Python-Skripts: Histogramm über die ACC_Y-Werte – keine Code-Lücken.

 DEUTA-WERKE Berg. Gladbach	Qualifizierungsplan SmaRT für DRS05 Werkzeug für Inklinometerverfahren	Seite	10 / 12
		Projekt	-

9 App-Updates

Der Quellcode der App unterliegt einer Versionskontrolle (git). Für absehbare Änderungen und Erweiterungen der SmaRT App sind auch die nötigen Qualifizierungsmaßnahmen absehbar. Als Beispiele für Analysen, die [EN50657] 6.7.4.11 gerecht werden, dienen die nachfolgenden Kapitel.

Es besteht keine Verpflichtung zu einem Update. Ein Update kann jedoch nötig sein, wenn ein neueres Smartphone eingesetzt wird oder ein Update des Betriebssystems dies erfordert. Die Entscheidung, welche Version in welchem Projekt eingesetzt wird, obliegt dem Kunden ([EN50657] Abschnitt 6.7.4.10, Konfigurationsmanagement).

Es können mehrere Versionen parallel installiert sein, wobei die Versionsnummer auf der “About Us”-Seite (hinter dem ⓘ-Button) eingesehen werden kann. Messergebnisse werden pro Version getrennt abgelegt. In Google Play ist nur die jeweils aktuellste Version verfügbar. Ältere Versionen können als apk-Dateien von Deuta bezogen werden.

9.1 Mehrsprachige Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche ist zurzeit in Englisch. Andere EU-Sprachen und Chinesisch sind absehbar nötig.

Die Erweiterung tangiert nicht die Gültigkeit der oben geplanten Qualifizierungstests. Natürlich muss jede Sprachversion des GUI von Muttersprachlern verifiziert werden.

9.2 Layout-Details

Bei besonders langen Smartphones soll die benutzte Display-Fläche begrenzt werden.

Solche Änderungen tangieren nicht die Gültigkeit der oben geplanten Qualifizierungstests.

9.3 Format des K-Faktors

Auf einer neuen Seite “Einstellungen” soll man die Zahl der Nachkommastellen einstellen können (3 bis 5, Werkseinstellung: 4) sowie das Dezimaltrennzeichen (Komma, Punkt, sprachspezifisch oder gar nicht, Werkseinstellung: sprachspezifisch).

Tangiert nicht die Gültigkeit der oben geplanten Qualifizierungstests. Optionen testen.

 DEUTA-WERKE Berg. Gladbach	Qualifizierungsplan SmaRT für DRS05 Werkzeug für Inklinometerverfahren	Seite 11 / 12
		Projekt -

10 Sichere Eingabe des K-Faktors in den Bordrechner

[EN50657] Abschnitt 6.7.4.1, letzter Absatz:

Die ausgewählten Werkzeuge sollten zusammenwirken können. Das bedeutet in diesem Zusammenhang, Werkzeuge wirken zusammen, wenn die Ausgangsprodukte des einen Werkzeuges einen geeigneten Inhalt und ein geeignetes Format für die automatische Eingabe an ein nachfolgendes Werkzeug haben und sich dadurch die Möglichkeit von Fehlern des Menschen bei der Nachbearbeitung von Zwischenergebnissen verringert.

Hier ein Verfahren, das zwar dem Menschen die Eingabe überlässt, aber einen sicheren Rückkanal nutzt:

1. OBU: Wähle die Funktion „K-Faktor-Eingabe“ und darin, falls zwei Radarsensoren angeschlossen sind, den Kanal, auf den der Faktor angewendet werden soll. Idealerweise präsentiert die OBU zur Auswahl des Kanals dieselben Icons wie die App: Blickrichtung des Radarsensors ist gleich bzw. entgegengesetzt zur Cab.
2. SmaRT: Wähle auf der Ergebnisseite die gewünschte Messung aus unter Beachtung der Zugnummer/Cab, des Kanals, sowie Datum und Uhrzeit. Die App präsentiert groß den K-Faktor, das die Orientierung des Radarsensors zeigende Foto und einen Validate-QR-Button.
3. OBU: Manuelle Eingabe des K-Faktors. Die OBU präsentiert daraufhin die ihr sicherlich bekannte Zugnummer/Cab, den vorher eingestellten Kanal, den K-Faktor und eine Transaktionsnummer (TAN) in Form eines QR-Codes auf dem Display.
4. SmaRT wechselt per Validate-QR-Button zur Kamera, um den QR-Code zu erfassen. Die Daten darin werden mit denen der selektierten Messung verglichen. Bei Übereinstimmung werden die aktuelle Zeit in eine Spalte "validated OBU upload" der Ergebnisliste eingetragen und eine TAN groß angezeigt, sonst eine Fehlermeldung.
5. OBU: Die TAN wird manuell eingegeben, um die OBU über den Erfolg zu informieren.

Das Verfahren setzt als Hardware lediglich ein grafikfähiges Display voraus, sollte also meist realisierbar sein. Seitens der App sollte vielleicht ein konfigurierbares Eingabeformat für Zugnummer/Cab erzwungen werden, damit die Übereinstimmung mit dem Inhalt des QR-Codes nicht an Formatvariationen scheitert.

 DEUTA-WERKE Berg. Gladbach	Qualifizierungsplan SmaRT für DRS05 Werkzeug für Inklinometerverfahren	Seite	12 / 12
		Projekt	-

Anhang: Python-Skript

```

""" Untersuchung von ACC-Sensordaten auf differenzielle
Nichtlinearität im Bereich 0 ± RNG m/s².
"""

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

FNAM = '2023-01-30_144435_DNL_A50.csv'
RNG = 0.71 # Für die Neigungsmessungen ausreichender Bereich.

def get_cols(fnam): # Lies PhyPhox-Daten.
    data = np.genfromtxt(
        fnam,
        delimiter = ',', # Wie exportiert.
        names      = True,
        usecols    = (1,2,3),
        dtype      = 'f4,f4,f4')
    if not data.dtype.names == ('Acceleration_x_ms2',
                                'Acceleration_y_ms2',
                                'Acceleration_z_ms2'):
        raise NotImplementedError
    return data.view('f4').reshape((-1,3)).T

acc = get_cols(FNAM)
median = np.median(acc, axis=1); median[1] = 0
fig, ax = plt.subplots(nrows=3, ncols=1, sharex=True, figsize=(16,12),
                        gridspec_kw={'hspace':0.})

for i in range(3):
    ax[i].plot(acc[i], 'o', markersize=3, alpha=.5,
               label=None if i else FNAM)
    ax[i].set_ylim(median[i] - RNG, median[i] + RNG)
    ax[i].set_xlim(-.1)
ax[0].legend()
fig.tight_layout()
fig.show()

diff = np.diff(sorted(set(acc[1][np.abs(acc[1]) < RNG])))
resol = np.median(diff)
max_gap = int(diff.max()/resol) - 1
n, bins = np.histogram(acc[1], bins=len(diff)+1, range=(-RNG, RNG))
mid = .5*(bins[:-1] + bins[1:])

fig, ax = plt.subplots(figsize=(8,5))
ax.plot(mid, n, 'b.', label=f'ACC_Y histogram for {FNAM}, '
        f'resol: {resol*1E3:.1f} mm/s², max gap: {max_gap}')
ax.set_xlabel('ACC_Y in m/s²')
ax.set_xlim(-RNG, RNG)
ax.set_ylim(0)
ax.legend()
fig.tight_layout()
fig.show()

```