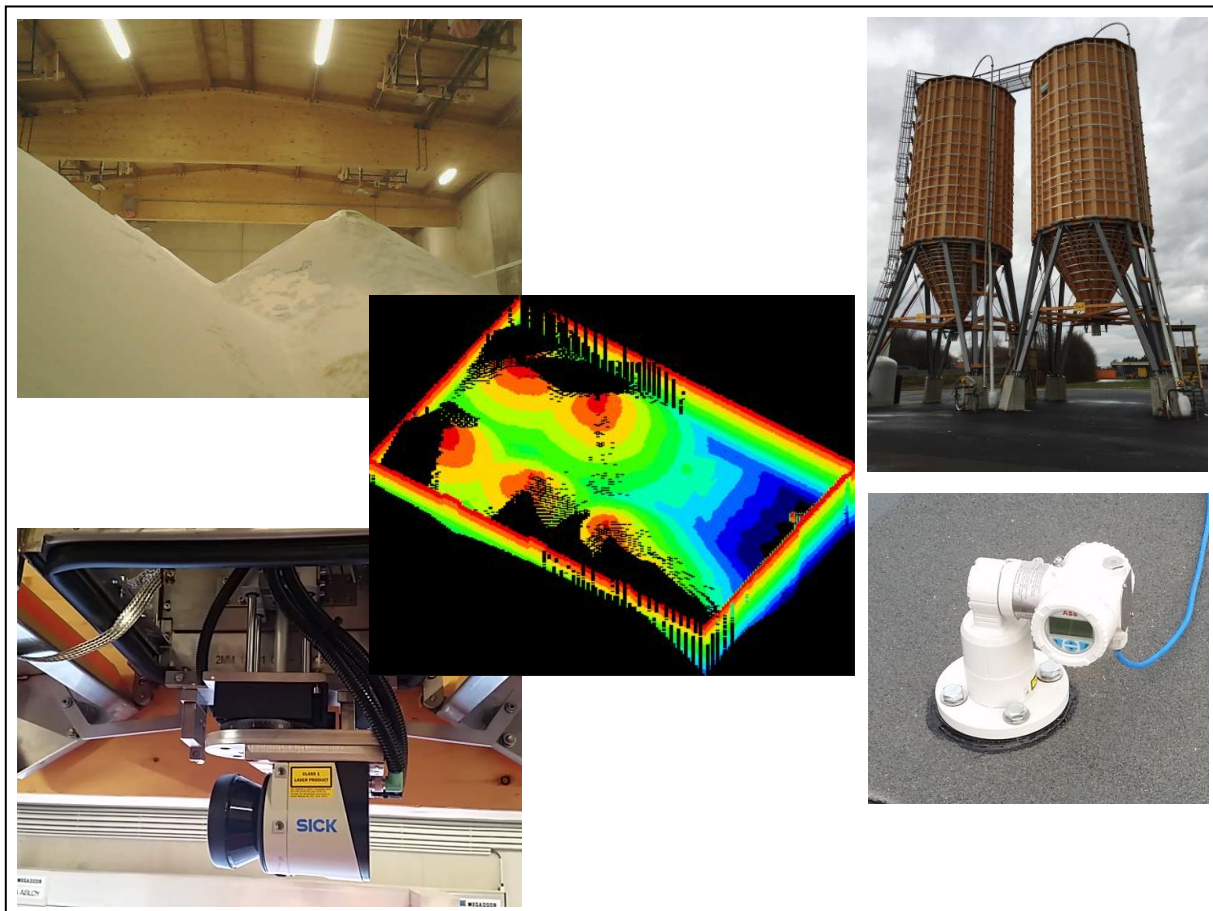


ATLAS - Automatische Lagerstandsmessung für Salzdepots

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2014
(VIF2014)

Juni 2018



Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Radetzkystraße 2
A – 1030 Wien

 Bundesministerium
Verkehr, Innovation
und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG
Nordbahnstraße 50
A – 1020 Wien

 **ÖBB**
INFRA

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-
Aktiengesellschaft
Rotenturmstraße 5-9
A – 1010 Wien

 **ASFINAG**

Für den Inhalt verantwortlich:

FH JOANNEUM GmbH
Alte Poststraße 147
8020 Graz

 **FH | JOANNEUM**
University of Applied Sciences

Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Thematische Programme
Sensengasse 1
A – 1090 Wien

 **FFG**
Forschung wirkt.

ATLAS - Automatische Lagerstandsmessung für Salzdepots

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2014)

Autor:

Doz.(FH) Dipl.Ing. Thomas Messner, MSc.

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
ÖBB-Infrastruktur AG
Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

FH JOANNEUM GmbH
Institut Electronic Engineering

1	Einleitung.....	5
1.1	Evaluierung verschiedener Messsysteme	5
1.2	Anforderungen an die Messsysteme	6
2	Hallenmesssystem.....	7
2.1	Entscheidungsmatrix.....	7
2.2	Topologie und Komponenten der Hallenmessanlage ABM Alland	9
2.3	Konstruktion und Bau der Anlage.....	14
2.4	Mathematisches Modell zur Berechnung des Volumens	19
2.5	Volumsberechnung	21
2.6	Aufruf der Software im ASFAING Netz der ABM Alland	22
2.7	Software.....	23
2.8	Parameter und Abgleich der Scanner.....	28
2.9	Messungen	30
2.10	Resümee.....	32
3	Evaluierung Salzsilo	34
3.1	Installation einer Lasermessanlage zu Vergleichszwecken	35
3.2	Konfigurationsbeispiele für Salzsilo-Füllstandsmessung	40
3.3	Resümee.....	42
4	Abbildungsverzeichnis	43

1 EINLEITUNG

Das Akronym ATLAS steht für „Automatische Lagerstandsmessung für Salzdepots“.

Der Inhalt des Projekts teilt sich in zwei Bereiche, deren Ziele in Abstimmung mit der ASFINAG Projektleitung definiert wurden.

Im Bereich der Salzhallen wurde ein Prototyp einer automatischen Salzmessanlage entwickelt, da ein derartiges System noch nicht eingesetzt wird. Für Salzsilos sollte eine Entscheidungsgrundlage für die optimale Ausrüstung der ASFINAG Silostandorte erstellt werden.

Mithilfe von Kreativmethoden wurden zu Beginn für beide Bereiche verschiedene alternative Lösungsansätze in einem interdisziplinären Team von Männern und Frauen erarbeitet. In Expertengruppen wurden Lösungen für die einzelnen Teilsysteme erarbeitet und gemeinsam mit der ASFINAG mögliche Lösungsansätze und erzielbare Ergebnisse (Genauigkeit der Verfahren, Erkennung von Verkrustung und Hohlräumen, Datenübertragung, Kosten, ...) besprochen und mit den geforderten Anforderungen verglichen.

1.1 Evaluierung verschiedener Messsysteme

Für die Messung von Salz sind verschiedene physikalische Messmethoden möglich. Nicht jede Methode ist gleichermaßen für Salzhallen und –silos geeignet.

In industriellen Prozessen werden je nach Anwendung Messmethoden aus verschiedenen Technologiegruppen eingesetzt. Diese Messmethoden wurden auf Eignung geprüft.

- Mechanische und elektromechanische Verfahren
- (Schwimmer, Verdränger, Vibrationsgrenzscharter, ...)
- Elektrische Technologien
(kapazitive, konduktive, potentiometrische Verfahren, ...)
- Laufzeitmessung (Sonar, Ultraschall, Radar, Infrarot, Laser, ...)
Mittels gebündeltem Strahl (Laser, aber auch Radar) kann durch Richten des Strahls eine Fläche abgetastet werden und somit ein Relief rekonstruiert werden
- Druck- und Kraftmessung (Dehnmessstreifen, Druckdosen,...)
- Radiometrische Messung
- Optische Verfahren
Grid Projector mit Kameraauswertung zur Vermessung eines Reliefs (Halle)
Vermessung von Kubaturen durch Stereokameras
- Sonstige Verfahren (Grenzstandsmessung, ...)

Bevorzugt werden statt mechanischer und elektromechanischer Verfahren wartungsärmere und weniger störanfällige Technologien, insbesondere die deutlich robusteren laufzeitmessenden und auf Imaging basierenden Technologien.

Die Ausarbeitung der verschiedenen Messsysteme wurde im ersten Zwischenbericht dokumentiert und wird deshalb hier nicht eingefügt.

1.2 Anforderungen an die Messsysteme

Die Anforderungen an das Messsystem wurden gleichzeitig als Kriterien für die Auswahl aus mehreren Systemkonzepten herangezogen.

- Eignung des Verfahrens:
 - Wie genau kann das Messsystem messen?
 - Gibt es „blinde Bereiche“, die das Messsystem nicht erfassen kann?
 - Welche Messgenauigkeit ist durch das Messsystem erreichbar?
 - Ist die Reichweite des Messsystems ausreichend?
 - Genügt eine punktuelle Messung (zB Höhe des Füllstandes im Silo)?
- Robustheit gegen Verschmutzung und Umgebungsbedingungen:
 - Ist eine Einhausung zum Schutz vor Verschmutzung des Messsystems notwendig?
 - Ist eine Beheizung (Enteisung) oder eine Abblasvorrichtung nötig?
- Entwicklungsaufwand:
 - Kann man auf bestehende Teilsysteme zurückgreifen, oder müssen Teilsysteme erst entwickelt werden?
- Wie hoch ist das Entwicklungsrisiko?
- Wie hoch ist der Installationsaufwand?
 - Wie hoch ist der Wartungsaufwand (Reinigung) und Bedienungsaufwand?
- Können Störeinflüsse problematisch werden?
 - (Arbeiter oder Maschinen im Messbereich, Witterung, Staubentwicklung, ...)
- Kosten
 - Wie hoch sind die Kosten eines Systems?
 - Kann ein System mobil für mehrere Standorte eingesetzt werden?

2 HALLENMESSSYSTEM

Für die automatische Lagerstandsmessung in Hallen wurden auf Basis der vorangehenden Erhebungen, Analysen und Erarbeitung der Messverfahren und Teilsysteme mehrere Systemkonzepte für ein wirtschaftliches und in der Anwendung effizientes Messsystem erarbeitet, die der ASFINAG Projektleitung anschließend zur Entscheidung vorgelegt wurden.

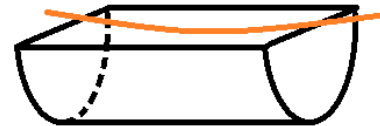
2.1 Entscheidungsmatrix

Die Konzepte für das Hallenmesssystem wurden in Form einer Entscheidungsmatrix vorgelegt und mit der ASFINAG besprochen. Es standen fünf Systemkonzepte zur Auswahl:

- System 1: Sick 2D Laserscanner - drehend montiert -
Beobachtungsbereich: Halbkugel



- System 2: Sick 2D Laserscanner – seilgeführt
Stromversorgung: kabelgebunden, Kommunikation über Funk
Beobachtungsbereich: Halbkreis Prisma
stationär in einer Halle montiert



- System 3: wie System 2, jedoch als mobile Einheit ausgeführt - transportabel
zwischen mehreren Standorten



- System 4: 2D Laserscanner - auf Flugcopter montiert
MOBILE Einheit - transportabel zwischen Hallen



- System 5: ABB Scanner VM3D:
Beobachtungsbereich Halbkugel
stationär aufgebaut



Basierend auf den erstellten Systemkonzepten und der gemeinsamen Entscheidung zwischen ASFINAG Projektleitung, der FH JOANNEUM und der NetAutomation sollte System 2 „Sick 2D Laserscanner – seilgeführt“ umgesetzt werden.

Ein seilgeführtes System hätte den Vorteil, dass es durch die Führung entlang der Halle den Großteil der Salzoberfläche einsehen und somit vermessen kann. Ein Scansystem aus einer Beobachtungsposition hat hier klar den Nachteil.



Abbildung 1: Symbolfotos ABM St.Pölten – Sicht aus einer fixen Beobachtungsposition
Es wird entschieden, die Messanlage in der neu errichteten Salzlagerhalle in der ABM Alland zu installieren.

Detailfragen werden mit Herrn Kottek (Leiter der Autobahnmeistereien Alland u.Pressbaum) besprochen. Dabei tauchen einige Widersprüche und Probleme auf:

- Eine Längsführung der Seile in der Hallenmitte ist seitens ASFAING nicht gewünscht, da einbringende Lastwägen Salz abkippen und die lichte Höhe durch die Seile eingeschränkt würde
- Eine Anbringung der Seil-Abspanngewichte an der Außenseite der Halle ist aus Erfahrung (Vandalismus) nicht erwünscht

Somit fiel die Entscheidung auf das System 1. Durch eine fixe Beobachtungsposition in der Halle würden allerdings viele Bereiche der Salzoberfläche durch andere Schüttkegel abgedeckt werden (Verschattung). Aus diesem Grund wurde entschieden, zwei Laser-Scansysteme anzubringen.

2.2 Topologie und Komponenten der Hallenmessanlage ABM Alland

Eine zentrale Steuerung ist mit zwei Scannereinheiten verbunden. Jede Scannereinheit beinhaltet einen 2D Laserscanner, der drehend auf einem Präzisionsdrehtisch gelagert ist. Zum Schutz befindet sich das Scansystem in einer Edelstahlbox, die während des Scanvorgangs geöffnet werden kann. Die zentrale Steuerung liest von den Scannern zyklisch 2-dimensionale Entfernungsdaten entlang einer vertikalen Ebene ein. Diese vertikale Ebene wird durch den Präzisionsdrehtisch in feinen Schritten um die z-Achse (Lotlinie) gedreht. Somit kann jeder Scanner ein 3-dimensionales Bild von der Salzoberfläche erfassen.

In der zentralen Steuerung befindet sich ein Compact-RIO (Realtime Rechner) von National Instruments, der über ein Webinterface innerhalb des ASFINAG Datennetzes und Fernwartung bedient werden kann.

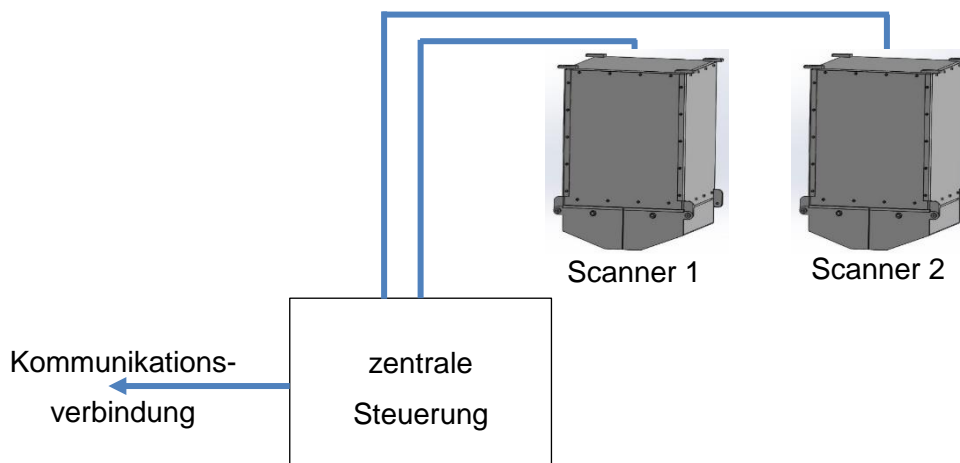


Abbildung 2: Topologie der Messanlage

Der Sick LMS151 ist ein kompakter 2D Laserscanner für raue Umgebungsbedingungen. Er besitzt einen Öffnungswinkel von 270° bei einer Winkelauflösung von bis zu 0,25°. Bei 180° Beobachtungsbereich ergeben sich somit 721 Datenpunkte im kartesischen Koordinatensystem (Scanwinkel δ , Entfernung d). Die Scanfrequenz der gesamten 2D Ebene beträgt 25Hz. Die Daten werden über eine integrierte PoE Schnittstelle geliefert.

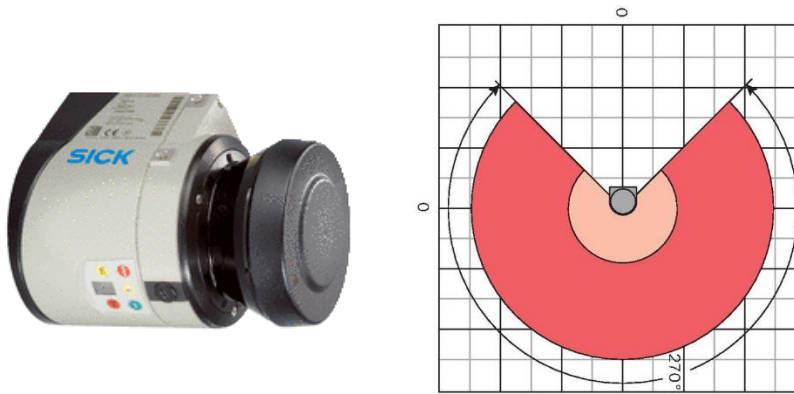


Abbildung 3: 2D Laser Scanner – Sick LMS151 und Sichtfeld des Lasers

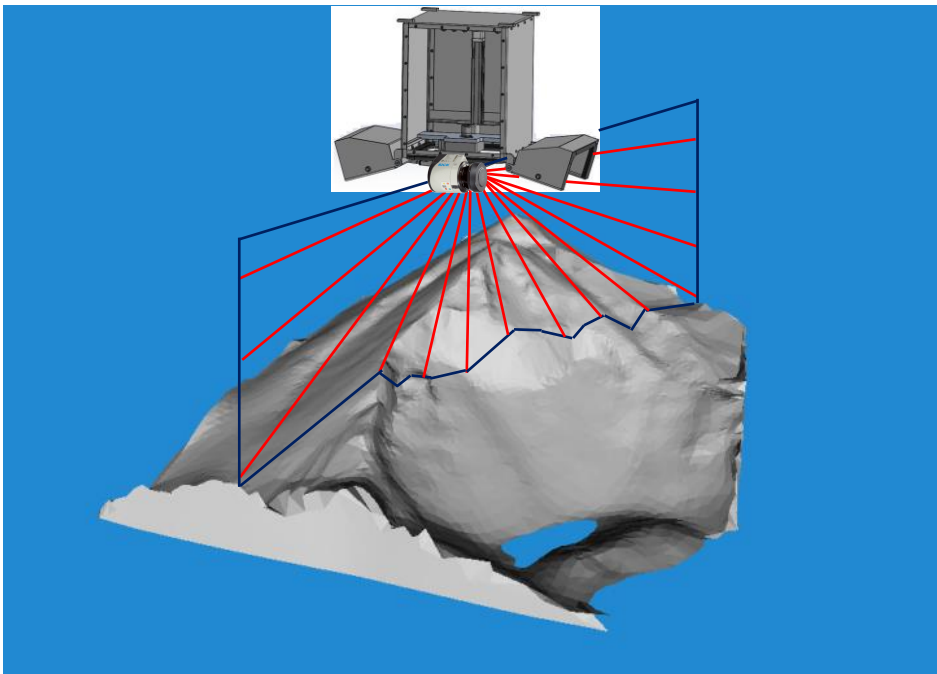


Abbildung 4: 2D Bild des Laser Scanners

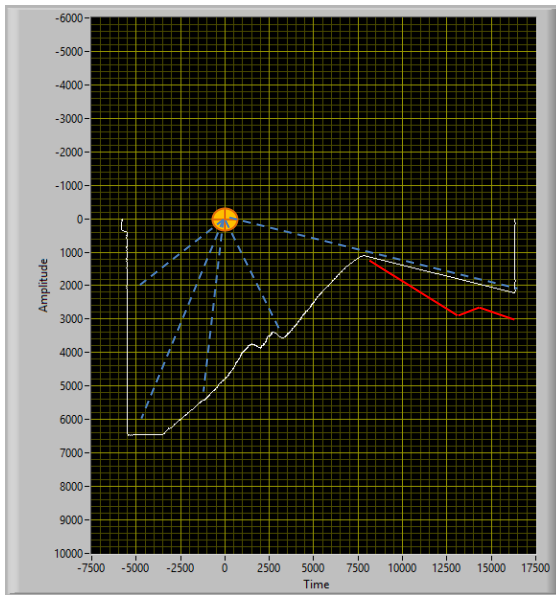


Abbildung 5: 2D Scannerbild mit Verschattung

Abbildung 5 zeigt eine Verschattungssituation. Die weiße Linie im Bild stellt die gescannte Oberfläche dar. Durch den Schüttkegel des Salzes werden Oberflächenbereiche hinter dem Kegel abgedeckt. Die rote Linie zeigt eine mögliche (!) Kontur der Salzoberfläche. Durch die Anbringung zweier Scanner erfasst der zweite Scanner eventuell den verschatteten Bereich, da er aus einem anderen Betrachtungswinkel scannt.

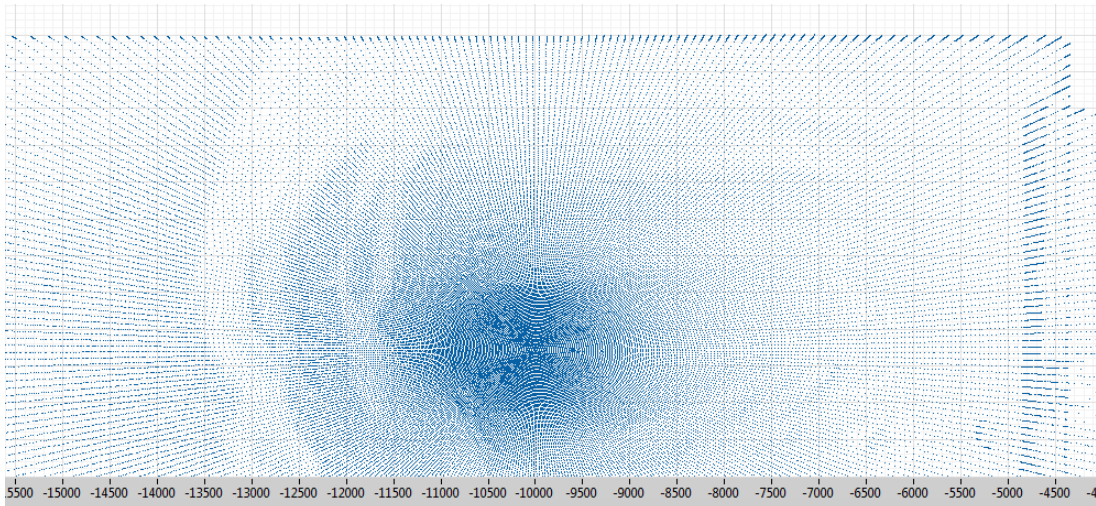


Abbildung 6: 3D Punktwolke eines Scanners in Draufsicht (x/y)

Der Scanner wird mittels eines Präzisionsdrehtisches in Schritten 180° gedreht wodurch sich eine 3-dimensionale Punktwolke ergibt, die die Salzoberfläche beschreibt. Die Daten liegen

nun im sphärischen Koordinatensystem bezogen auf den Scanner-Null-Punkt vor
(Rotationswinkel φ , Scanwinkel δ , Entfernung d)

Der Präzisionsdrehtisch wird von einem Schrittmotor mit einer Winkelauflösung von $1/100^\circ$
angetrieben



Abbildung 7: Präzisionsdrehtisch mit Schrittmotor und zugehörigem Schrittmortreiber

Der Präzisionsdrehtisch ist mit einem Referenzpunktschalter, sowie Endschaltern
ausgestattet.

Der Öffenmechanismus der Scannerbox wird von einem DC-Linearmotor angetrieben.

Folgendes Bild zeigt die Komponenten der zentralen Steuerung und der Scannerbox, sowie deren Verbindungen

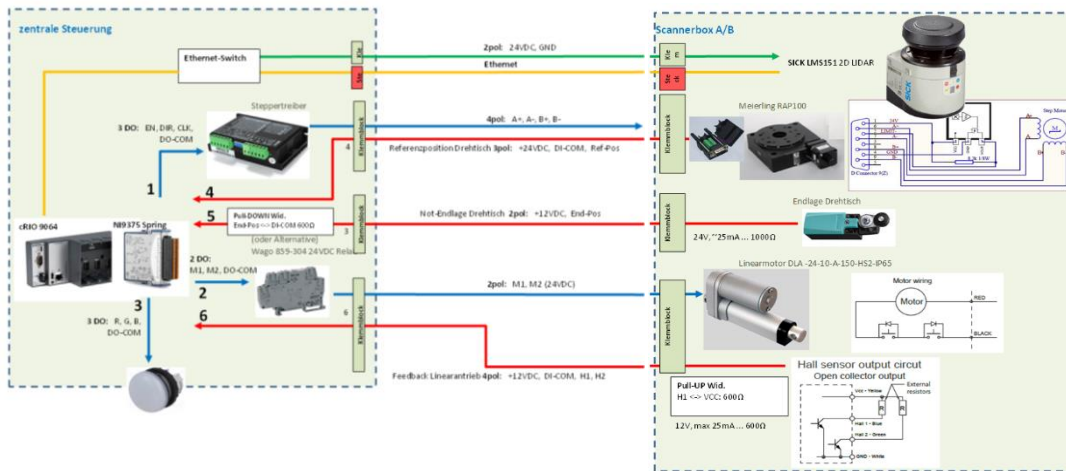


Abbildung 8: Verbindungsübersicht zentrale Steuerung und Scannerbox

Als Controller für die zentrale Steuerung wird ein cRIO 9064 von National Instruments eingesetzt. Der Realtimecontroller verfügt über vier Einschubmöglichkeiten von c-Serien Modulen für Inputs und Outputs, sowie zwei Ethernet Interfaces für Kommunikation nach außen ins ASFINAG Kommunikationsnetz, sowie zur Anlage (Fernwartungsrechner und Laserscanner).

Technische Daten des CompactRIO-Controllers: Dual-Core-CPU (667 MHz), 512 MB DRAM, 1 GB Speicher und Zynq-7020-FPGA, 4 Slots

Beim cRIO-9064 handelt es sich um einen Embedded-Controller, der sich ideal für anspruchsvolle Steuer-, Regel- und Überwachungsanwendungen eignet. Der softwaredesignte Controller verfügt über einen FPGA und einen Echtzeitprozessor mit dem Betriebssystem NI Linux Real-Time.-Der robuste, lüfterlose Controller bietet verschiedene Anschlussoptionen, darunter zwei Gigabit-Ethernet-Schnittstellen, eine serielle Schnittstelle sowie einen USB-Host- und einen USB-Geräteanschluss.

Zur Ansteuerung der Peripherie und Einlesen der digitalen Eingänge wird ein NI 9375 IO Modul verwendet.



Abbildung 9: NI cRIO 9064 und NI 9375 IO Modul

2.3 Konstruktion und Bau der Anlage

Sämtliche Anlagenteile müssen aus Edelstahl, Kunststoff oder ähnlichem nicht korrodierendem Material gefertigt sein. Im folgenden Bild kann man die Verhältnisse nach dem Einblasen von Salz erkennen.



Abbildung 10: Salznebel nach dem Einblasen von Salz

Die Einhausung besteht vollständig aus Edelstahl und Kunststoffkomponenten. Die Steuer Elektronik innerhalb der Scannerbox ist nochmals in eine Kunststoffanschlussbox mit Anbauerschraubungen zusammengefasst.

Die Konstruktion ist vollständig CAD geplant.

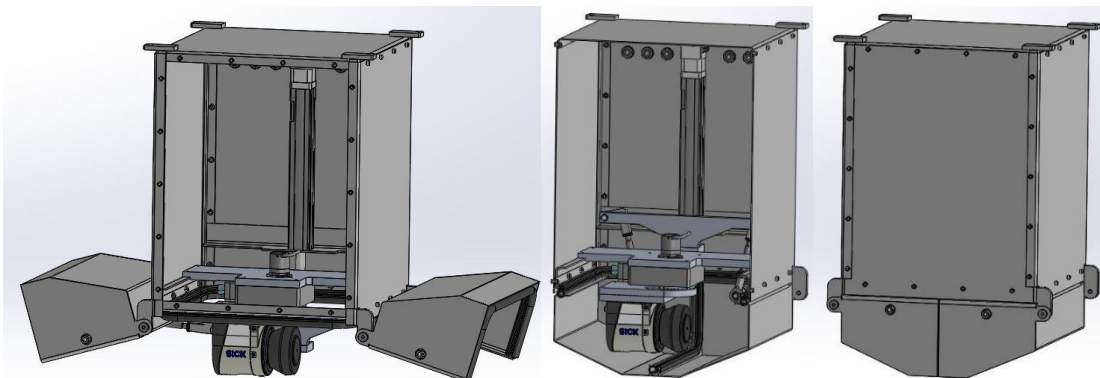
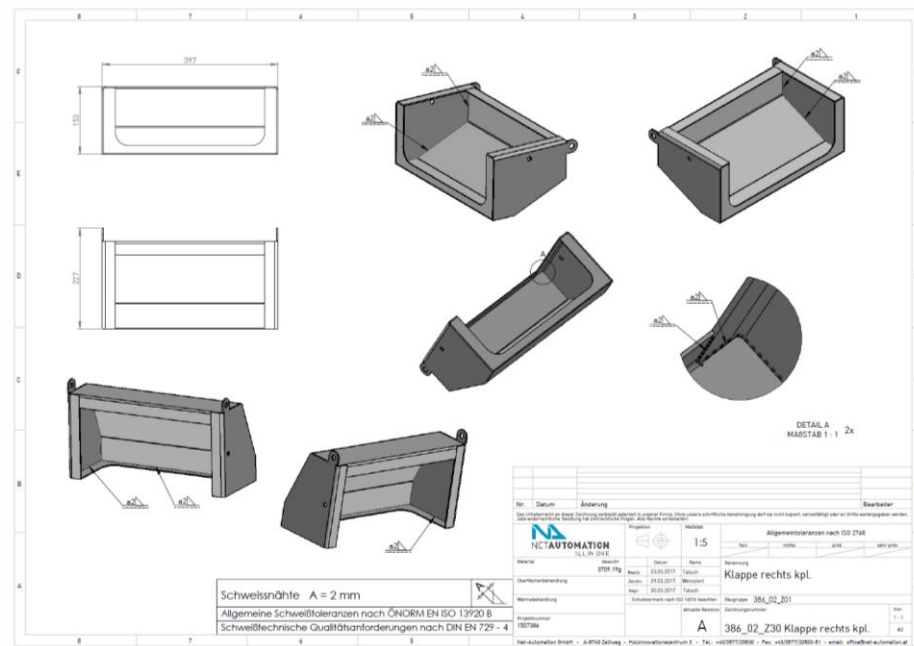


Abbildung 11: CAD Pläne und Renderings der mechanischen Konstruktionen

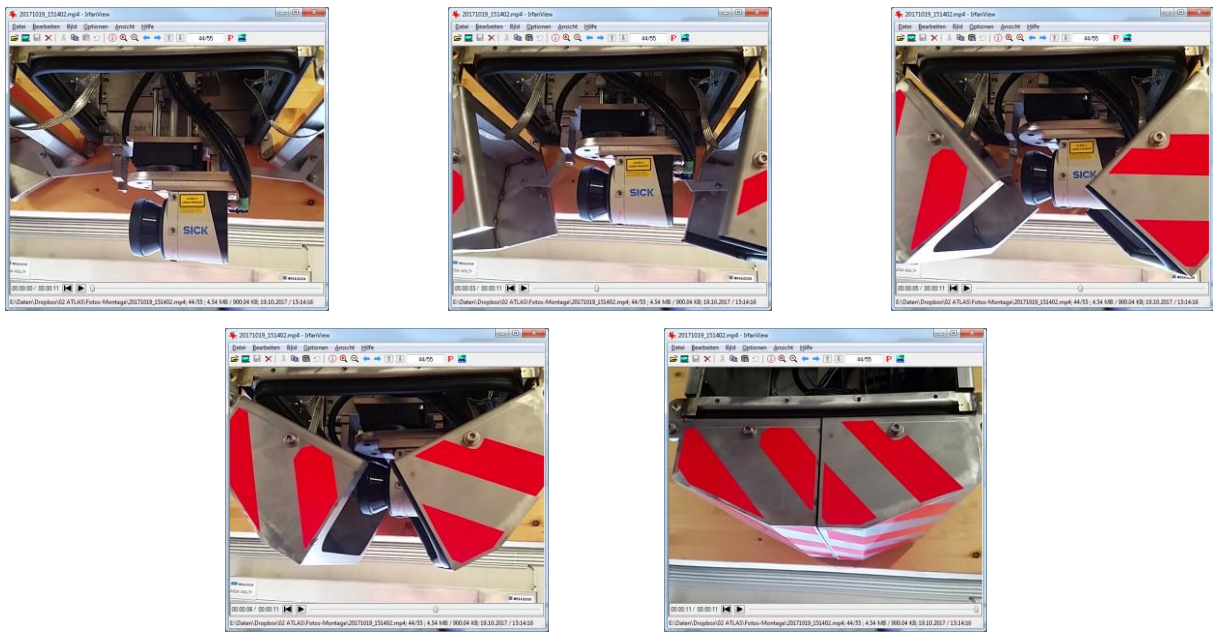


Abbildung 12: Bildsequenz: Scansystem wird durch einen Edelstahldeckel vom Salz geschützt

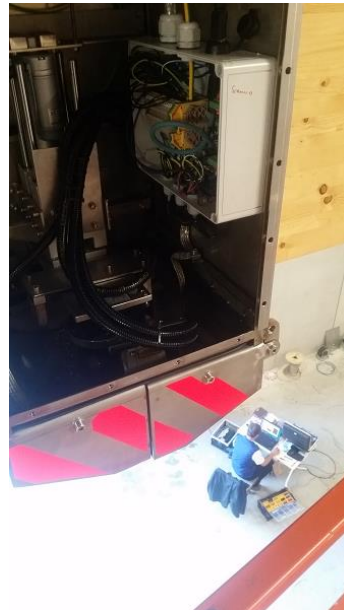




Abbildung 13: Montage der Hallenmessanlage



Abbildung 14: zentrale Steuerung im Schaltschrank, Montage an der Hallenwand



Abbildung 15: Messsystem an der Hallenkonstruktion montiert

2.4 Mathematisches Modell zur Berechnung des Volumens

Die Daten liegen nach dem Scannen in sphärischer Form vor. Jeder Punkt der Punktwolke bezieht sich auf den Ursprungspunkt-Punkt des Scanners und besitzt eine Entfernung d , einen Rotationswinkel φ und einen Scanwinkel δ .

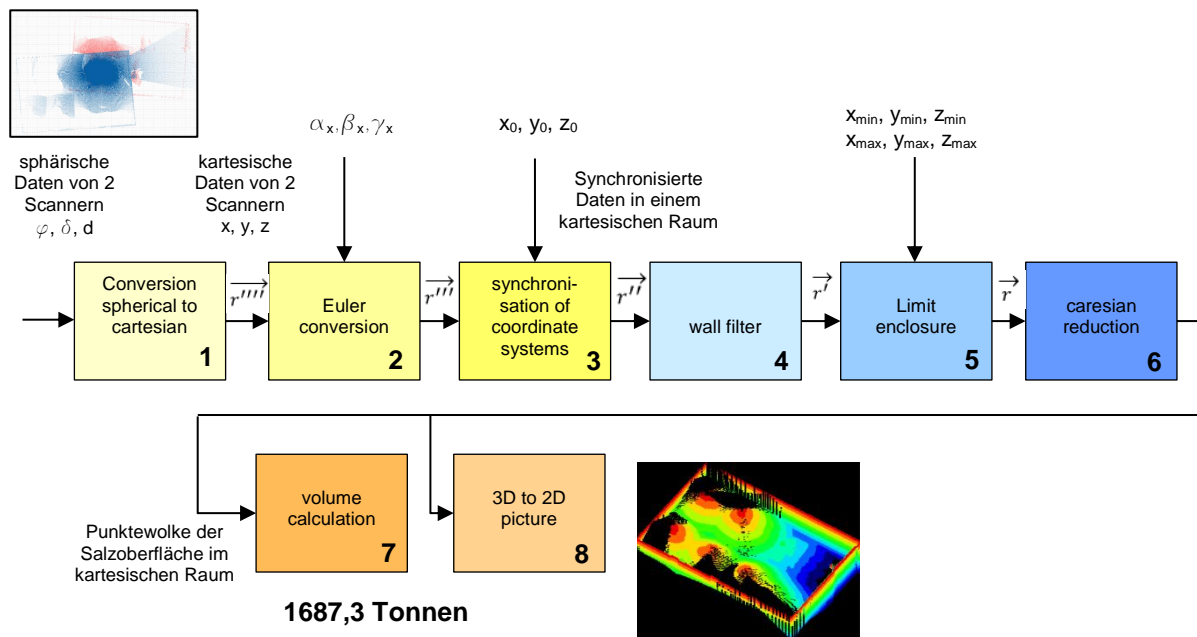


Abbildung 16: mathematische Realisierung der Volumsberechnung

Sämtliche Punkte werden über eine Matrizen-Transformation ins kartesische Koordinatensystem übertragen (Schritt 1 in Abbildung 16). Die Daten beziehen sich noch immer auf den Null-Punkt des Scanners.

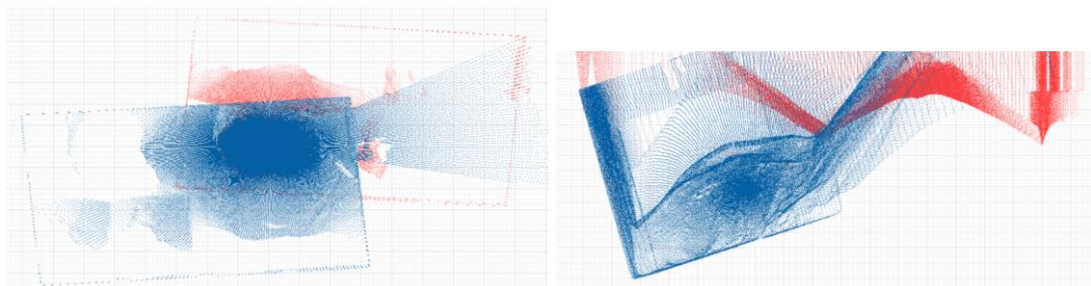


Abbildung 17: Punktwolke der beiden Scanner (rot, blau) nach Schritt 1

Die Raumlage der beiden Scanner unterscheidet sich in einer Verdrehung und einer Verschiebung. Im Schritt 2 „Euler Konversion“ wird die Punktwolke jedes Scanners in den Achsenwinkeln $(\alpha_x, \beta_x, \gamma_x)$ derart gedreht, sodass die beiden Punktwolken die gleiche

Orientierung besitzen. Gamma entspricht einer Drehung im Raum (gier), Alpha und Beta einer Kippbewegung nach vorne (nick) und zur Seite (roll)

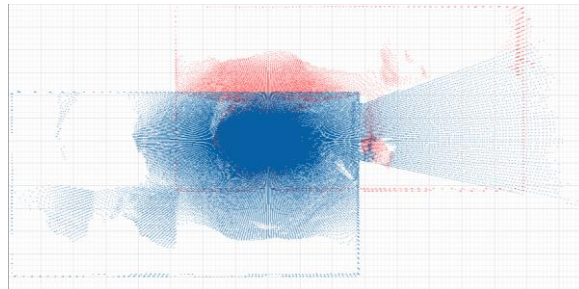


Abbildung 18: Euler Conversion: Punktwolke der beiden Scanner (rot, blau) nach Schritt 2

Im dritten Schritt findet die Synchronisation der beiden Koordinatensysteme statt. Das bedeutet, der Ursprungspunkt wird in x, y und z Richtung verschoben, sodass die beiden Systeme deckungsgleich werden.

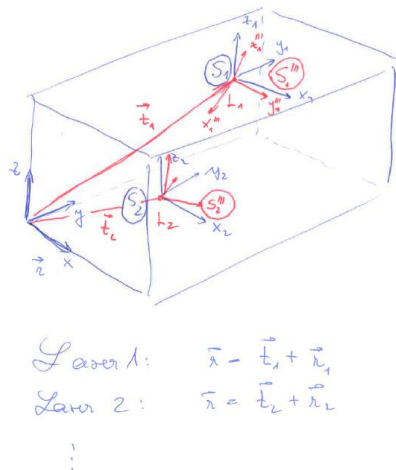


Abbildung 19: Synchronisation der beiden Koordinatensysteme

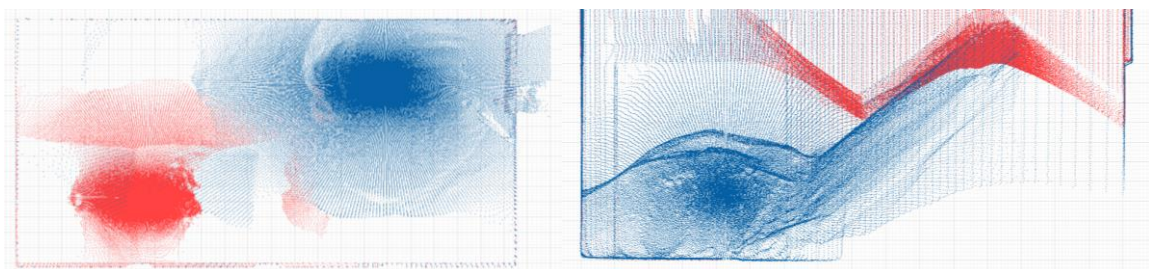


Abbildung 20: Synchronisierung: Punktwolke der beiden Scanner (rot, blau) nach Schritt 3

Die Punktwolke besteht nun aus circa 500.000 Datenpunkten. Zur Volumsberechnung und Visualisierung nicht benötigte Daten werden eliminiert. Im Schritt 4 „Wall Filter“ werden Punkte an der Wand der Halle gefiltert.

Im darauffolgenden Schritt 5 werden Datenpunkte außerhalb des Salzlagerbereichs entfernt. Dies sind

Datenpunkte, die oberhalb der Scanebene, sowie bei offenem Hallentor aufgenommen werden.

In Abbildung 20 kann man zwei Punkteanhäufungen erkennen. Durch die geringe Entfernung des Scanners zur Salzoberfläche, aber konstante Winkelabstände während der Messung ergeben sich sehr dichte Punkte.

Auf einer 1 Meter weit vom Scanner entfernten Fläche werden mehr als 100 Datenpunkte pro Quadratdezimeter gemessen. Diegt das gescannte Objekt jedoch 12 Meter entfernt, ist es nur mehr 1 Datenpunkt pro Quadratdezimeter.

Über den Schritt 6 „cartesian reduction“ werden sehr dicht aneinander liegende Punkte entfernt.

Nun liegen sämtliche Datenpunkte in einem einheitlichen, aufbereiteten Koordinatensystem bereit zur Volumsberechnung vor.

2.5 Volumsberechnung

Der Scanner misst den Abstand der Salzoberfläche zum Scanner. Deshalb kann das Volumen nur über einen Umweg berechnet werden. Es wird das Luftvolumen (Zwischenraum zwischen Scanner und Salzoberfläche) berechnet und vom bekannten Leervolumen der Halle subtrahiert. Das Ergebnis ist ein Volumen in Kubikmeter, das über einen parametrisierbaren Faktor in eine Masse umgerechnet wird.

Uns wurde seitens ASFINAG ein Faktor von 1,25 Tonnen/m³ für die Umrechnung genannt.

Eine Volumsberechnung direkt aus den sphärischen Daten ist sehr rechenintensiv. Es ist ein diskretes Dreifachintegral, in der sehr viele Winkelfunktionen zu rechnen sind, aufzulösen.

$$V_{\text{air}} = \iiint_{V_{\text{air}}} dV$$

$$= \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \int_0^R r^2 \sin\theta \, dr \, d\theta \, d\phi$$

$$= \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \left[\frac{1}{3} r^3 \right]_0^R \sin\theta \, d\theta \, d\phi$$

$$= \frac{1}{3} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} R^3 \sin\theta \, d\theta \, d\phi$$

$$dV = (r \sin\theta \, d\phi) (r \, d\theta) \, dr$$

Kugelförmig

FH JOANNEUM Grez
 Alte Poststraße 149, 8020 Graz
 Tel.: +43 (0)316 5453-0, Fax: +43 (0)316 5453-8801
 E-Mail: info@fh-joanneum.at, www.fh-joanneum.at

FH JOANNEUM Kapfenberg
 Werk-VI-Straße 46, 8605 Kapfenberg
 Tel.: +43 (0)3862 33600-8300, Fax: +43 (0)3862 33600-8377
 E-Mail: info@fh-joanneum.at, www.fh-joanneum.at

FH JOANNEUM Bad Gleichenberg
 Kaiser-Franz-Josef-Straße 418, 8344 Bad Gleichenberg
 Tel.: +43 (0)316 5453-6700, Fax: +43 (0)316 5453-6701
 E-Mail: info@fh-joanneum.at, www.fh-joanneum.at

Abbildung 21: Volumsberechnung

Für die Berechnung wird ein numerisches Verfahren verwendet. Um eine Punktwolke weiter zu verarbeiten, muss diese vorher in ein Drahtgittermodell umgewandelt werden. Ein übliches 3D-Modell besteht aus Eckpunkten, die Polygone, in unserem Fall Dreiecke, beschreiben. Sind die Eckpunkte und die zu den Dreiecken gehörenden Kanten erfasst, spricht man von einem Drahtgittermodell.

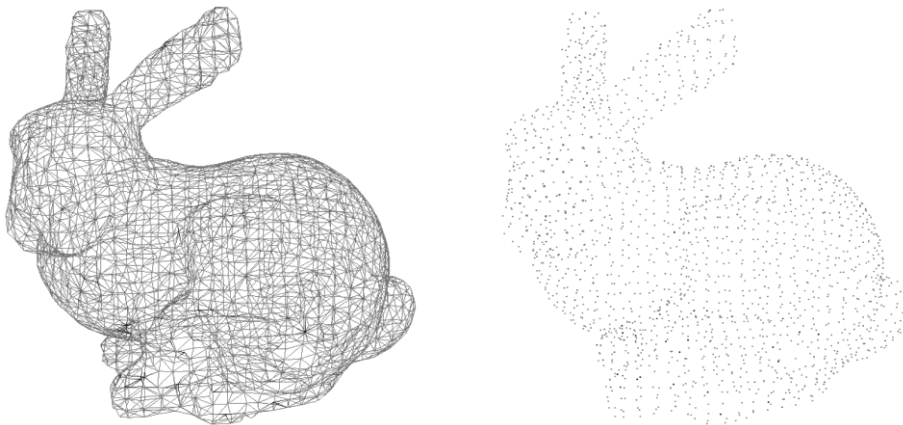


Abbildung 22: Das Stanford Bunny links als Drahtgittermodell und rechts als Punktwolke.

(<https://www.ianus-fdz.de/it-empfehlungen/node/180>, aufgerufen am 19.6.2018)

Es wird nun das Volumen über jedem Dreieck berechnet und aufsummiert.

2.6 Aufruf der Software im ASFAING Netz der ABM Alland

Die Software kann über folgende Adresse im Kommunikationsnetz der ABM Alland erreicht werden:

http://10.190.35.31:8000/Atlas_Main.html

Der Link muss in einem Internet Explorer aufgerufen werden. Gegebenenfalls gibt es für Google Chrome eine Erweiterung (IE-Tab), um Internet Explorer Seiten öffnen zu können.

Zusätzlich müssen einige Ports an der Firewall zwischen den ASFINAG Rechnern und dem Messsystem frei geschaltet sein. (IT Abteilung der ASFINAG)

Weiters muss auf den Rechnern der ASFINAG eine Software installiert sind, die ein NI Plugin für Internet Explorer installiert. Andernfalls können die Inhalte des Webinterfaces nicht angezeigt werden.

Downloadlink für die "LabVIEW Run-Time Engine 2015 - (32-bit)"

<http://www.ni.com/download/labview-run-time-engine-2015/5507/en/>

Achtung – unabhängig von Ihren Rechnern muss die 32-bit Version installiert werden.

2.7 Software

Die Software läuft auf dem cRIO Realtime Controller von National Instruments. Dies ist ein Embedded-Controller, an dem weder Monitor noch Tastatur angeschlossen sind. Die Visualisierung und Bedienung läuft über ein Webinterface des Controllers, das von den Rechnern der ASFIANG aufgerufen wird.

Die Software ist mit LabVIEW programmiert. Bei LabVIEW handelt es sich um eine grafische Entwicklungsumgebung, mit der man jeden Aspekt einer Anwendung visuell darstellen kann, darunter Hardwarekonfiguration, Messdaten und Fehlersuche. Die visuelle Darstellung erleichtert die Integration von jeder Messhardware, die Darstellung komplexer Logik auf dem Blockdiagramm, die Entwicklung von Algorithmen zur Datenanalyse sowie den Entwurf anwendungsspezifischer Benutzeroberflächen.

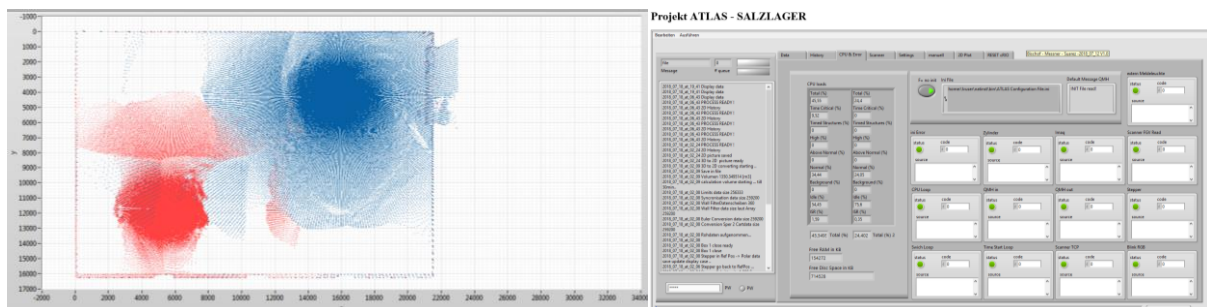


Abbildung 23: entwickelte Messsoftware – Programmiersprache NI LabVIEW

Nach Aufruf des Links http://10.190.35.31:8000/Atlas_Main.html im Internet Explorer erscheint die Hauptseite des User Interfaces.

Projekt ATLAS - SALZLAGER

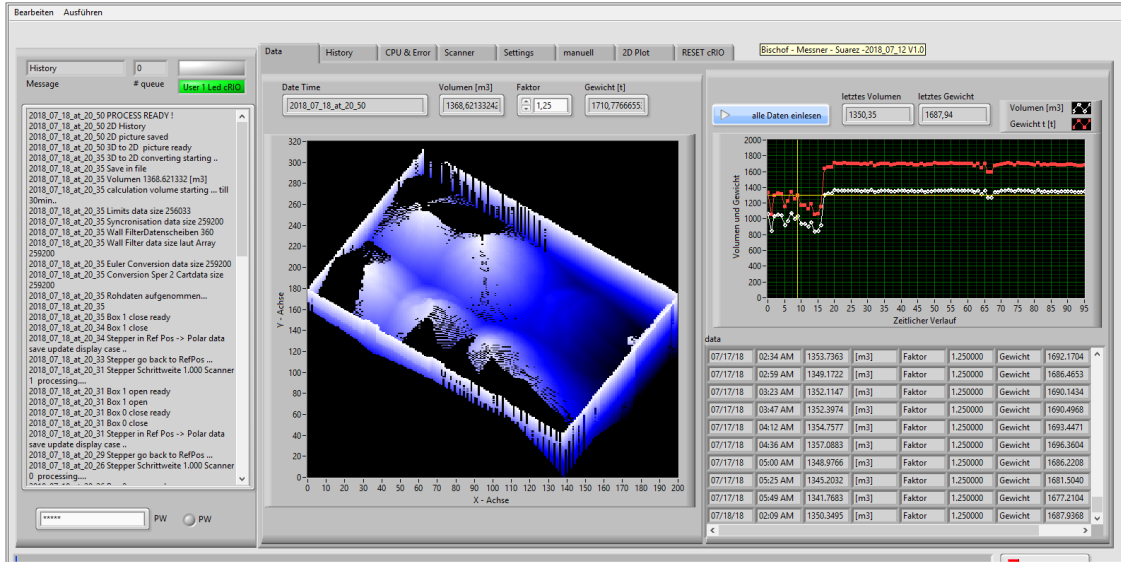


Abbildung 24: Webinterface: Hauptseite

Im linken Bereich ist ein Log über die letzten Aktivitäten zu sehen. In der Mitte die Visualisierung der letzten Messung. Darüber der Zeitstempel des letzten Scans, sowie das aktuelle Volumen und Masse des Salzes.

Im rechten Bereich sind alle bisherig durchgeführten Messungen gelistet. Gegebenenfalls muss der Button „alle Daten einlesen“ gedrückt werden, um die Daten zu aktualisieren.

Bereich „History“

Durch klicken auf einen Zeitstempelintrag im mittleren Bereich des Fensters und klicken auf „History“ wird das Bild des Scans in Falschfarbendarstellung angezeigt. Jede Farbschicht entspricht einem halben Meter Salzhöhe.

Durch Auswahl von „Einzelbild“ oder „Film“ können durch drücken des Buttons einzelne Bilder oder alle Bilder als Film angezeigt werden.

Projekt ATLAS - SALZLAGER

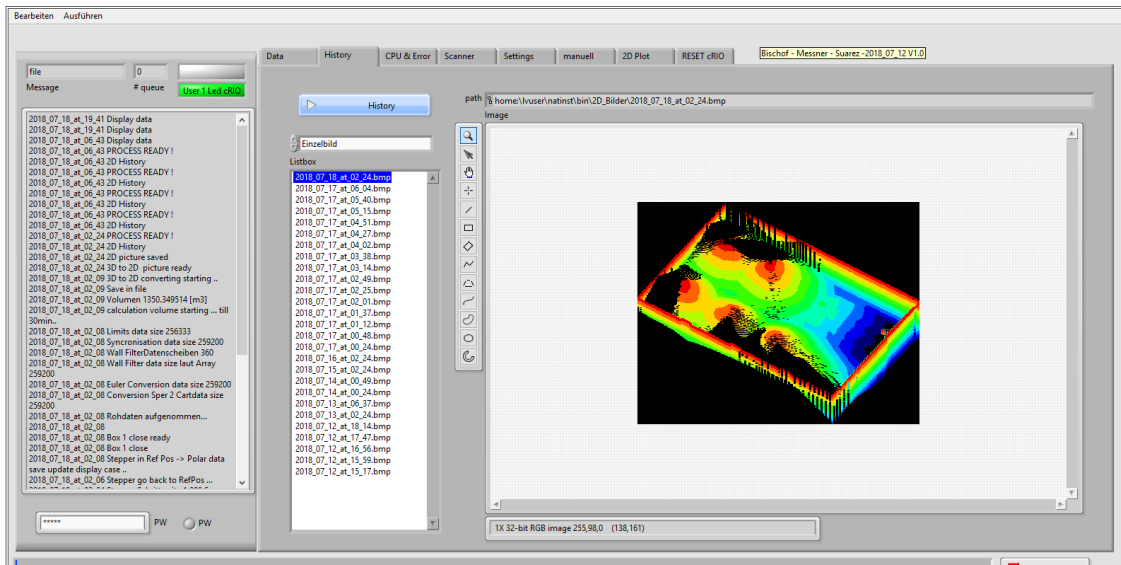


Abbildung 25: Webinterface: History

Bereich „CPU & Error“:

Hier werden zu Analysezwecken einige CPU Daten angezeigt, sowie der Zustand der einzelnen Prozesse. Die Lampen im rechten Bereich müssen alle grün erscheinen.

Projekt ATLAS - SALZLAGER

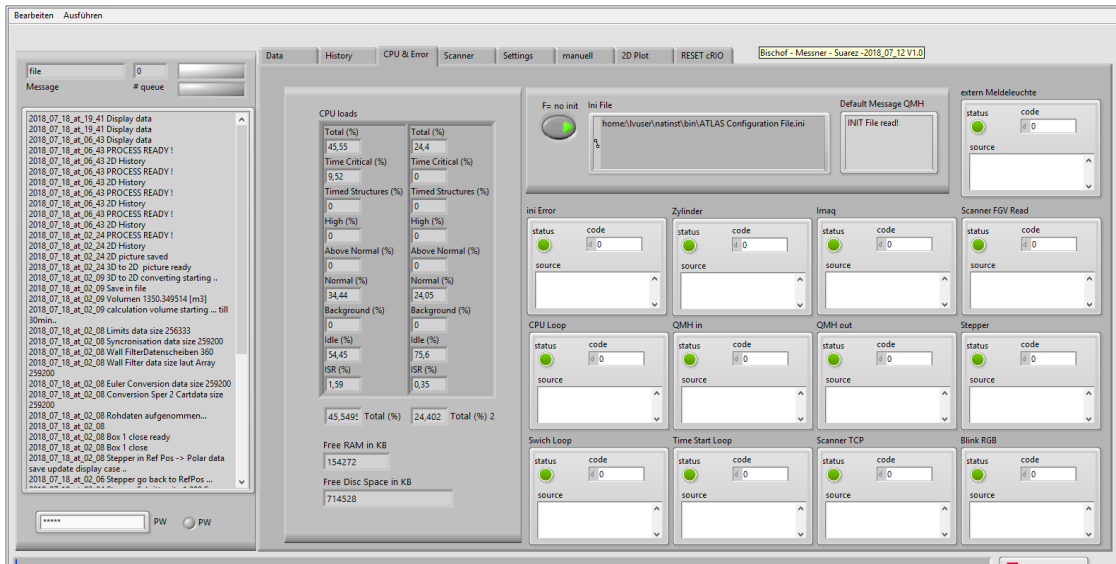


Abbildung 26: Webinterface: CPU & Error

Bereich „Scanner“:

Hier wird während der Messung das Scانبild angezeigt, sowie der Aktuelle Winkel der Drehung des Scanners.

Projekt ATLAS - SALZLAGER

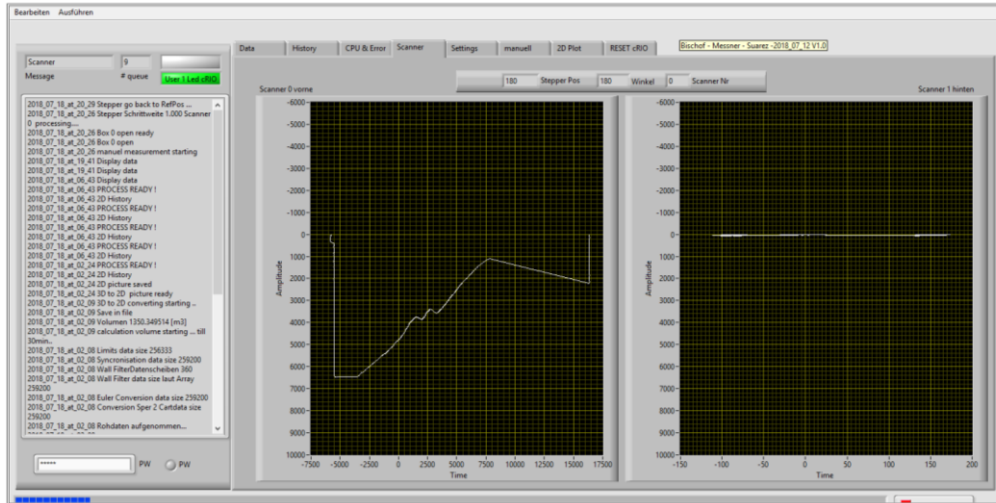


Abbildung 27: Webinterface: Scanner

Bereich Settings:

In diesem Bereich können Parameter eingestellt werden. Diese Felder dürfen nicht verändert werden, deshalb ist dieser Bereich geschützt.

Projekt ATLAS - SALZLAGER

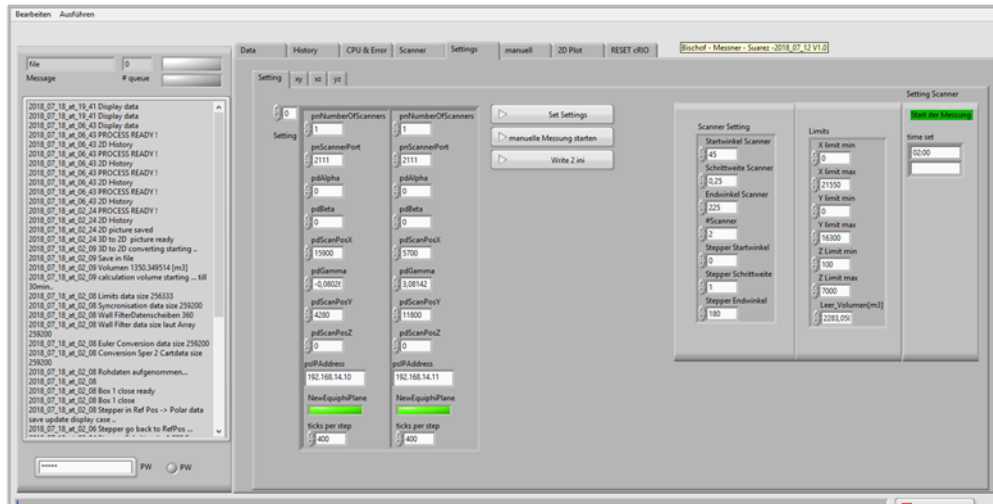


Abbildung 28: Webinterface: Settings

Die weiteren Bereiche dienen zur Analyse und Entwicklung.

2.8 Parameter und Abgleich der Scanner

Die beiden Scanner (in den Bildern rot und blau dargestellt) wurden aufeinander abgestimmt, damit sie die Daten deckungsgleich in dasselbe Koordinatensystem liefern. Die Scanner liefern in einem Scanvorgang an die 500.000 Datenpunkte im 3D Raum, die zu einem Volumen verrechnet werden.

Parameter können im Bereich „Settings“ der Software gesetzt werden.

- Parameter zur Euler Konversion und Synchronisierung der beiden Scanner
- Scanner Hardware Parameter
- Limits zur Entfernung der Datenpunkte außerhalb des Salzlagerebereichs
- Leervolumen der Halle

Projekt ATLAS - SALZLAGER



Abbildung 29: Bereich „Settings“ der Software

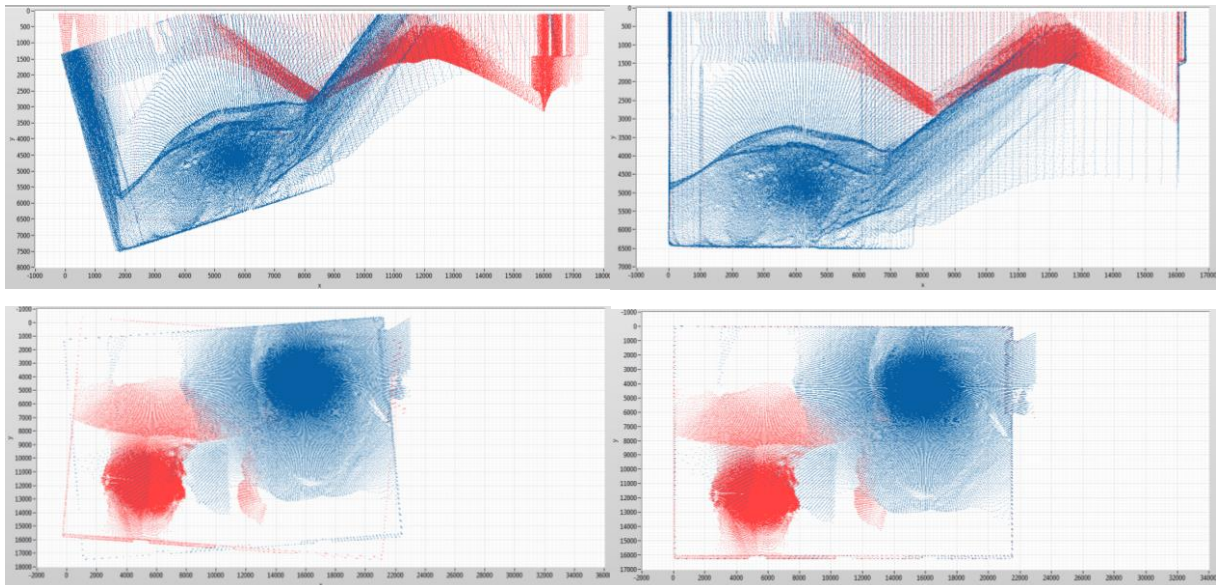


Abbildung 30: Punktwolken vor bzw. nach der Eulerkonversion und Synchronisierung der Daten

2.9 Messungen

Während der Wintermonate wurde immer wieder gemessen und die Lagerstände mit den Anlieferungen verglichen. Im Frühjahr wurden aufgrund der Messdaten Unstimmigkeiten entdeckt, weswegen die Ansteuereinheit des Präzisionsdreh­tischs getauscht wurde.

Am Tag der Installation wird bereits die erste Salzlief­erung eingeblasen. Das Salz kann über sieben Einblasrohre in die Halle eingebracht werden. In der Halle ergeben sich somit mehrere Schüttkegel, die einige Bereiche der Salzoberfläche durch die Beobach­ungsposition des Laserscanners abdecken (Verschattung). Dies führt zu einem Fehler in der Messung.



Abbildung 31: erste Salzanlieferung

Ab November 2017 wurden Lagerstandsmessungen durchgeführt und Optimierungen vorgenommen.

Diverse Anpassungen können über eine Fernwartung vorgenommen werden. Es wurde eine Zeitsteuerung implementiert, die täglich um 2:00 eine Messung startet.

Monatlich wurden Messdaten an die ABM Alland gemeldet

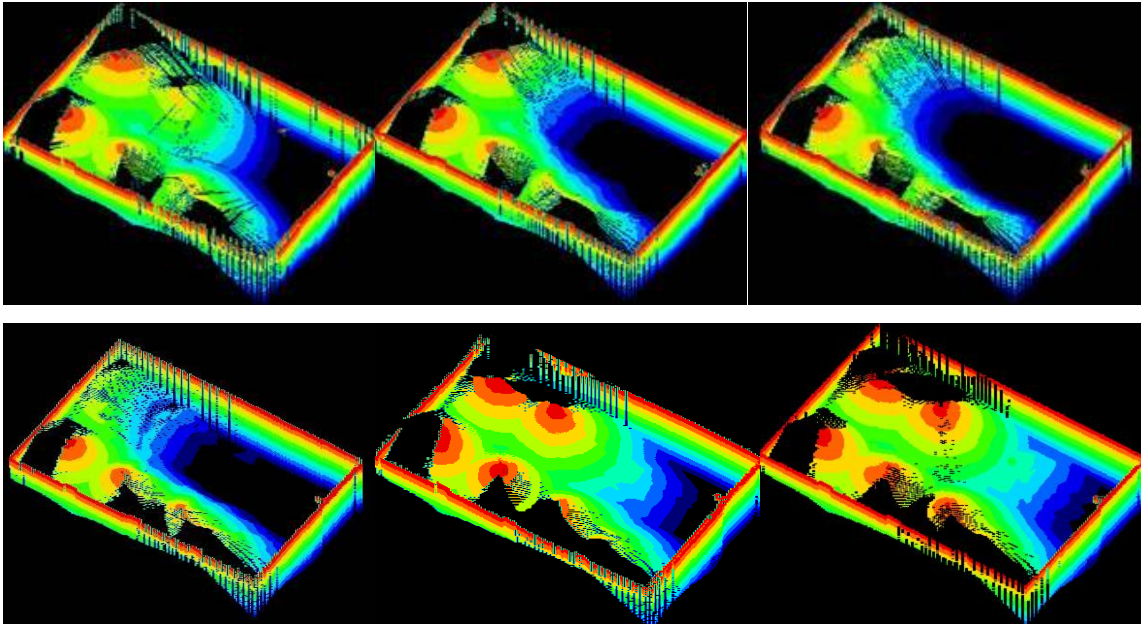


Abbildung 32: Oberflächenrelief der Salzhalle in monatlichem Abstand ab November 2017



Abbildung 33: Salzhalle aus Sicht der Kamera des Scansystems

In Abbildung 33 sieht man beide Scannereinheiten (links hinten und rechts vorne) mit geschlossenen Schutzklappen.

2.10 Resümee

Flexibles Scansystem für kleine und große Hallen

Das Konzept des Hallenmesssystems wurde flexibel für kleine wie große Hallen entworfen. Es können mehr als zwei Scannereinheiten integriert werden, um „nicht einsehbare Flächen“ (Verschattungen) zu minimieren.

Messabweichungen

Innerhalb einer Woche wurden 59 Messungen durchgeführt. Das System misst reproduzierbar mit einer Abweichung von +/- 1,3%.

Minimalwert: 1.674 Tonnen

Mittelwert: 1.692 Tonnen

Maximalwert: 1.732 Tonnen

Messfehler durch Verschattungen

Zusätzlich beinhaltet das errechnete Volumen einen Fehler aufgrund von Verschattungen durch die Salz Schüttkegel, der schwer zu beziffern ist. Die Bereiche der Verschattungen sind im Messbild als schwarze Flächen sichtbar. Rechnerische Korrekturen werden nicht durchgeführt.

Der im rechten Bild der Abbildung 34 dargestellte Bereich zwischen roter und blau strichlierter Linie wird als Volumen mitgemessen.

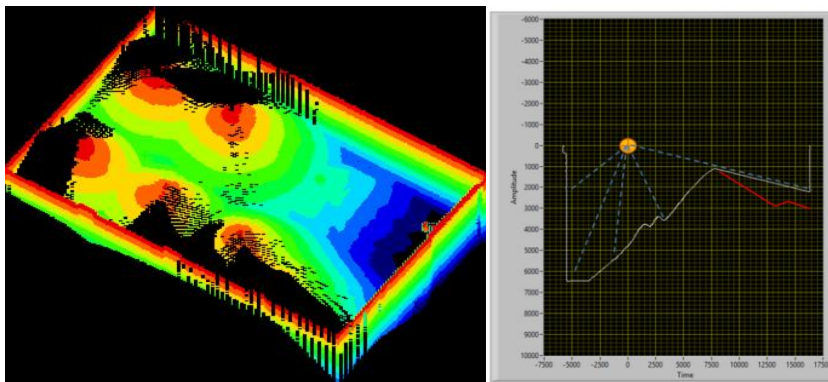


Abbildung 34: Messbild mit Verschattungen (schwarze Flächen)

Verbesserungspotentiale

Im Zuge des Projekts wurden Verbesserungspotentiale identifiziert, die die Rechenzeit reduzieren. Im Rahmen des Projekts wurde die ursprüngliche Scanzeit von einer knappen Stunde auf 24 Minuten reduziert, wobei ein großer Teil der Zeit die Errechnung des Messbildes einnimmt.

Scanzeiten zwischen 5 und 10 Minuten sind erreichbar.

Eine Verbreitung dieses Messsystems auf weitere Lagerhallen wäre aus unserer Sicht erstrebenswert, zumal dieses Scansystem im Verhältnis günstig herstellbar ist und flexibel konfigurierbar/einsetzbar ist. Den Mehrwert eines ständig aktuellen Lagerbestands schätzen wir hoch ein. Das System (Hard- und Software) sollte jedoch überarbeitet werden, um weitere Vorteile erwirken zu können.

Verbesserungsvorschläge:

- Adaptierung der Topologie, wodurch das Scansystem schneller scannen könnte
- Einsatz einer anderen zentralen Rechner-Hardware (nochmals schnellere Messung möglich, sowie flexiblere Möglichkeiten des Userinterfaces und der Datenanbindung)
- Adaptierung der Software – tatsächlich konfigurierbare Anzahl an Scannern (zur Zeit ist das System auf zwei Scanner ausgelegt)
- User Interface etwas komfortabler gestalten

3 EVALUIERUNG SALZSILO

Die ASFINAG setzt derzeit eine Vielzahl an verschiedenen Silomesssystemen ein, die mehr oder weniger zufriedenstellend funktionieren. Ein einheitliches ideales Messsystem für Silos gibt es nicht, da die Anforderungen an das Messsystem bei verschiedenen Silobauformen, neuen Silos (mit bereits bestehendem Messsystem) oder älteren Silomodellen unterschiedlich sind. Die Vor- und Nachteile der bestehenden Systeme sind bekannt.

Aufgrund des erhöhten Aufwands im Projektabschnitt „Hallenmesssystem“ (Änderung des Systemkonzepts, Anpassungen an die Salzhalle ABM Alland) wurde dieser Projekt Teilinhalt einvernehmlich abgeändert. Statt der Ausarbeitung einer Entscheidungsgrundlage für die Ausrüstung der ASFINAG Silostandorte auf Basis der bestehenden Erfahrungen und Messsysteme wurde ein weiteres Messsystem auf Basis eines Lasers testweise implementiert. Dieses Testmesssystem wurde in einem Silo der ABM Raaba installiert. Ein derartiges Lasermesssystem hat die ASFINAG bisher noch nicht erprobt. Die Messungen während des Winters 2017/18 vermittelten den Eindruck eines stabilen Systems. Derselbe Silo verfügt auch über ein vom Silohersteller mitgeliefertes Wiegesystem auf Basis von Druckaufnehmern in den Säulen. Ein Vergleich der Daten aus beiden Messsystemen wäre sehr interessant. Bisher wurden uns die Messdaten des bestehenden Systems leider nicht zur Verfügung gestellt. Die Nachrüstung dieses Lasermesssystems kann aus unserer Sicht aus mehreren Gründen empfohlen werden.

3.1 Installation einer Lasermessanlage zu Vergleichszwecken

Im Dezember 2017 wird zu Vergleichszwecken ein bis dato von der ASFAING noch nicht eingesetztes Messverfahren für Salzsilos aufgebaut. Durch den Projektleiter der ASFINAG wird ein Kontakt zur ABM Raaba hergestellt. Dieser Standort bietet sich aufgrund der Entfernung zur FH JOANNEUM an.



Abbildung 35: Silo 3 und Silo4 der ABM Raaba bei Graz

Diese Silos wurden 2017 errichtet und verfügen bereits über ein Salzmesssystem auf Basis von Druckaufnehmern in den Beinen des Silos, das zu Vergleichszwecken Daten für unser Laser-Messsystem liefern kann.



Abbildung 36: bestehendes Messsystem: Druckaufnehmer

Der von uns eingesetzte LLT100 Laser Scanner von ABB ist vergleichsweise einfach in die Silo zu integrieren, indem er in den Revisionsdeckel am Dach eingesetzt wird. Er wird über eine einzige Leitung angeschlossen, die gleichzeitig zur Versorgung des Systems und zur Kommunikation dient. Optische Systeme sind zwar grundsätzlich in rauen Umgebungen (Staub, korrosives Salz) zu vermeiden, dies ist aber durch die geeignete Bauform des Scanners in den Griff zu bekommen. Von der Linse abwärts befindet sich ein Rohr mit einer Länge von 400mm, das in Edelstahl sowie in Kunststoffausführung erhältlich ist. Während des Einblasens von Salz entwickelt sich ein dichter „Salznebel“, der aber nicht durch das Rohr aufwärts bis zur Linse steigen kann.



Abbildung 37: LLT100 - Laser Level Transmitters von ABB



Abbildung 38: Einbau des LLT100 Scanners am Silodach

Der LLT100 misst mit einem 1D Laser den Abstand der Salzoberfläche zum Messsystem. Die gemessene Höhe wird in ein Volumen umgerechnet. Hierzu kann eine Tabelle zur Umrechnung der Höhe in ein Volumen parametrisiert werden.

Punkt	Messentfernung	Füllhöhe	Volumen
	m	m	m ³
		19,23	
20	0,76	18,47	642,39
19	13,26	5,97	93,63
18	13,59	5,64	79,81
17	13,92	5,31	67,42
16	14,26	4,98	56,39
15	14,59	4,64	46,62
14	14,92	4,31	38,06
13	15,25	3,98	30,61
12	15,58	3,65	24,21
11	15,91	3,32	18,76
10	16,25	2,99	14,20
9	16,58	2,65	10,44
8	16,91	2,32	7,42
7	17,24	1,99	5,04
6	17,57	1,66	3,23
5	17,90	1,33	1,91
4	18,24	1,00	1,01
3	18,57	0,66	0,44
2	18,90	0,33	0,13
1	19,23	0,00	0,00

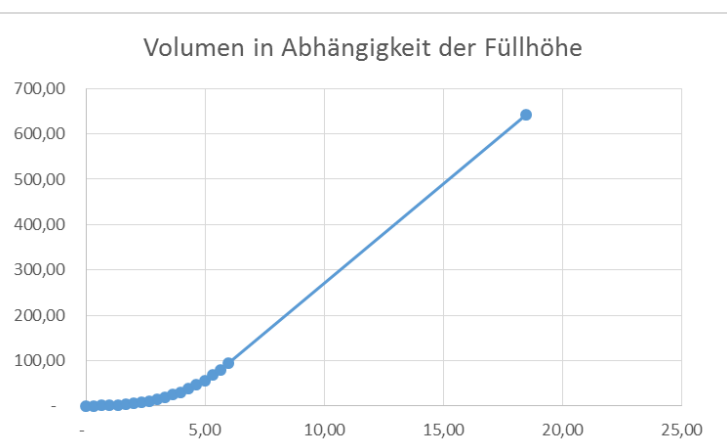


Abbildung 39: Umrechnungstabelle zwischen gemessener Höhe und Volumen

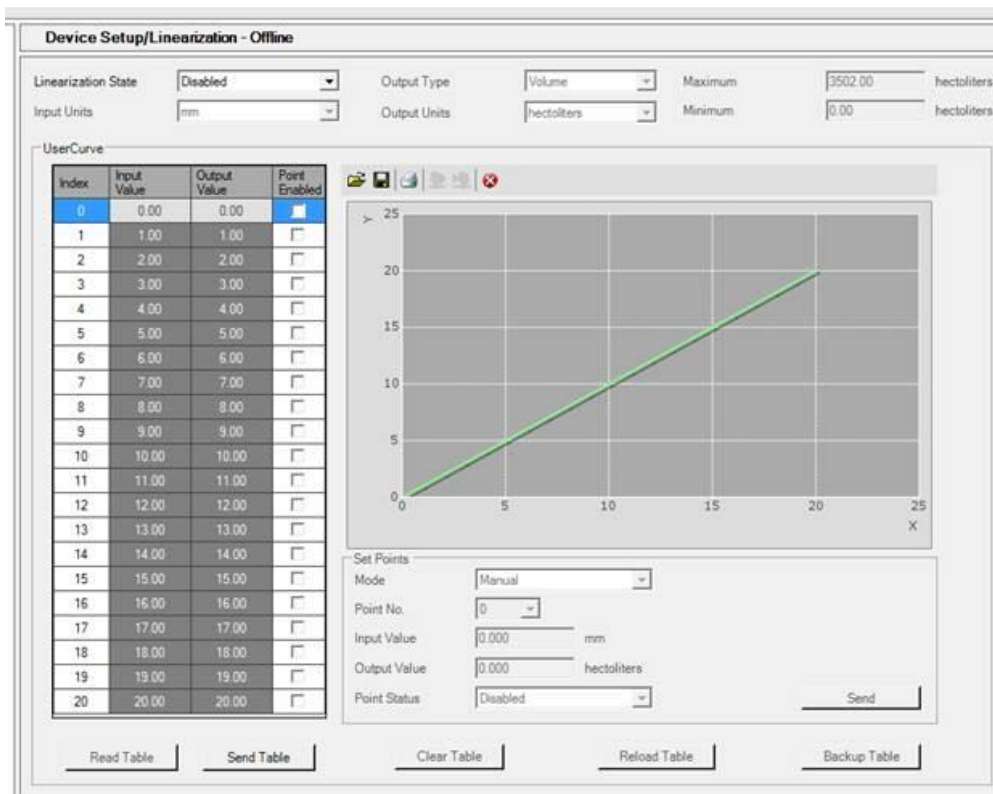


Abbildung 40: Device Setup des Schreibers

Im Device Setup des Schreibers können bis zu 20 Umrechnungspunkte eingegeben werden.

Eine Kontrolle nach einigen Monaten im Silo zeigt eine nach wie vor saubere Linse, allerdings ein vom Salz geringfügig angegriffenes Metallrohr, weshalb von ABB ein Kunststoffrohr empfohlen wird.

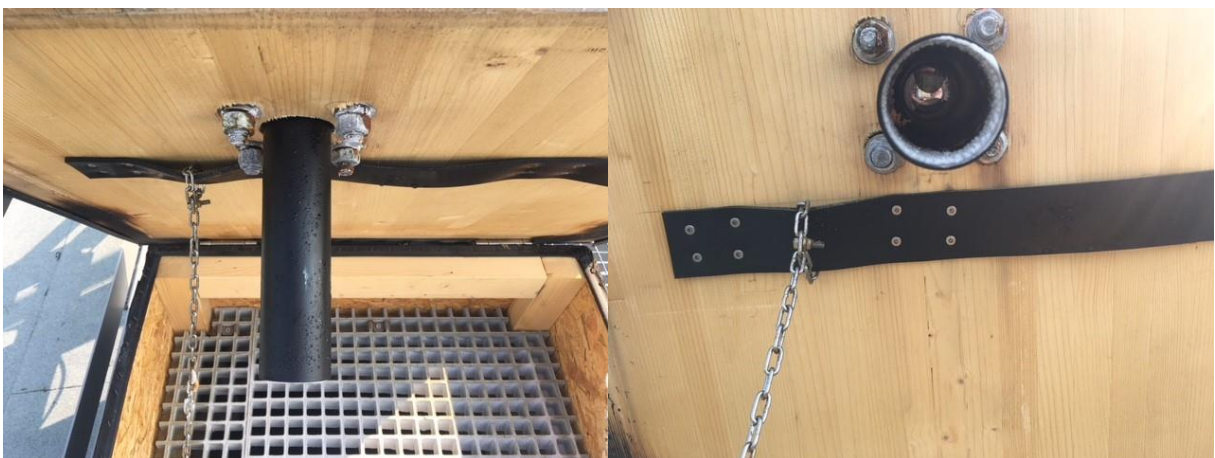


Abbildung 41: In den Deckel des Silo 3 eingesetzter LLT100 Scanner, Salzbeschlag nach

mehreren Monaten Betrieb im Silo

Der Scanner lieferte bis auf einige Tage bei unter minus 10°C lückenlos plausible Werte. Die Ausfälle sind auf das etwas ältere Auslesegerät zurückzuführen, das nicht für diesen Temperaturbereich spezifiziert ist. Neuere Auslesegeräte halten diesen (und noch tieferen) Temperaturen stand und bieten mehr Kommunikationsmöglichkeiten nach außen.

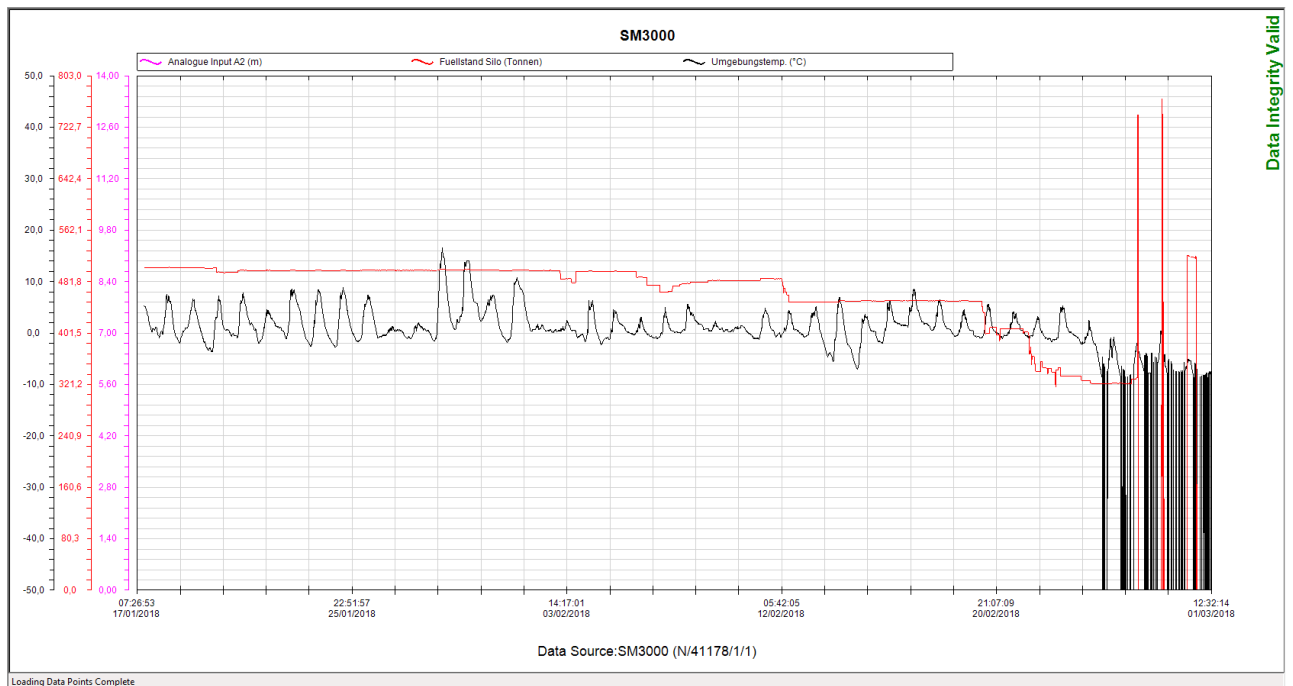


Abbildung 42: Daten (Temperatur und Füllstand) des LLT Scanners im Silo3 der ABM Raaba vom 17.1.2018 bis 1.3. 2018

3.2 Konfigurationsbeispiele für Salzsilo-Füllstandsmessung

Füllstandsmessung: Berührungslose Füllstandsmessung

Typ: ABB LLT 100

Der LLT 100 ist ein leistungsstarker, augensicherer Laser-Messumformer zur präzisen Messung von Füllstand, auch unter extremen Einsatzbedingungen.

Die Vorteile der Lasermessung auf einen Blick:

- Berührungslose Messung von Feststoffen und Flüssigkeiten
- Messung von Materialien unabhängig von der Farbe
- Einbau in jeder Lage möglich (z.B. durch Schrägeinbau auch Korrektur vom Schüttkegel möglich)
- Niedrige Erhaltungskosten (sehr geringer Energieverbrauch durch Zweileitertechnik)
- Keine Instandhaltungskosten
- Keine Nachkalibrierungen notwendig
- Beheizte Linse um Beschlag zu verhindern
- Einsetzbar in allen Silo Typen (Material und Bauform spielen keine Rolle – punktuelle Messung)
- Automatisches Ausblenden der Fehlmessung während Befüllung
- Direkte Umrechnung vom Füllstand in Volumen oder Gewicht möglich

- a) **Installation als Zweileitergerät:** direkte Anbindung an vorhandenes Leitsystem über 4 bis 20 mA Schleife

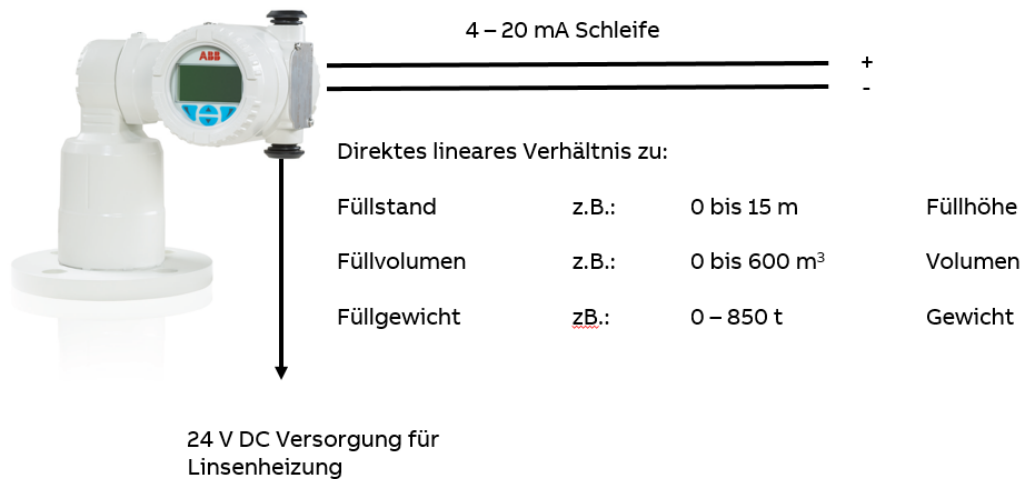


Abbildung 43: ABB LLT100 – Anschluss als Zweileitergerät

- b) **Installation mit Anzeigegerät:** Anbindung über einer Vor-Ort Anzeige mit vorhandener Ethernet Schnittstelle.

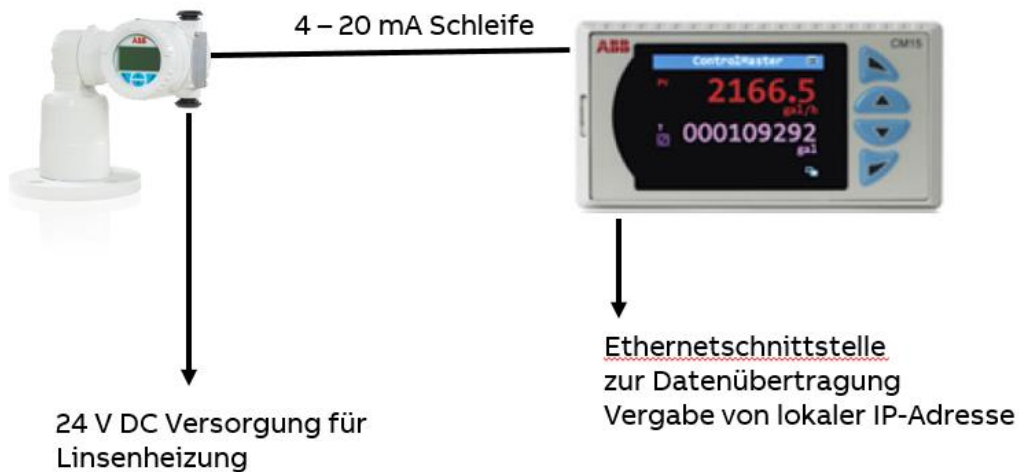


Abbildung 44: ABB LLT100 – Anschluss mit Anzeigegerät

Vorteil:

Lokale Anzeige im Bodenbereich. Gerät besitzt zur Datenübertragung eine Ethernet Schnittstelle.

- c) **Installation mit Multi-Anzeigegerät:** Anbindung über einer Vor-Ort Anzeige/Aufzeichnung mit vorhandener Ethernet Schnittstelle. Anschluss mehrerer Sensoren möglich (z.B. 4 Silos an einer Stelle).

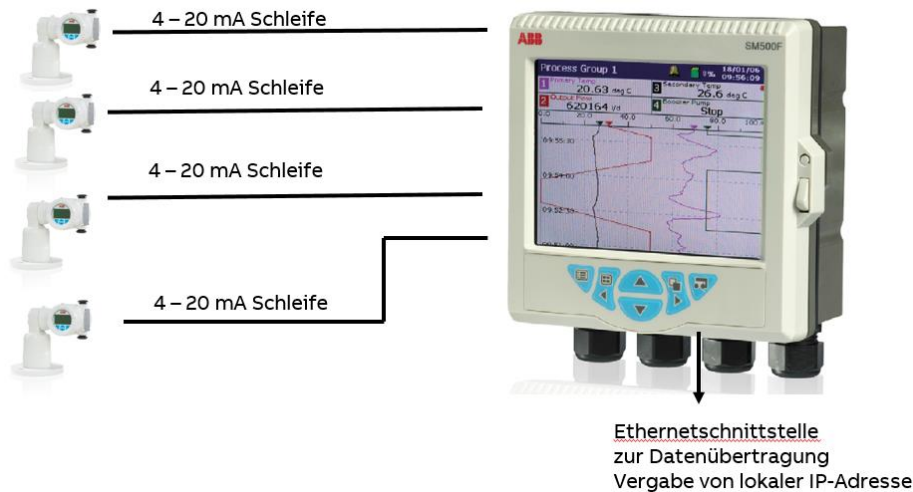


Abbildung 45: ABB LLT100 – Anschluss mit Multi-Anzeigegerät

Vorteil:

Lokale Anzeige im Bodenbereich. Gerät besitzt auch internen Speicher zur Datenaufzeichnung.

Möglichkeit mehrere Sensoren zur an eine Anzeigeeinheit anzuschließen.

3.3 Resümee

Ein Messsystem auf Basis des LLT100 Laserscanners ist sehr einfach in bestehende Silos nachzurüsten. Der Scanner verfügt über ein Staubrohr, der vor Verschmutzung schützt.

Im Vergleich zu anderen elektronischen Messsystemen ist dieses System sehr günstig. Die Messelektronik kann durch verschiedene Schnittstellen an Datenbanksysteme angekoppelt werden.

4 ABILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Symbolfotos ABM St.Pölten – Sicht aus einer fixen Beobachtungsposition	8
Abbildung 2: Topologie der Messanlage	9
Abbildung 3: 2D Laser Scanner – Sick LMS151 und Sichtfeld des Lasers	10
Abbildung 4: 2D Bild des Laser Scanners	10
Abbildung 5: 2D Scannerbild mit Verschattung	11
Abbildung 6: 3D Punktwolke eines Scanners in Draufsicht (x/y).....	11
Abbildung 7: Präzisionsdrehtisch mit Schrittmotor und zugehörigem Schrittmotortreiber	12
Abbildung 8: Verbindungsübersicht zentrale Steuerung und Scannerbox	13
Abbildung 9: NI cRIO 9064 und NI 9375 IO Modul.....	14
Abbildung 10:Salznebel nach dem Einblasen von Salz.....	14
Abbildung 11: CAD Pläne und Renderings der mechanischen Konstruktionen	15
Abbildung 12: Bildsequenz: Scansystem wird durch einen Edelstahldeckel vom Salz geschützt	16
Abbildung 13: Montage der Hallenmessanlage	17
Abbildung 14: zentrale Steuerung im Schaltschrank, Montage an der Hallenwand	17
Abbildung 15: Messsystem an der Hallenkonstruktion montiert	18
Abbildung 16: mathematische Realisierung der Volumsberechnung.....	19
Abbildung 17: Punktwolke der beiden Scanner (rot, blau) nach Schritt 1	19
Abbildung 18: Euler Conversion: Punktwolke der beiden Scanner (rot, blau) nach Schritt 2 ...	20
Abbildung 19: Synchronisation der beiden Koordinatensysteme.....	20
Abbildung 20: Synchronisierung: Punktwolke der beiden Scanner (rot, blau) nach Schritt 3 ...	20
Abbildung 21: Volumsberechnung	21
Abbildung 22: Das Stanford Bunny links als Drahtgittermodell und rechts als Punktwolke.....	22
Abbildung 23: entwickelte Messsoftware – Programmiersprache NI LabVIEW	23
Abbildung 24: Webinterface: Hauptseite	24
Abbildung 25: Webinterface: History	25
Abbildung 26: Webinterface: CPU & Error	26
Abbildung 27: Webinterface: Scanner	27
Abbildung 28: Webinterface: Settings	28
Abbildung 29: Bereich „Settings“ der Software.....	29
Abbildung 30: Punktwolken vor bzw. nach der Eulerkonversion und Synchronisierung der Daten	29
Abbildung 31: erste Salzanlieferung.....	30

Abbildung 32: Oberflächenrelief der Salzhalle in monatlichem Abstand ab November 2017	31
Abbildung 33: Salzhalle aus Sicht der Kamera des Scansystems	31
Abbildung 34: Messbild mit Verschattungen (schwarze Flächen)	32
Abbildung 35: Silo 3 und Silo4 der ABM Raaba bei Graz	35
Abbildung 36: bestehendes Messsystem: Druckaufnehmer	35
Abbildung 37: LLT100 - Laser Level Transmitters von ABB	36
Abbildung 38: Einbau des LLT100 Scanners am Silodach	37
Abbildung 39: Umrechnungstabelle zwischen gemessener Höhe und Volumen	37
Abbildung 40: Device Setup des Schreibers	38
Abbildung 41: In den Deckel des Silo 3 eingesetzter LLT100 Scanner, Salzbeschlag nach mehreren Monaten Betrieb im Silo	38
Abbildung 42: Daten (Temperatur und Füllstand) des LLT Scanners im Silo3 der ABM Raaba vom 17.1.2018 bis 1.3. 2018	39
Abbildung 43: ABB LLT100 – Anschluss als Zweileitergerät	41
Abbildung 44: ABB LLT100 – Anschluss mit Anzeigegerät	41
Abbildung 45: ABB LLT100 – Anschluss mit Multi-Anzeigegerät	42