



K+S

K+S Minerals and Agriculture GmbH

13. Jenaer GeoMessdiskurs 2023

Sensorsysteme in der Praxis

„Einsatz vermessungstechnischer Systeme im
Rahmen des Haldenmonitorings“



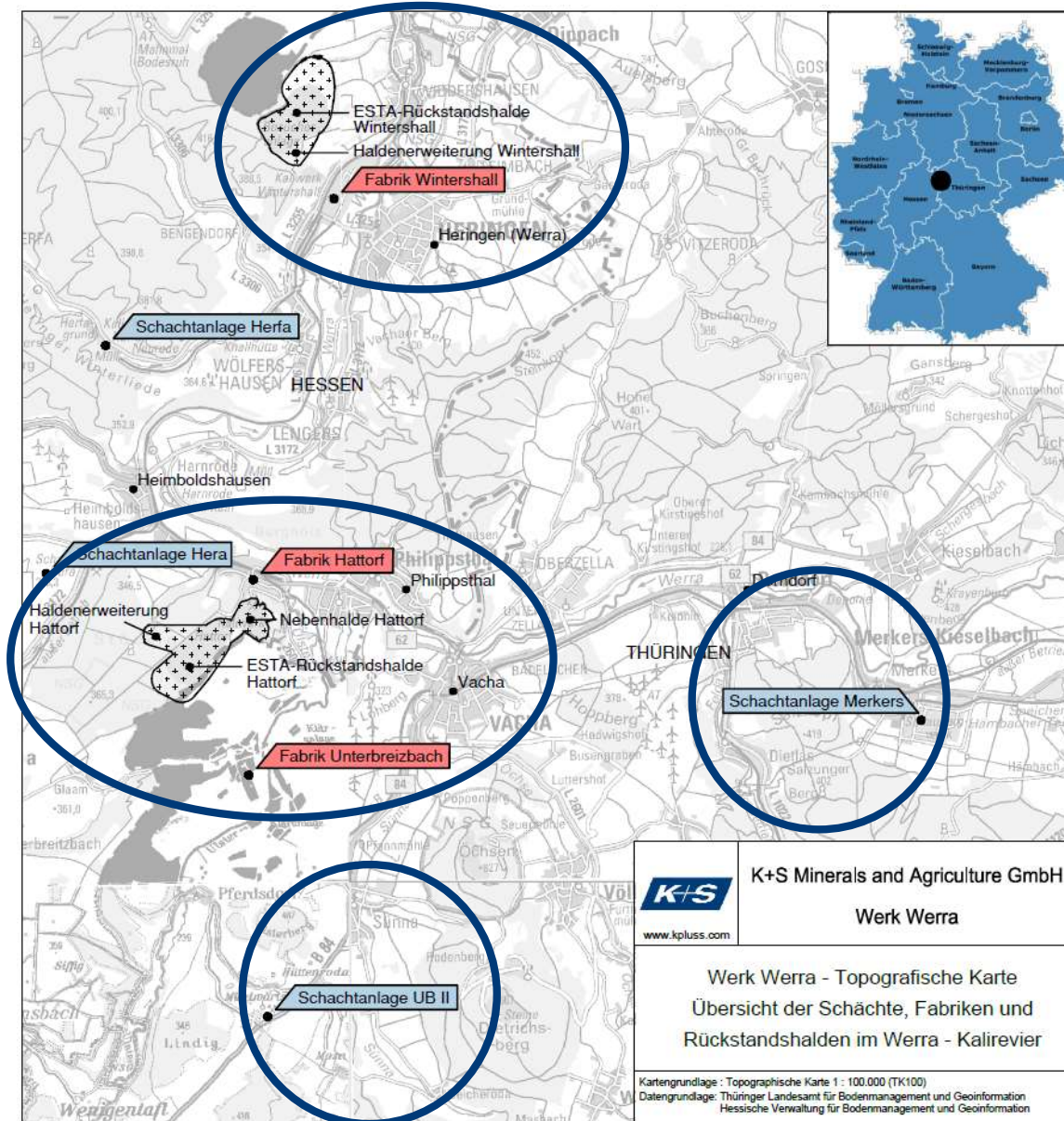
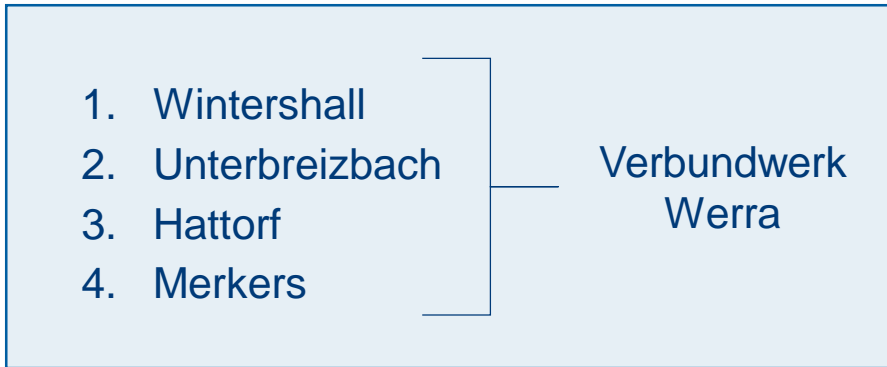
Die K+S Gruppe

- international ausgerichtetes Rohstoffunternehmen
- 50 Produktions- und Vertriebsstandorte auf fünf Kontinenten
- weltweit circa 11.000 Mitarbeiter: innen in mehr als 15 Berufsfeldern
- Förderung von Kali-, Salz- und Magnesiumprodukten



Das Werk Werra

- Entstehung 1997 aus Zusammenschluss hessischer und thüringischer Kaliwerke
- circa 4.400 Mitarbeiter
- größtes Kaliwerk Europas



Messgebiet Rückstandshalde Hattorf

Bestandshalde
ca. 150 ha



Haldenerweiterung
Phase 1: ca. 27 ha
Phase 2: ca. 11 ha



Nebenhalde +
Althaldenbereiche



The logo for K+S, consisting of the letters 'K+S' in a bold, white, sans-serif font on a dark blue background.

Haldenmonitoring - Programm

Anforderungen

- nach geltenden Vorschriften
 - des *Bundesberggesetzes* „Sicherheit gewährleisten“
 - der *Markscheider-Bergverordnung* „Monitoring“
 - der *Bundesbergverordnung* „Entsorgung, Umwelt“



Beobachtungsstrategien

- punktuelle Beobachtung mittels online GNSS-Permanentmessstationen
- flächige Überwachung des Haldenkörpers (mittels Terrestrischem Laserscanner Riegl VZ-2000i)
- Inklinometermessungen zur Bestimmung von Bodenbewegungen im Untergrund
- diverse Messlinien
- Nebenhalde sowie Althaldenbereiche noch kein vollumfängliches Konzept etabliert



Haldenmonitoring - Programm



Technik und Instrumentarium

Terrestrischer Laserscanner

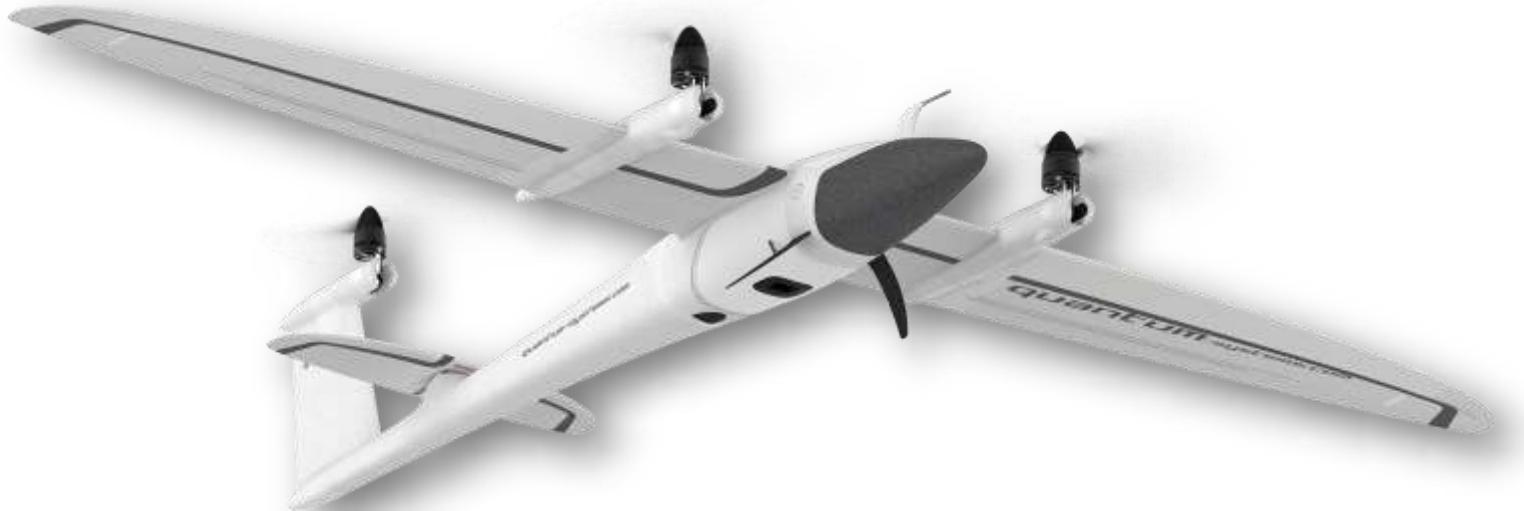
- Riegl Laser Measurement Systems GmbH
- Riegl VZ-2000i
 - Impulslaufzeitverfahren
 - Maximale Zielweite von bis zu 2.500 m
 - Äußere Genauigkeit 5 mm
 - Präzision 3 mm



Technik und Instrumentarium

UAS Trinity F90+

- Entwickler: Quantum Systems GmbH
- Gewicht: 5.0 kg
- Flugzeit: 90 Minuten
- Vertical Take-off and Landing (eVTOL)
- Multiband-GNSS-Modul





Technik und Instrumentarium

Sensoren Trinity F90+



Sony RX1 RII

RGB Kamera

GSD: 1.29 cm/pix @ 100m AGL

MicaSense Altum PT

Multispektralkamera

GSD: 5,28 cm/pix @ 100m AGL (MS)

33,5 cm/pix @ 120m AGL (T)

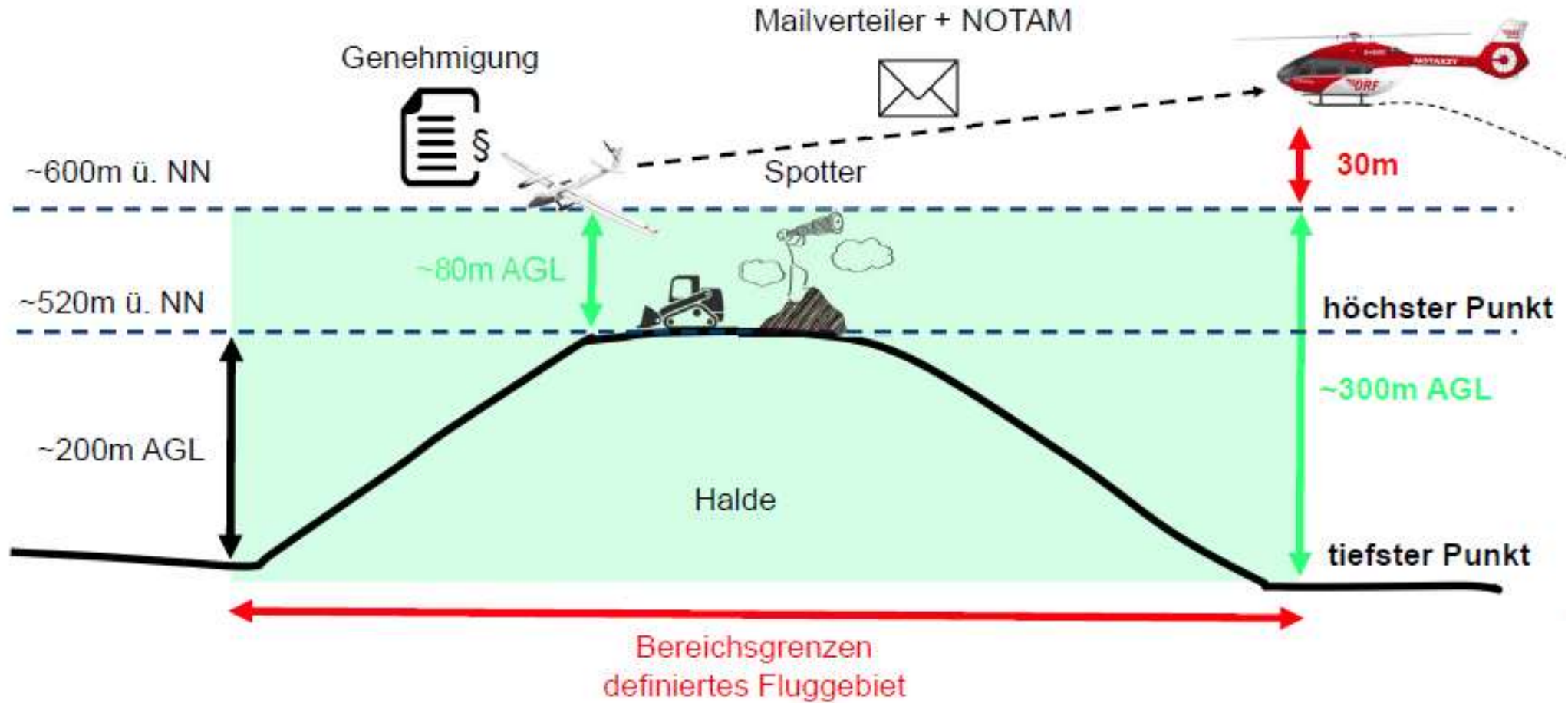


Qube 240

LiDAR-Scanner

50-100 Pkt. @ 100m AGL

Exkurs: Verfahrensweise Betriebsgenehmigung



Datenaufnahme Rückstandshalde Hattorf

- Kamera: Sony RX1 RII
- Flugzeit: 1 h 45 min
- Flughöhe: 80 m ü. Haldentop
- Fotos: 1.998
- Bodenauflösung: 2,48 cm/pix
- Deckungsbereich: 322 ha



Ergebnis der Datenaufnahme



- Reprojektionsfehler: 0,401 pix (1 cm)
- Anzahl Passpunkte: 33
- RMSE Passpunkte: 2 cm
- Prozessierungsdauer: 31,5 h



K+S Minerals and Agriculture GmbH
Werk Werra - Standort Hattorf
Rückstandshalde Hattorf - Gesamtaufnahme
Stand: 21.03.2023 14:00

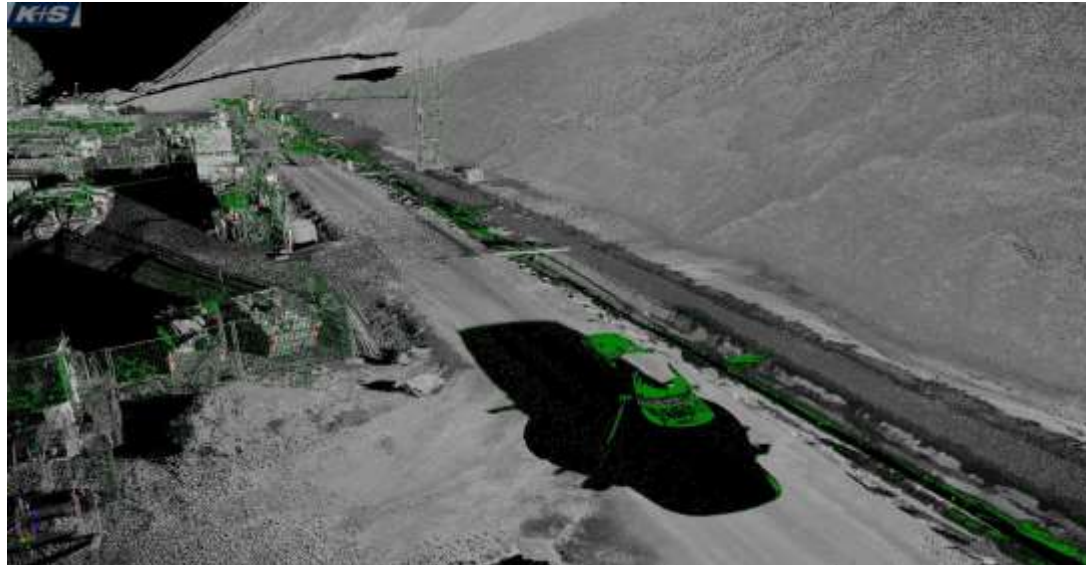
Betrachtung einzelner Teilbereiche

- Untersuchung Regionen in einem 1x1 m Raster
- UAV: gleichbleibende Punktdichte von 100 Punkten pro m²
- Scan: mit größerer Entfernung geringere Punktdichte

Bereich	Flughöhe	Bodenauflösung (GSD)
Haldentop (510 m NN) Bestandshalde	80 m AGL	1 cm/pix
Haldenrandweg (340 m NN) Bestandshalde	250 m AGL	2,2 cm/pix
Haldentop (440 m NN) Neuhalde	80 m AGL	1 cm/pix
Haldenrandweg (320 m NN) Neuhalde	200 m AGL	1,7 cm/pix

Vergleich Punktwolken aus Scan und UAV

Referenzobjekt: 230321_Scan



Vergleichsobjekt: 230321_UAV

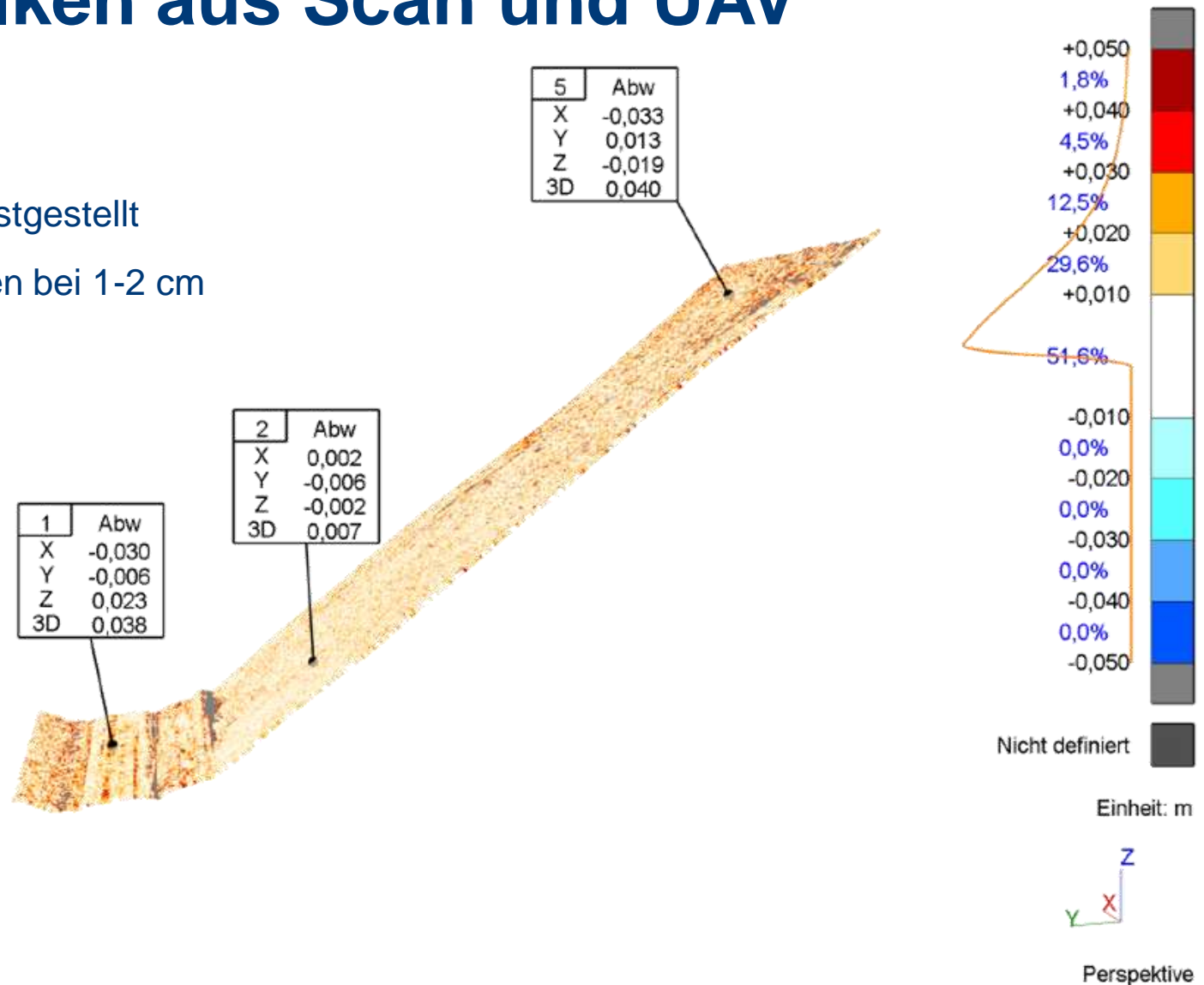


Vergleich Punktwolken aus Scan und UAV

- Testregion Haldenflanke
- Maximale Abweichungen von 5 cm festgestellt
- Durchschnittliche Abweichungen liegen bei 1-2 cm

Referenzobjekt: 230321_Scan

Vergleichsobjekt: 230321_UAV



Vor- und Nachteile TLS und UAV

– allgemein beide Verfahren schnelle, flächenhafte und automatisierte Erfassung

Terrestrisches Laserscanning

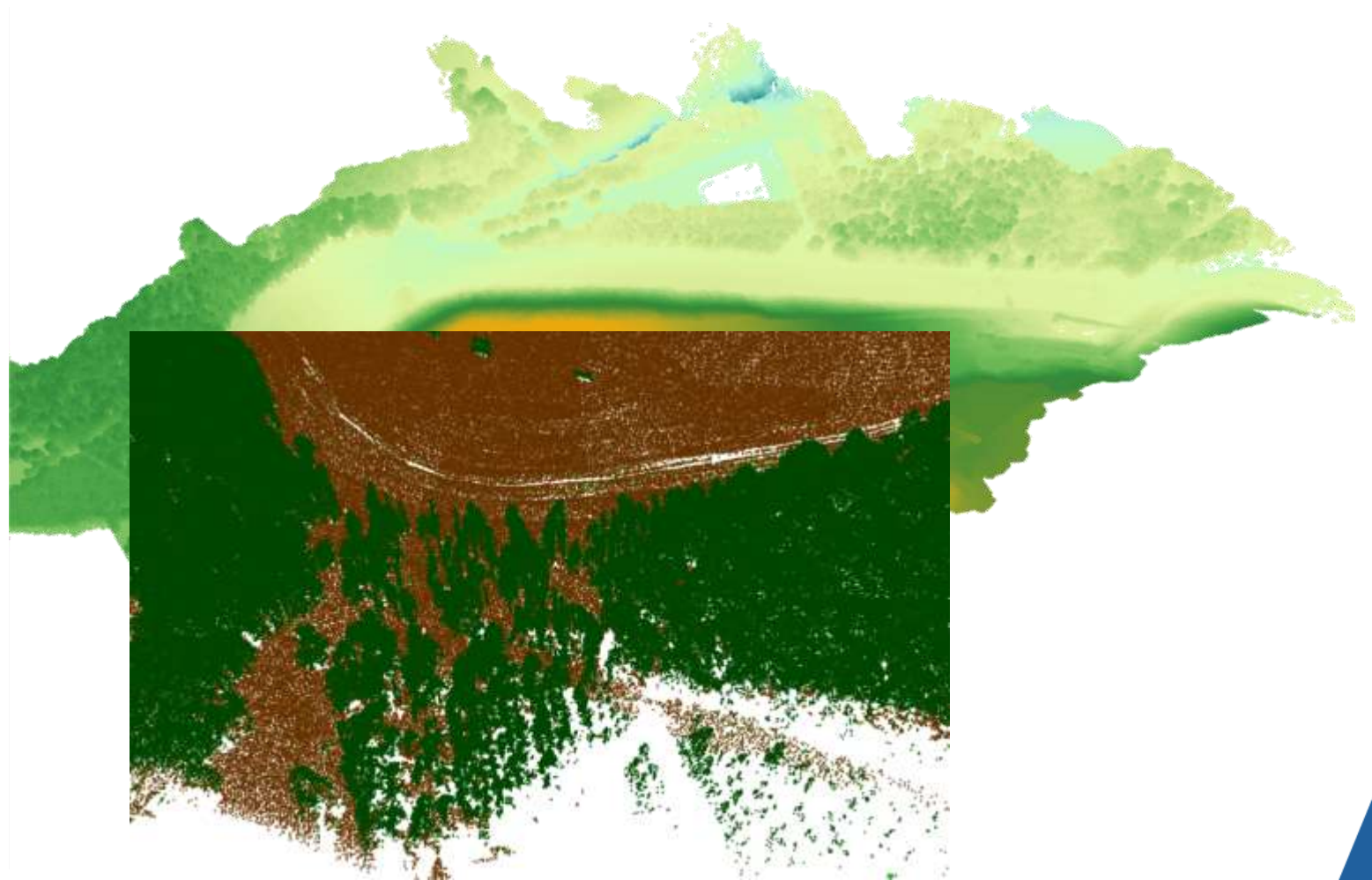
Vorteile	Nachteile
Anwendbarkeit bei komplexeren Oberflächen	Abnahme der Punktdichte mit zunehmender Entfernung
hohe Detailgenauigkeit	Rausch-/reflektierende Punkte störend
kurze/lange Distanzen möglich	Abschattungsbereiche

UAV (Photogrammetrie)

Vorteile	Nachteile
Anwendung in nicht begehbaren Gebieten	Flughöhenbegrenzung/ Fluggebietsbegrenzung
Erfassung innerhalb kürzester Zeit	Abhängigkeit von Wetterbedingungen
Übersichtlichkeit durch Ansicht von oben	

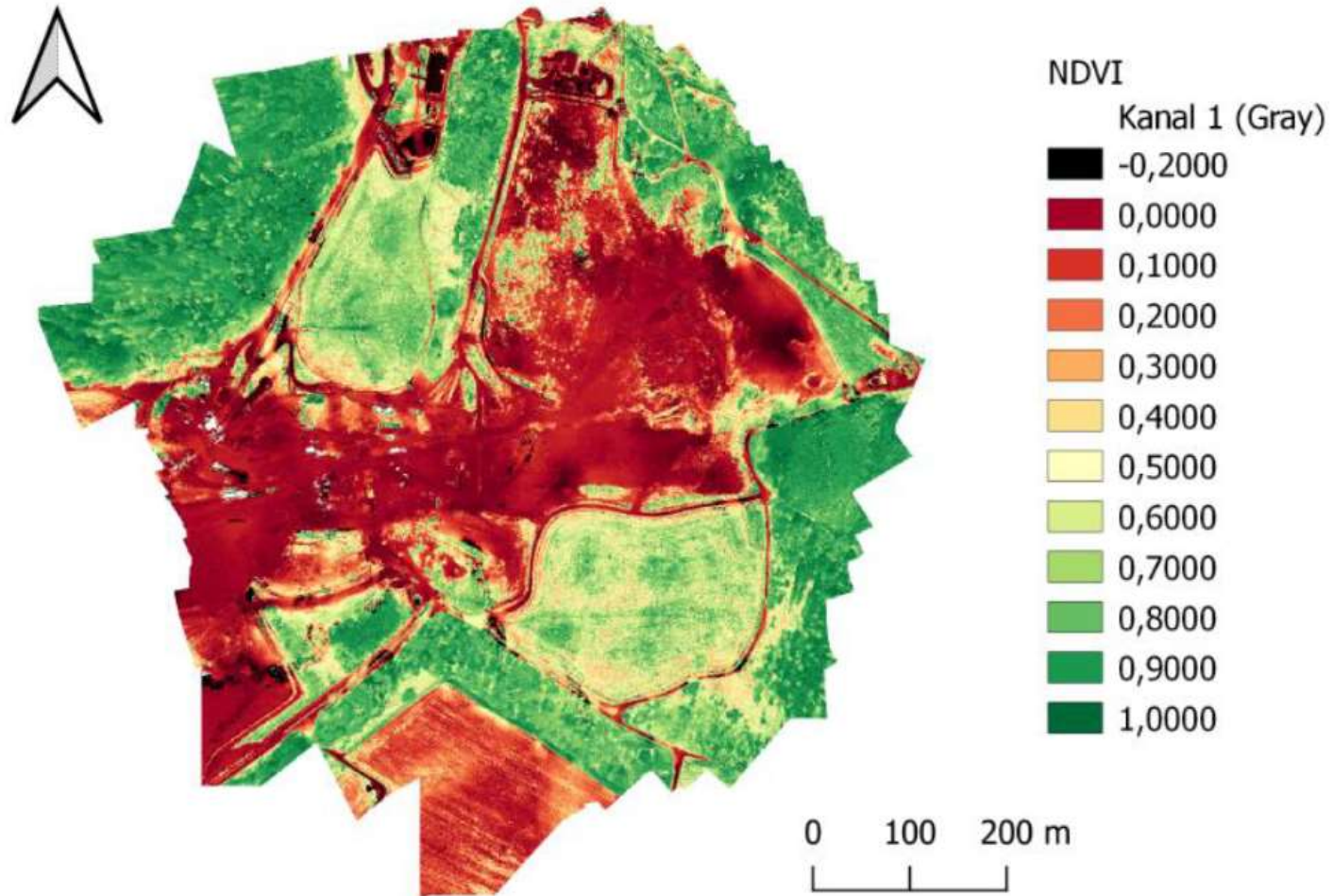
Datenaufnahme Neuhalde Hattorf

- Sensor: Qube 240
- Flugzeit: 30 min
- Flughöhe: 80 m ü. Haldentop
- Anzahl Punkte: ca. 68 Mio.
- Deckungsbereich: 50 ha



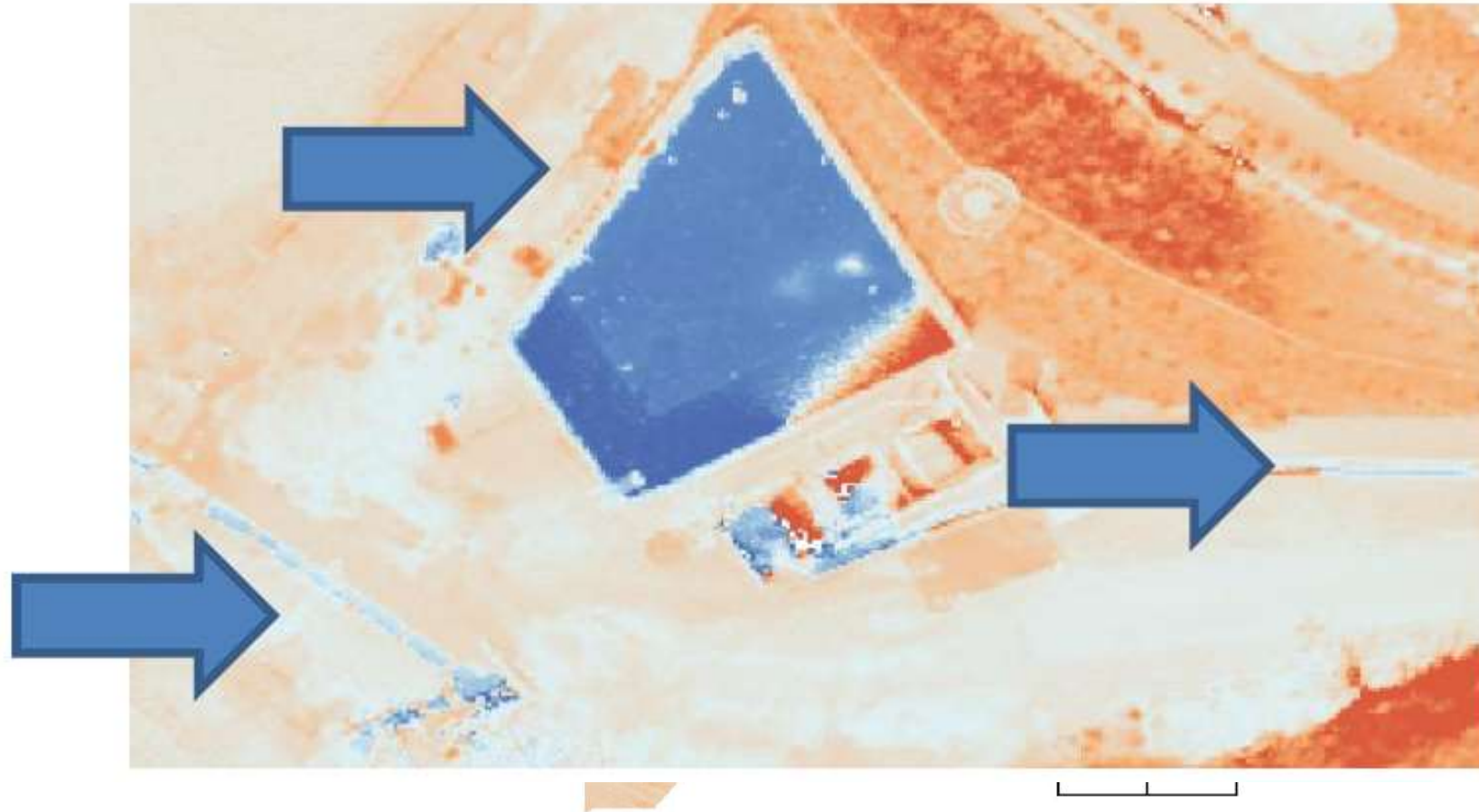
Umweltmonitoring Althaldenbereich

- Normalized Difference Vegetation Index



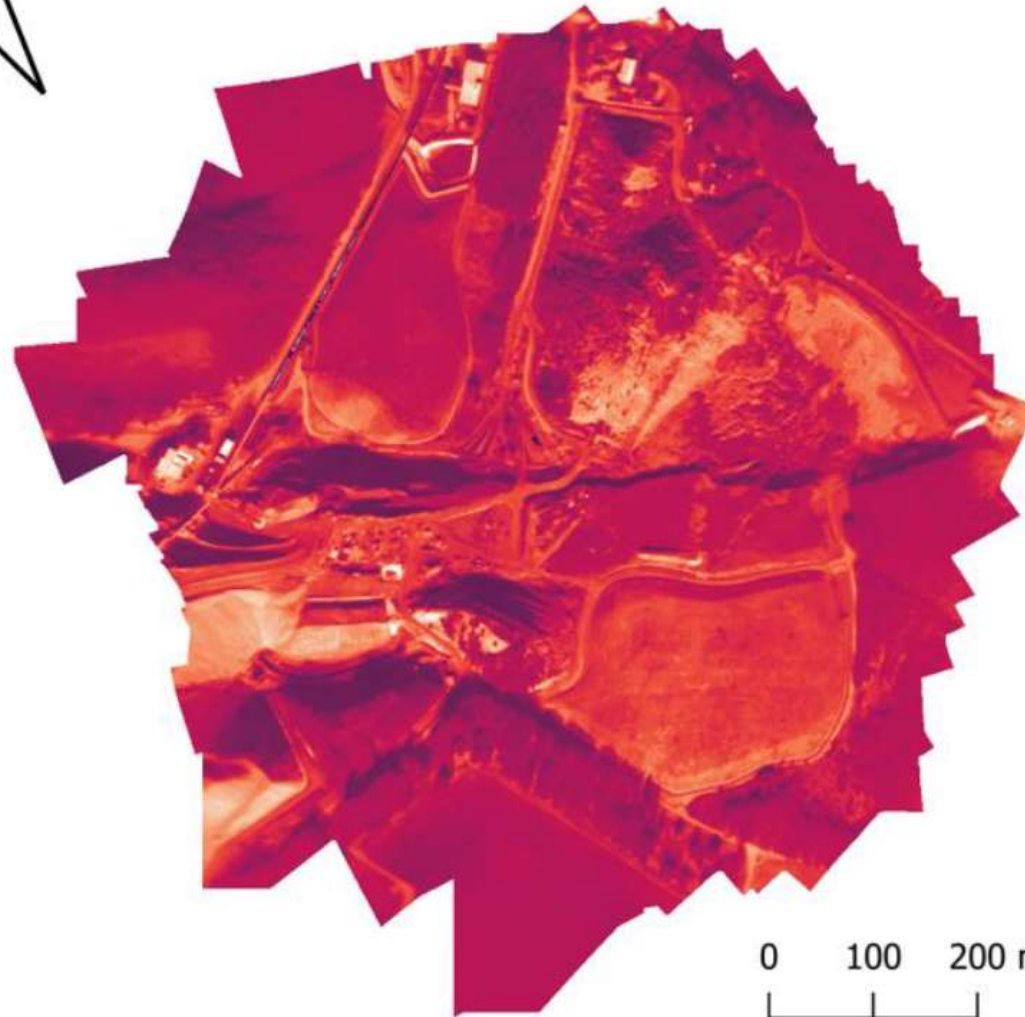
Umweltmonitoring Althaldenbereich

- Normalized Difference Water Index



Umweltmonitoring Althaldenbereich

– Thermal



Thermal Celsius

Kanal 1 (Gray)

0,0000	16,0000
1,0000	17,0000
2,0000	18,0000
3,0000	19,0000
4,0000	20,0000
5,0000	20,0000
6,0000	21,0000
7,0000	22,0000
8,0000	23,0000
9,0000	24,0000
10,0000	25,0000
11,0000	26,0000
12,0000	27,0000
13,0000	28,0000
14,0000	29,0000
15,0000	30,0000

Beurteilung der Messverfahren, Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

- Verfahren des Terrestrischen Laserscannings sowie UAV geeignet zur Abbildung des Haldenkörpers nach 1:1 Vergleich
- bisher Airborne Laserscanning durch Fremdvergabe 2 mal jährlich durchgeführt, jedoch keine Detailaufnahmen
- Trinity F90+ bietet sehr viel Potential in diesem Bereich, vor allem durch verschiedene Sensoren
 - Sony RX1 RII: Erstellung von Orthofotos und hohen Detailgraden in Bildern, Übersichtlichkeit
 - Qube 240: LiDAR-Scanner Aufnahme von Bodenbereichen mit dicht bewachsener Vegetation denkbar
 - Altum PT: Untersuchungen hinsichtlich des Umweltmonitorings an den Halden
- Große wirtschaftliche Vorteile, vor allem durch Verkürzung der Messdauer sowie Kosteneinsparung von Fremdvergaben (ROI bereits nach 2 Jahren)

Fazit



Starrflügler-UAV eröffnet neue Möglichkeiten für die Markscheiderei → effektivere Überwachung des Haldenkörpers



Vorteile photogrammetrischer Messungen



ermöglicht wirtschaftlichere Überwachung



Ableitung eines Workflows basierend auf Empfehlungen für zukünftige Monitoringaufgaben

Ausblick

Untersuchung des Einsatzes von UAV für weitere Einsatzgebiete:



Planung, Umsetzung sowie Begleitung von Rückbauprojekten “Werra 2060”



Ableitung von Senkungen der Tagesoberfläche



Befliegung nach Starkregenereignissen: Fließpfadkarten

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit und Glück Auf!



K+S

Literaturverzeichnis

- Aibotix GmbH: Agisoft Workflow V2. Kassel.
- Bannehr, Lutz (2019): Photogrammetrie. Skript. Hochschule Anhalt, Dessau.
- Allgemeine Bundesbergverordnung - ABergV (23.10.1995): Bergverordnung für alle bergbaulichen Bereiche, zuletzt geprüft am zuletzt durch Artikel 4 der Verordnung vom 18.10.2017 (BGBl. I S. 3584) geändert.
- BBergG (13.08.1980): Bundesberggesetz, zuletzt geprüft am zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 14.06.2021 (BGBl. I S. 1760) geändert.
- Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (2022): Analyse des deutschen Drohnenmarktes. Online verfügbar unter <https://www.bdl.aero/de/publikation/analyse-des-deutschen-drohnenmarktes/>, zuletzt aktualisiert am 01.07.2022, zuletzt geprüft am 08.08.2022.
- Deter, Alfons (2019): K+S bündelt Geschäft in K+S Minerals and Agriculture GmbH. In: top agrar online, 15.11.2019. Online verfügbar unter <https://www.topagrar.com/panorama/news/k-s-buendelt-geschaeft-in-k-s-minerals-and-agriculture-gmbh-11892526.html>, zuletzt geprüft am 06.07.2022.
- Deutscher Markscheider-Verein e.V. (2009): Grundsätze zum Einsatz von luftgestützten und terrestrischen Laserscanneraufnahmen im Bergbau. Herne.
- Fischer, M. Eng. Andreas; Schleinig, Jan-Peter; Artschwager, Dipl.-Ing. Christian; Schwarz, Michael (2021): Monitoringkonzept. Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Hattorf (Haldenerweiterung Hattorf) - Phase 3. Hg. v. K+S Minerals and Agriculture GmbH.
- Fischer, M. Eng. Andreas; Schwarz, Michael (2017): Monitoringkonzept einer Rückstandshalde im Kalibergbau. 18. Geokinematischer Tag. Freiberg, 2017, zuletzt geprüft am 16.10.2022.
- K+S (2022): Gefährdungsbeurteilung. Online verfügbar unter <https://beta-portal.k-plus-s.com/de/content/Wissen/Sicherheit/Arbeitssicherheit/Werra/Gef%C3%A4hrdungsbeurteilung>.
- K+S Aktiengesellschaft: Ein Jahrhundert Kalibergbau an Werra und Ulster_K+S.
- K+S Aktiengesellschaft (2022a): Umwelt & Naturschutz fest im Blick. Online verfügbar unter <https://www.kpluss.com/de-de/ueber-ks/standorte/europa/werra/umwelt/>, zuletzt aktualisiert am 17.10.2022, zuletzt geprüft am 17.10.2022.

Literaturverzeichnis

- K+S Aktiengesellschaft (2022b). Online verfügbar unter <https://www.kpluss.com/de-de/>, zuletzt aktualisiert am 06.07.2022, zuletzt geprüft am 06.07.2022.
- K+S Aktiengesellschaft (2022c): Firmengeschichte von K+S. Das Salz der Erde. Online verfügbar unter <https://www.berufsstart.de/unternehmen/k+s/firmengeschichte.php>, zuletzt aktualisiert am 23.08.2022, zuletzt geprüft am 23.08.2022.
- K+S Kali GmbH (2017): Gesamtkonzept zur Umgestaltung des Althaldenbereiches unter besonderer Betrachtung der Kieseritaufstandsfläche.
- K+S Landwirtschaftliche Produkte (2022). Online verfügbar unter <https://www.kpluss.com/de-de/geschaeftsfelder-produkte/landwirtschaft/>, zuletzt aktualisiert am 06.07.2022, zuletzt geprüft am 06.07.2022.
- Kraus, Karl (1986): Photogrammetrie: Grundlagen und Standardverfahren. Unter Mitarbeit von G. Waldhäusl. 2., bearb. u. erw. Aufl. Berlin: De Gruyter.
- Lange, Norbert de (2013): Geoinformatik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- LOGXON (2017): Drohnen und Wirtschaftlichkeit. Einsparung von Kosten und Ressourcen. Online verfügbar unter <https://www.logxon.com/drohnen-und-wirtschaftlichkeit/>, zuletzt aktualisiert am 22.09.2020, zuletzt geprüft am 13.11.2022.
- LOGXON (2021): Photogrammetrie Genauigkeit basierend auf digitalen Drohnenaufnahmen. Online verfügbar unter <https://www.logxon.com/photogrammetrie-genauigkeit-und-auswertung-von-digitalen-drohnenaufnahmen/>, zuletzt aktualisiert am 14.09.2021, zuletzt geprüft am 26.07.2022.
- Luftfahrt-Bundesamt (LBA) (2022): Leitfaden zur Antragstellung. Betriebsgenehmigung in der speziellen Kategorie.
- LuftVO (29.10.2015): Luftverkehrs-Ordnung, zuletzt geprüft am zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 14.06.2021 (BGBl. I S. 1766) geändert.
- MicaSense (2022): Calibrated Reflectance Panel (CRP) – MicaSense Knowledge Base. Online verfügbar unter <https://support.micasense.com/hc/en-us/sections/4420300203287-Calibrated-Reflectance-Panel-CRP->, zuletzt aktualisiert am 07.10.2022, zuletzt geprüft am 07.10.2022.
- Milan Geoservice GmbH (2021): Projektdokumentation Abschlussbericht. Durchführung einer Befliegung mit dem Verfahren des Airborne Laserscannings. Halde Neuhof/Wintershall/Hattorf. Spremberg.

Literaturverzeichnis

- MVG - WS2021/2022: „Fernerkundliche Ableitung von Waldparametern anhand einer Gyrocopter-Befliegung im Waldgebiet Elbaue“. Abschlussbericht - Projekt Multisensorale Fernerkundungsanalyse. Hochschule Anhalt, zuletzt geprüft am 03.10.2022.
- Nensel, Johannes (2019): Ableitung des Verformungsverhaltens von Grubenbauen unter dem Einfluss von modifiziertem Sylvinitabbau und Geometriedatenerfassung in der Grube Unterbreizbach der K+S Kali GmbH. Bachelorarbeit. Hochschule Anhalt, Dessau, zuletzt geprüft am 04.10.2022.
- Pix4D (2022): Passpunkte: Warum sind sie so wichtig? Online verfügbar unter <https://www.pix4d.com/de/blog/warum-passpunkte-wichtig-sind>, zuletzt aktualisiert am 19.09.2022, zuletzt geprüft am 19.09.2022.
- quantum systems GmbH: Broschüre Quantum Systems. Online verfügbar unter www.quantum-systems.com.
- quantum systems GmbH: Trinity F90+ User Manual. Online verfügbar unter www.quantum-systems.com.
- Quantum-Systems (2022a): Qube 240 LiDAR. Online verfügbar unter <https://www.quantum-systems.com/project/qube-240-lidar/>, zuletzt aktualisiert am 12.07.2022, zuletzt geprüft am 08.08.2022.
- Quantum-Systems (2022b): Sony RX1 RII. Online verfügbar unter <https://www.quantum-systems.com/project/sony-rx1r-ii/>, zuletzt aktualisiert am 12.07.2022, zuletzt geprüft am 08.08.2022.
- Quantum-Systems (2022c): MicaSense Altum-PT. Online verfügbar unter <https://www.quantum-systems.com/project/micasense-altum-pt/>, zuletzt aktualisiert am 20.07.2022, zuletzt geprüft am 08.08.2022.
- RIEGL Laser Measurement Systems GmbH (2017): RIEGL VZ-2000i - Quick Start Guide. 09/2017. Horn, zuletzt geprüft am 12.10.2022.
- Runne, Dr.-Ing. Heinz (2012): Ingenieurvermessung II - Teil: Deformationsmessung. Hochschule Anhalt, Dessau, zuletzt geprüft am 12.10.2022.
- Runne, Dr.-Ing. Heinz (2013): Terrestrisches Laserscanning 1. Einführung in das Terrestrische Laserscanning (TLS). Skript. Hochschule Anhalt, Dessau.
- Schwarz, Michael (2013): Monitoring-Konzept eines Haldenrandbereiches mittels Terrestrischen Laserscanning. Bachelorarbeit. Hochschule Anhalt.
- Sony (2022): Sony RX1R II Professionelle Kompaktkamera mit 35-mm-Sensor. Online verfügbar unter <https://www.sony.de/electronics/cyber-shot-kompaktkameras/dsc-rx1rm2>, zuletzt aktualisiert am 08.08.2022, zuletzt geprüft am 08.08.2022.

Literaturverzeichnis

- Trimble Geospatial (2022): Applanix POSPac MMS Software. Online verfügbar unter <https://de.geospatial.trimble.com/products-and-solutions/applanix-pospac-mms>, zuletzt aktualisiert am 30.09.2022, zuletzt geprüft am 30.09.2022.
- Trimble Inc. (2019): APX15_UAV - Datasheet. Version 3, Single Board GNSS-Inertial Solution.
- U-ROB GmbH (2022): Schulungsunterlagen. A1/A3 Kompetenznachweis A2 Fernpiloten-Zeugnis.
- Verordnung (EU): VERORDNUNG (EU) 2018/ 1139 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES - vom 4. Juli 2018 - zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivillufftfahrt und zur Errichtung einer Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit sowie zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 2111/ 2005, (EG) Nr. 1008/ 2008, (EU) Nr. 996/ 2010, (EU) Nr. 376/ 2014 und der Richtlinien 2014/ 30/ EU und 2014/ 53/ EU des Europäischen Parlaments und des Rates, und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 552/ 2004 und (EG) Nr. 216/ 2008 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Verordnung (EWG) Nr. 3922/ 91 des Rates.
- Deponieverordnung - DepV (27.04.2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager, zuletzt geprüft am zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 09.07.2021 (BGBl. I S. 2598) geändert.
- Markscheider-Bergverordnung - MarksBergV (19.12.1986): Verordnung über markscheiderische Arbeiten und Beobachtungen der Oberfläche, zuletzt geprüft am in der Fassung der Bekanntmachung vom 21.07.2020 (BGBl. I S. 1702).
- Vollmer, Sophie (2021): Entwicklung eines Monitoringkonzeptes für die Süd-West-Flanke der Rückstandshalde Neuhof-Ellers der K+S Minerals and Agriculture GmbH. Bachelorarbeit. Hochschule Anhalt.
- Wagner, Martin (2017): Genauigkeitsbetrachtung photogrammetrischer Verfahren mittels Multicoptersystem zur zukünftigen Dokumentation des K+S - Pilotprojektes Haldenabdeckung. Masterarbeit.
- Werra - K+S Aktiengesellschaft (2022). Online verfügbar unter <https://www.kpluss.com/de-de/ueber-ks/standorte/europa/werra/>, zuletzt aktualisiert am 06.07.2022, zuletzt geprüft am 06.07.2022.
- YellowScan (2020): CloudStation Software for LiDAR Point Cloud Processing - YellowScan. Online verfügbar unter <https://www.yellowscan-lidar.com/products/cloudstation/>, zuletzt aktualisiert am 05.07.2022, zuletzt geprüft am 30.09.2022.