



## 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





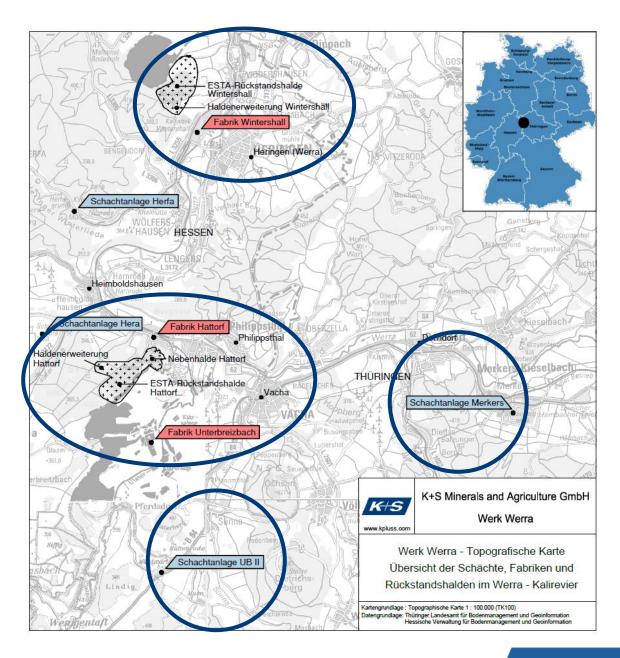


#### **Das Werk Werra**

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

- 1. Wintershall
- 2. Unterbreizbach
- 3. Hattorf
- 4. Merkers

Verbundwerk Werra





# Messgebiet Rückstandshalde Hattorf



M. Eng. Sophie Vollmer DVW-Fachtagung 2023 05.05.2023

# d

## **Haldenmonitoring - Programm**

#### <u>Anforderungen</u>

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



#### Beobachtungsstrategien

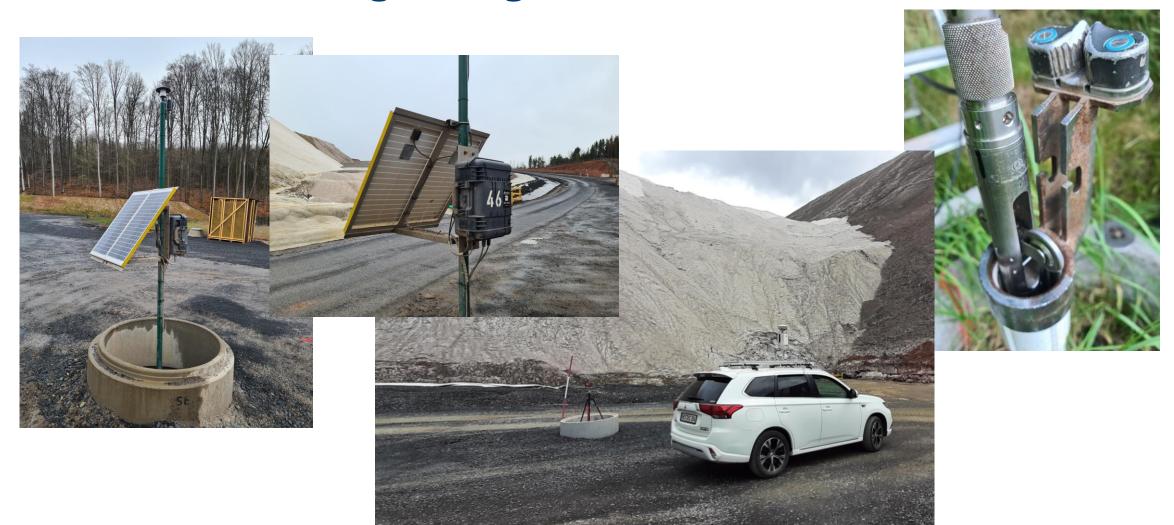
- punktuelle Beobachtung mittels online GNSS-Permanentmessstationen
- flächige Überwachung des Haldenkörpers (mittels Terrestrischem Laserscanner Riegl VZ-2000i)
- Inklinometermessungen zur Bestimmung von Bodenbewegungen im Untergrund

- 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





# d

#### UAS Trinity F90+

Entwickler: Quantum Systems GmbH

Gewicht: 5.0 kg

Flugzeit: 90 Minuten

Vertical Take-off and Landing (eVTOL)

Multiband-GNSS-Modul





# d

#### **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** 

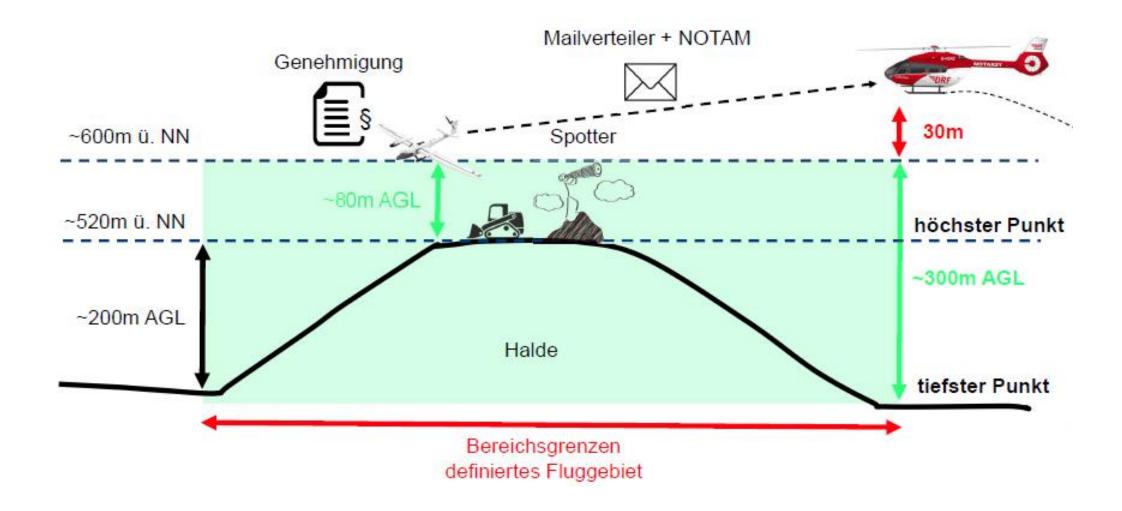
LiDAR-Scanner

50-100 Pkt. @ 100m AGL





# Exkurs: Verfahrensweise Betriebsgenehmigung







### Datenaufnahme Rückstandshalde Hattorf

Kamera: Sony RX1 RII

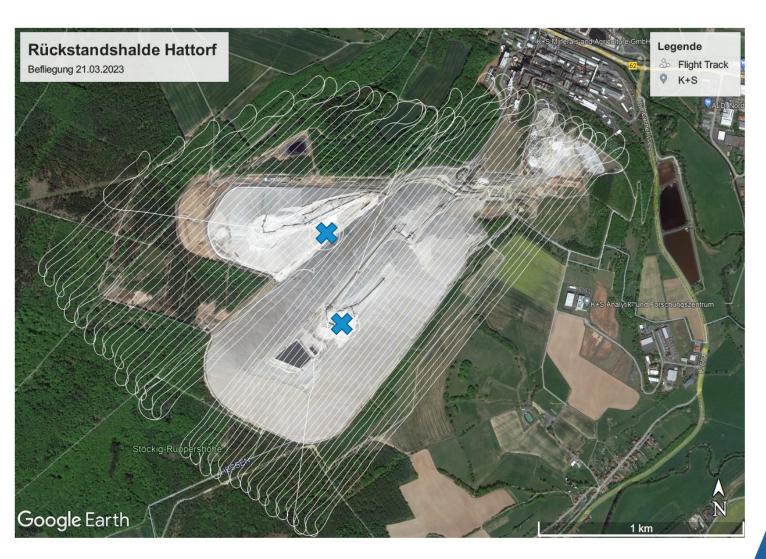
Flugzeit: 1 h 45 min

Flughöhe: 80 m ü. Haldentop

- Fotos: 1.998

Bodenauflösung: 2,48 cm/pix

Deckungsbereich: 322 ha







**Ergebnis der Datenaufnahme** 



Reprojektionsfehler: Anzahl Passpunkte: 33 RMSE Passpunkte: 2 cm

Prozessierungsdauer: 31,5 h





## 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

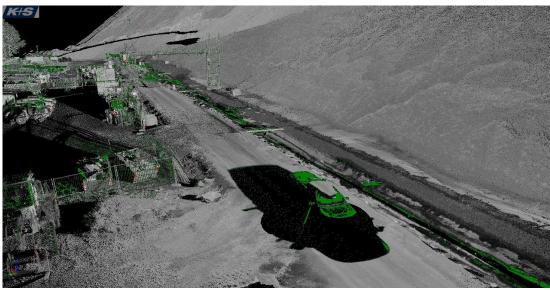




# Vergleich Punktwolken aus Scan und UAV

Referenzobjekt: 230321\_Scan











# Vergleich Punktwolken aus Scan und UAV

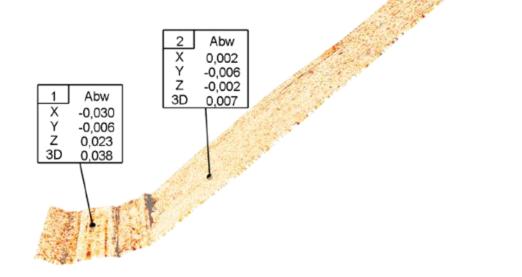
Testregion Haldenflanke

Maximale Abweichungen von 5 cm festgestellt

Durchschnittliche Abweichungen liegen bei 1-2 cm

230321\_Scan Referenzobjekt:

230321\_UAV Vergleichsobjekt:



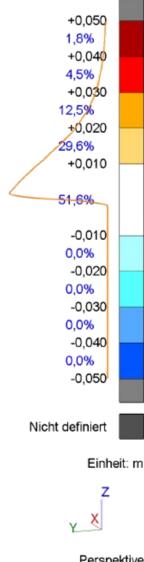
Abw

-0,033

0,013

-0,019

0.040



Perspektive

KIS M. Eng. Sophie Vollmer DVW-Fachtagung 2023 05.05.2023



### 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**

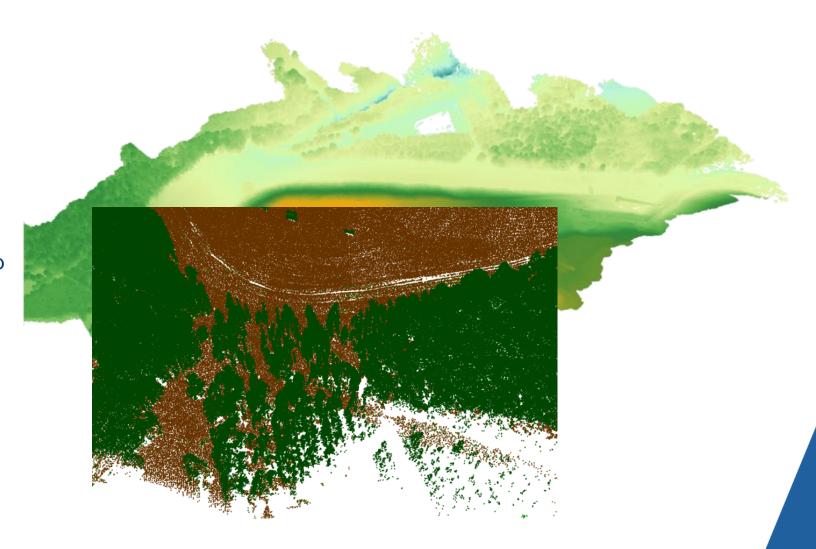
Sensor: **Qube 240** 

Flugzeit: 30 min

Flughöhe: 80 m ü. Haldentop

Anzahl Punkte: ca. 68 Mio.

Deckungsbereich: 50 ha



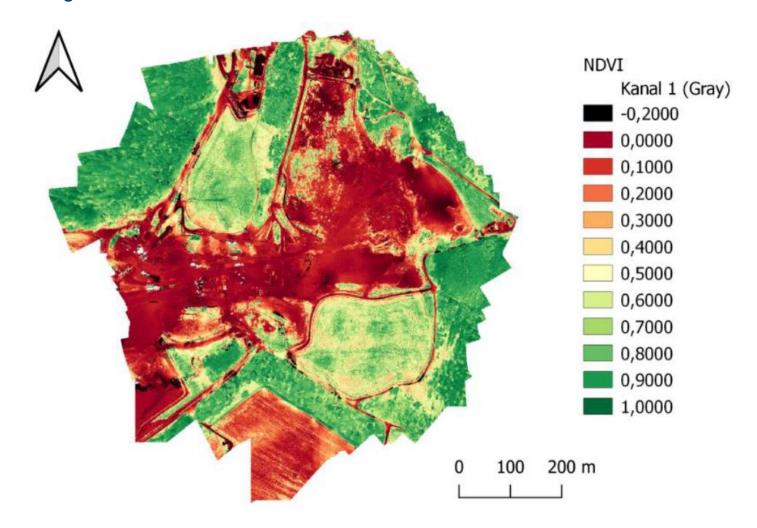


DVW-Fachtagung 2023



## **Umweltmonitoring Althaldenbereich**

Normalized Difference Vegetation Index

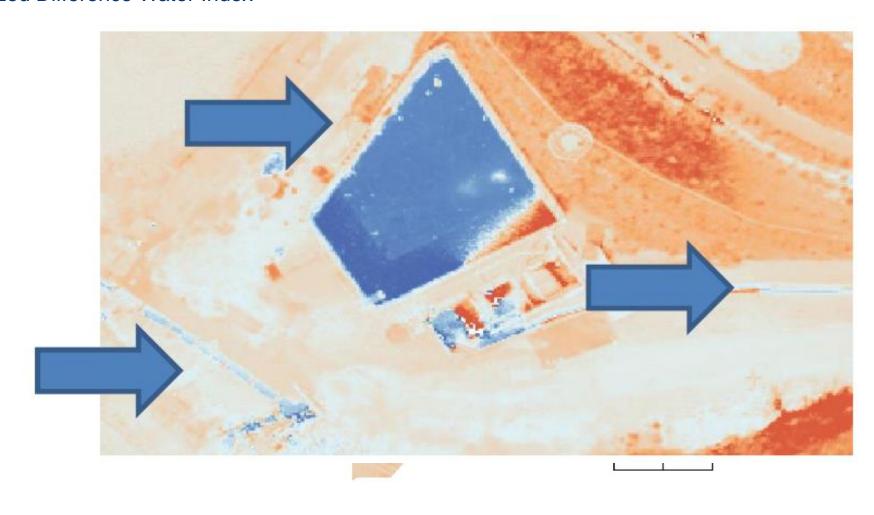






# **Umweltmonitoring Althaldenbereich**

Normalized Difference Water Index

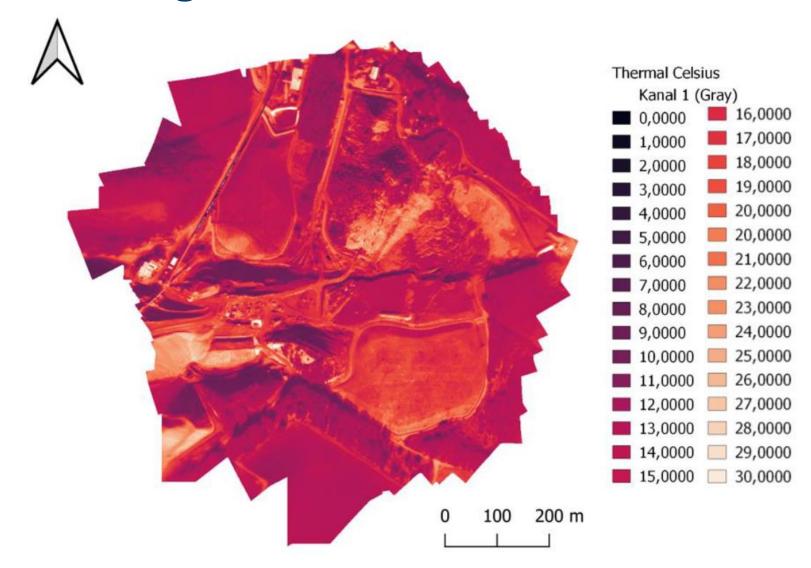






## **Umweltmonitoring Althaldenbereich**

Thermal







# 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



Vorteile photogrammetrischer Messungen



ermöglicht wirtschaftlichere Überwachung



Ableitung eines Workflows basierend auf Empfehlungen für zukünftige Monitoringaufgaben



M. Eng. Sophie Vollmer DVW-Fachtagung 2023 05.05.2023

## **Ausblick**



Untersuchung des Einsatzes von UAV für weitere Einsatzgebiete:



Planung, Umsetzung sowie Begleitung von Rückbauprojekten "Werra 2060"

05.05.2023



Ableitung von Senkungen der Tagesoberfläche



Befliegung nach Starkregenereignissen: Fließpfadkarten





- Aibotix GmbH: Agisoft Workflow V2. Kassel.
- Bannehr, Lutz (2019): Photogrammetrie. Skript. Hochschule Anhalt, Dessau.
- Allgemeine Bundesbergverordnung ABBergV (23.10.1995): Bergverordnung für alle bergbaulichen Bereiche, zuletzt geprüft am zuletzt durch Artikel 4 der Verordnung vom 18.10.2017 (BGBI. I S. 3584) geändert.
- BBergG (13.08.1980): Bundesberggesetz, zuletzt geprüft am zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 14.06.2021 (BGBI. 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.



- 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.



- 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.



- 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 Zivilluftfahrt 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 (BGBI. I S. 2598) geändert.
- Markscheider-Bergverordnung MarkschBergV (19.12.1986): Verordnung über markscheiderische Arbeiten und Beobachtungen der Oberfläche, zuletzt geprüft am in der Fassung der Bekanntmachung vom 21.07.2020 (BGBI. 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.