

**Tobias Haupt**

Kontaminationsmonitoring von  
Bergbaurückständen. Ermittlung des  
pH-Wertes in Tagebauseen über  
Satellitenbildauswertung

**Diplomarbeit**

# BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei [www.GRIN.com](http://www.GRIN.com) hochladen  
und kostenlos publizieren



## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

## **Impressum:**

Copyright © 2019 GRIN Verlag  
ISBN: 9783346588654

## **Dieses Buch bei GRIN:**

<https://www.grin.com/document/1171363>

**Tobias Haupt**

**Kontaminationsmonitoring von Bergbaurückständen.  
Ermittlung des pH-Wertes in Tagebauseen über Satellitenbildauswertung**

## **GRIN - Your knowledge has value**

Der GRIN Verlag publiziert seit 1998 wissenschaftliche Arbeiten von Studenten, Hochschullehrern und anderen Akademikern als eBook und gedrucktes Buch. Die Verlagswebsite [www.grin.com](http://www.grin.com) ist die ideale Plattform zur Veröffentlichung von Hausarbeiten, Abschlussarbeiten, wissenschaftlichen Aufsätzen, Dissertationen und Fachbüchern.

### **Besuchen Sie uns im Internet:**

<http://www.grin.com/>

<http://www.facebook.com/grincom>

[http://www.twitter.com/grin\\_com](http://www.twitter.com/grin_com)

Technische Universität  
BERGAKADEMIE FREIBERG

---

Fakultät: Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau  
Institut: Markscheidewesen und Geodäsie  
Schwerpunkt: Fernerkundung

## **Thema**

### **Kontaminationsmonitoring von Bergbaurückständen**

Bearbeitet von: Dipl.-Ing.(FH) Tobias Haupt

*Übergabetermin* des Themas: 01. November 2018

*Abgabetermin* der Diplomarbeit: 02. Mai 2019

# Inhaltsverzeichnis

<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>V</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>IX</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>XI</b>
<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
1.1 Aufgabenstellung	2
1.2 Gliederung der Arbeit	2
<b>2. BERGBAUBEDINGTE GEOCHEMISCHE PROZESSE</b>	<b>4</b>
2.1 Veränderung der Landschaftsmorphologie	4
2.2 Veränderung des Wasserhaushalts	4
2.3 Veränderung des Stoffhaushalts	5
2.4 Einfluss von Schwermetallen	7
2.4.1 Wechselwirkung Schwermetalle-Böden	7
2.4.2 Wechselwirkung Schwermetalle-Pflanzen	8
2.5 Einfluss des pH-Wertes	9
2.5.1 Bildung eines niedrigen pH-Wertes	9
2.5.2 Auswirkung des pH-Wertes auf den ökologischen Kreislauf	9
2.6 Eisenverbindungen	11
2.7 Zusammenfassung	13
<b>3. SENTINEL-SATELLITENPROGRAMM</b>	<b>14</b>
3.1 Copernicus-Programm	14
3.2 Sentinel-2	16
3.2.1 Sentinel-2-Mission	16
3.2.2 Satelliteneigenschaften	17
3.2.3 Sensoreigenschaften	17
3.2.4 Bereitstellungsstände	19
3.2.5 Atmosphärische Korrektur	20
<b>4. VERFAHREN</b>	<b>23</b>
4.1 Indexbildung	23
4.1.1 Green Leaf Index	25
4.1.2 Anthocyanin Reflectance Index 2	25
4.1.3 Modified Normalized Water Index	26
4.2 Spektrale Analysemethoden	27
4.2.1 Spectral Angle Mapper Classification	27
4.2.2 Spectral Information Divergence	28
4.3 Zusammenfassung	29
<b>5. ERMITTLUNG DES pH-WERTES VON TRL ÜBER SENTINEL-2-DATEN</b>	<b>30</b>
5.1 Untersuchungszeitraum	30
5.2 Untersuchungszeitraum	34
5.3 Vorverarbeitung der Sentinel-2 Images	35
5.4 Ermittlung des pH-Wertes in TRL über Detektion von Eisenverbindungen	36
5.4.1 Erstellung einer Gewässermaske	36
5.4.2 Vorbemerkung	37
	<b>III</b>

5.4.3	Detektion von Jarosit mittels SAM	39
5.4.4	Detektion von Schwertmannit mittels SAM	44
5.4.5	Detektion von Ferrihydrit mittels SAM	48
5.4.6	Detektion von Jarosit mittels SID	51
5.4.7	Detektion von Schwertmannit mittels SID	55
5.4.8	Detektion von Ferrihydrit mittels SID	59
5.4.9	Zusammenfassung	63
5.5	Ermittlung des pH-Wertes von TRL über Pflanzen um TRL	64
5.5.1	Vorbereitung	65
5.5.2	Untersuchung der Beprobungsstellen mittels GLI	71
5.5.3	Untersuchung des Außenbereichs der TRL mittels Change Detection	77
5.5.4	Zusammenfassung	83
5.6	Ermittlung des pH-Wert von TRL über Algen	84
5.6.1	Vorbereitung	85
5.6.2	Untersuchung von im TRL lebenden Algen mittels ARI2	85
5.6.3	Zusammenfassung	89
5.7	Zusammenstellung der Ergebnisse	90
<b>6</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>91</b>
6.1	Zusammenhang von pH-Wert und Jarosit, Schwertmannit bzw. Ferrihydrit	91
6.2	Zusammenhang von pH-Wert und Entwicklung von Pflanzen um TRL	91
6.3	Zusammenhang von pH-Wert und Algen im TRL	92
<b>7</b>	<b>EIGNUNG VON SENTINEL-2 ZUR ERMITTLUNG DES pH-WERTES VON TRL</b>	<b>94</b>
7.1	Spektrale Auflösung	94
7.2	Geometrische Auflösung	95
7.3	Zeitliche Auflösung	98
7.4	Zusammenfassung	98
<b>8</b>	<b>AUSBLICK</b>	<b>100</b>
	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>101</b>
	<b>QUELLENVERZEICHNIS</b>	<b>102</b>
	<b>ANLAGE 1 ÜBERSICHT SERVICES COPERNICUS-PROGRAMM</b>	<b>I</b>
	<b>ANLAGE 2 EIGENSCHAFTEN INSTRUMENTE SENTINEL 3</b>	<b>II</b>
	<b>ANLAGE 3 DURCHSCHNITTSWERTE DES GLI IN JEDEM BETRACHTETEN TRL ZU DEN EINZELNEN ZEITPUNKTEN DES UNTERSUCHUNGSZEITRAUMS</b>	<b>III</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Spektralkurve einer grünen Pflanze mit (niedriger, durchgehende Linie) und ohne (höhere, gepunktete Linie) Schwermetallbelastung im Wellenlängen (in nm)-Reflektivitäts (0-1)-Diagramm (Zhang, et al., 2003). Zu erkennen ist der deutliche Unterschied der beiden Spektralkurven im Bereich um 550 nm (grüner Spektralkanal, rot umrandet).	8
Abbildung 2 pH-Wert-Spektrum für Lebensfähigkeit von Fischen (Aquaplancton, 2019).	9
Abbildung 3 Typischer ökologischer Kreislauf von Zooplankton (Violett) und Phytoplankton (Grün) im Zusammenspiel der Parameter: Nährstoffe (Blau), Licht (Gelb) und Temperatur (Rot) in einem See (JBL GmbH & Co. KG, 2019)	10
Abbildung 4 Spektralkurven der Minerale Jarosit (rot), Schwertmannit (grün) und Ferrihydrit (blau) im Bereich zwischen 400 – 2800 nm. Die Reflektivitäten wurden im Bereich von 0 (0%) bis 1 (100%) angegeben (USGS, 2018).	12
Abbildung 5 (linke Seite) Chemische Prozesse in einem sauren TRL ausgelöst durch anoxische Kippengrundwasser mit den Zwischenschritten: Stoffeintrag, Eisenoxidation, Hydrolyse und Eisenfällung in sauren TRL am Beispiel von Schwertmannit; (rechte Seite) Aluminiumhydrolyse und -fällung ausgelöst durch Stoffeintrag von oxisch verwitterten Böschungsbereichen (LUA, 2001).	12
Abbildung 6 Schematische Darstellung der zwölf CMOS-Detektoren sowie der Anordnung der Spektralkanäle im MSI (European Space Agency, 2000-2018a).	18
Abbildung 7 Darstellung der zum Sensor gelangenden Strahlung (Airbus Defence & Space, 2017)	20
Abbildung 8 (links) Bsp. eines klassifizierten Sentinel-2 Datensatzes (rechts); bei der Scene Classification erstellte Klassen (European Space Agency, 2016a).	22
Abbildung 10 Relative Angleichung verschiedener Beleuchtungseffekte durch Index-Bildung (Prinz, 2017).	24
Abbildung 9 Links das Echtfarben-Luftbild, Rechts ein Falschfarbenbild mit den Index TM 7/4 als Magenta; TM 6/10 als Gelb und TM 12/1 als Cyan. Magenta weist auf Eisenoxid und Ton hin, unverändertes Grüngestein ist dunkelgrün und Vegetation ist grün und gelb dargestellt (Prost, 2013 S. 266).	24
Abbildung 11 Funktionsweise von SAM (Yan, et al., 2016).	28
Abbildung 12 Übersichtskarte Lausitzer Seenland; Rot umrandet Grenzen des Untersuchungsgebietes (LMBV, 2018)	32
Abbildung 13 (links) Graustufenbild des MNWI mit der Ausdehnung des Untersuchungsgebietes. Die Testflächen für die überwachte Klassifikation sind in grün (kein Gewässer) und rot (Gewässer) eingefärbt. (rechts) Graustufenbild des MNWI mit der Ausdehnung des Untersuchungsgebietes. In rot eingefärbt sind die Flächen der Klasse Gewässer dargestellt.	37

- Abbildung 14 Ergebnisdarstellung SAM. Multispektrales Image: Sentinel-2 vom 14.05.2018; Gesuchter Stoff: Jarosit; Raumwinkel: 0,2 rad. Detektierte Pixel in grün dargestellt; Die Gewässermaske ist in Rot darüber gelegt. 38
- Abbildung 15 Darstellung der prozentualen Verteilung von als Jarosit bestimmten Pixeln in einem TRL. Dabei entsprechen rote Linien TRL mit einem pH-Wert  $< 3,0$ ; gelbe Linien einem pH-Wert zwischen 3,0 – 3,5 und grüne Linien einem pH-Wert  $\geq 3,5$ . (a) SAM mit Raumwinkel 0,10 rad; (b) mit 0,15 rad; (c) mit 0,20 rad und (d) mit 0,25 rad; Erhöhte Werte zum Zeitpunkt 14.05.2018 in violett gekennzeichnet. 40
- Abbildung 16 Prozentualer Anteil der als Jarosit identifizierten Pixel an Gesamtpixel der TRL in Abhängigkeit vom pH-Wert im Untersuchungszeitraum mittels SAM mit einem Raumwinkel von (a) 0,15 rad, (b) 0,20 rad bzw. (b) 0,25 rad; Vertikale Achse mit dekadisch-logarithmischer Einteilung. 41
- Abbildung 17 Darstellung der prozentualen Verteilung von als Schwertmannit bestimmten Pixeln in einem TRL. Dabei entsprechen rote Linien TRL mit einem pH-Wert  $< 3,0$ ; gelbe Linien einem pH-Wert zwischen 3,0 – 3,5 und grüne Linien einem pH-Wert  $\geq 3,5$ . (a) Legende; (b) SAM mit Raumwinkel 0,20 rad; (c) 0,25 rad (d) 0,30 rad. 45
- Abbildung 18 Prozentualer Anteil der als Schwertmannit identifizierten Pixel an Gesamtpixel der TRL in Abhängigkeit vom pH-Wert zum Untersuchungszeitraum 2018 mittels SAM mit einem Raumwinkel von (a) 0,20 rad, (b) 0,25 rad und (c) 0,30 rad; Vertikale Achse mit dekadisch-logarithmischer Einteilung. 46
- Abbildung 19 Darstellung der prozentualen Verteilung von als Ferrihydrit bestimmten Pixeln in einem TRL. Dabei entsprechen rote Linien TRL mit einem pH-Wert  $< 3,0$ ; gelbe Linien einem pH-Wert zwischen 3,0 – 3,5 und grüne Linien einem pH-Wert  $> 3,5$ . (a) Legende, (b) SAM mit Raumwinkel 0,30 rad, (c) 0,35rad und (d) 0,40 rad. 49
- Abbildung 20 Prozentualer Anteil der als Ferrihydrit identifizierten Pixel an Gesamtpixel der TRL in Abhängigkeit vom pH-Wert im Zeitraum Jan – November 2018 mittels SAM mit einem Raumwinkel von (a) 0,30 rad, (b) 0,35 rad und (c) 0,40 rad; Vertikale Achse mit dekadisch-logarithmischer Einteilung. 50
- Abbildung 21 Darstellung der prozentualen Verteilung von als Jarosit bestimmten Pixeln in einem TRL an entsprechendem Untersuchungszeitpunkt. Dabei entsprechen rote Linien TRL mit einem pH-Wert  $< 3,0$ ; gelbe Linien einem pH-Wert zwischen 3,0 – 3,5 und grüne Linien einem pH-Wert  $\geq 3,5$ . SID mit Divergenzmaß 0,025 (a); mit 0,050(b); mit 0,075 (c) und mit 0,100 (d), Erhöhte Werte zum Zeitpunkt 14.05.2018 in violett gekennzeichnet. 53
- Abbildung 22 Prozentualer Anteil der als Jarosit identifizierten Pixel an Gesamtpixel der TRL in Abhängigkeit vom pH-Wert im Untersuchungszeitraum mittels SID mit einem Divergenzmaß von (a) 0,025, (b) 0,050 und 0,075 (c); Vertikale Achse mit dekadisch-logarithmischer Einteilung. 54

- Abbildung 23 Darstellung der prozentualen Verteilung von als Schwertmannit bestimmten Pixeln in einem TRL. Dabei entsprechen rote Linien TRL mit einem pH-Wert  $< 3,0$ ; gelbe Linien einem pH-Wert zwischen  $3,0 - 3,5$  und grüne Linien einem pH-Wert  $\geq 3,5$ . (a) SID mit Divergenzmaß  $0,025$ ; (b)  $0,050$  (c)  $0,075$  und (d)  $0,100$ . 57
- Abbildung 24 Prozentualer Anteil der als Schwertmannit identifizierten Pixel an Gesamtpixel der TRL in Abhängigkeit vom pH-Wert zum Untersuchungszeitraum 2018 mittels SID mit einem Divergenzmaß von (a)  $0,025$ , (b)  $0,050$  und (c)  $0,075$ ; Vertikale Achse mit dekadisch-logarithmischer Einteilung. 58
- Abbildung 25 Darstellung der prozentualen Verteilung von als Ferrihydrit bestimmten Pixeln in einem TRL. Dabei entsprechen rote Linien TRL mit einem pH-Wert  $< 3,0$ ; gelbe Linien einem pH-Wert zwischen  $3,0 - 3,5$  und grüne Linien einem pH-Wert  $\geq 3,5$ . (a) SID mit Divergenzmaß  $0,025$ , (b)  $0,050$ , (c)  $0,075$  und (d)  $0,100$ . 61
- Abbildung 26 Prozentualer Anteil der als Ferrihydrit identifizierten Pixel an Gesamtpixel der TRL in Abhängigkeit vom pH-Wert im Zeitraum Jan – November 2018 mittels SID mit einem Divergenzmaß von (a)  $0,050$ , (b)  $0,075$  und (c)  $0,100$ ; Vertikale Achse mit dekadisch-logarithmischer Einteilung. 62
- Abbildung 27 Sentinel-2 Image vom 19.04.2018 mit überlagerten: (links) ROI der TRL (a) Stiebsdorfer See, (c) RL Nordrandschlauch und (e) RL Südostschlauch; (rechts) mittels SAM und einem Raumwinkel von  $0,075$  rad als „ähnlich“ identifizierte Vegetation zu den ROI auf linker Seite für (b) Stiebsdorfer See, (d) RL Nordrandschlauch und (f) LR Südostschlauch; Rote Umrandung markieren Beprobungsgebiete. 67
- Abbildung 28 Prozentuale Änderung des GLI-Wertes zwischen den Monaten (a) April - Mai bzw. (b) Mai – Juni und der Entfernung zum jeweiligen TRL; rote Punkte entsprechen Pixel an sauren TRL (pH-Wert zw.  $2,5 - 3,5$ ); grüne Punkte entsprechen Pixel an neutralen TRL (pH-Wert  $6,8 - 7,5$ ), rote Linie entspricht Trendlinie der sauren Pixel, grüne Linie entspricht Trendlinie der neutralen Pixel; das jeweilige Bestimmtheitsmaß befindet sich unterhalb der Formel der Trendlinie. 73
- Abbildung 29 Histogramme der abhängigen Variable prozentuale Änderung des GLI im Zeitraum 19.04.2018 zu 14.05.2018 der beiden Vergleichsgruppen (a) neutrale TRL und (b) saure TRL. 74
- Abbildung 30 Histogramme der abhängigen Variable prozentuale Änderung des GLI im Zeitraum 14.05.2018 zu 08.06.2018 der beiden Vergleichsgruppen (a) neutrale TRL und (b) saure TRL. 75
- Abbildung 31 (grüne Linien) Mittels QGIS berechnete  $10$  m breite Buffer im Abstand von  $10 - 100$  m um das TRL Lugteich; (rote Linie) Uferkante TRL Lugteich; (Hintergrund) Ergebnis change detection zwischen GLI vom 14.05. zu 08.06.2018, blaue Töne entsprechen negative prozentuale Änderungen, rote Töne entsprechen positiven prozentualen Änderungen; (rechte Seite: Farbskala von Klasse 36 (+30%ige Änderung) bis Klasse 67 (-32%ige Änderung). 78

Abbildung 32 Über change detection berechnete Unterschiede zwischen den beiden Verhältnisbildern des GLI zwischen den beiden Zeiträumen (a) 19.04.-14.05.2018 und (b) 14.05.-08.06.2018 unterteilt in saure TRL (rote Pixel) und neutrale TRL (grüne Pixel).	79
Abbildung 33 Histogramme der abhängigen Variable prozentuale Änderung des GLI im Zeitraum 19.04.2018 zu 14.05.2018 der beiden Vergleichsgruppen (a) neutrale TRL und (b) saure TRL.	80
Abbildung 34 Histogramme der abhängigen Variable prozentuale Änderung des GLI im Zeitraum 14.05.2018 zu 08.06.2018 der beiden Vergleichsgruppen (a) neutrale TRL und (b) saure TRL.	82
Abbildung 35 Mittelwert des ARI2 in den sauren TRL (pH-Wert < 4,0, rote Linien) bzw. neutrale TRL (pH-Wert $\geq$ 4,1, grüne Linien) während des Untersuchungszeitraums vom 09.01.-10.11.2018.	86
Abbildung 36 Mittlerer ARI2-Wert der einzelnen TRL in Abhängigkeit des vorherrschenden pH-Wertes. Hervorgehoben sind die beiden Erhebungszeitpunkte 13.02.2018 (rot) und 03.10.2018 (grün).	87
Abbildung 37 Falschfarbenkomposit des Untersuchungsgebietes aus den Kanälen ARI2 vom 03.10.2018 (rot), 11.10.2018 (grün) und 10.11.2018 (blau). Beispielhaft beschriftet: ausgewählte TRL mit pH-Wert (in Klammern) sowie Stellen mit einem erhöhten ARI2-Wert (Kohleflöze).	89
Abbildung 38 Gegenüberstellung der Spektalkurven der Eisenverbindungen Jarosit (rote Linie), Schwertmannit (grüne Linie) und Ferrihydrit (blaue Linie) (USGS, 2018) mit den Spektalkanälen des MSI an den entsprechenden Stellen des elektromagnetischen Spektrums und ihren geometrischen Auflösungen 10 m (grüner Balken), 20 m (gelber Balken) und 60 m (blauer Balken).	95
Abbildung 39 (links) Sentinel-2 L2A Dateistruktur (rechts) Sentinel-2 L2A Dateistruktur nach „layerstacking“.	96
Abbildung 40 Sentinel-2 Image vom 19.04.2018 als „layer stack“ mit einer geometrischen Auflösung von 10 m. Als rote Linie ist die mittels des MNWI und den Spektalkanälen 560 nm und 1375 nm berechnete Gewässermaske enthalten. Bei der Berechnung kam es zu Fehlinterpretation der Uferkante, siehe dazu Hafengebiete (rechts Mitte) und Flachwasserbereich (Mitte).	97
Abbildung 41 Copernicus-Programm Übersicht (European Commission, 2018)	I
Abbildung 42 Durchschnittlicher GLI der einzelnen TRL zu jedem Zeitpunkt des Untersuchungszeitraums zusammen mit den jeweiligen Maxima- und Minimalwerten	
Abbildung 43 Copernicus-Programm Übersicht (European Commission, 2018)	I

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Zusammenstellung von Orten, welche durch bergbaubedingte Kontamination betroffen sind sowie der jeweils anzutreffenden Art der Kontamination.	6
Tabelle 2 Weitere Fernerkundungssatelliten des Copernicus-Programms (Wikipedia-Autoren, 2018e)	15
Tabelle 3 Spektalkanäle des MSI (European Space Agency, 2012a S. 39).	18
Tabelle 4 Ausgewählte TRL im Untersuchungsgebiet zusammen mit ihren zivilen Benennungen, ihrem pH-Wert, deren Sulfatgehalt sowie dem Datum der Probenahme (von links nach rechts) (LMBV, 2018) (LMBV, 2019).	33
Tabelle 5 Zur Verfügung stehende Satelliten Images aus dem Jahr 2018.	34
Tabelle 6 Beobachtungswerttabelle (links) und Erwartungswerttabelle (rechts) des Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstests für die SAM Raumwinkel 0,15 rad (oben) 0,20 rad (Mitte) und 0,25 rad (unten).	42
Tabelle 7 Beobachtungswerttabelle (links) und Erwartungswerttabelle(rechts) für Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest der drei SAM Raumwinkel 0,20 rad (oben), 0,25 rad (Mitte) und 0,30 rad (unten).	47
Tabelle 8 Beobachtungswerttabelle (links) und Erwartungswerttabelle(rechts) für Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest der drei SAM Raumwinkel 0,30 rad (oben), 0,35 rad (Mitte) und 0,40 rad (unten)	51
Tabelle 9 Beobachtungswerttabelle (links) und Erwartungswerttabelle(rechts) für Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest der drei SID Divergenzmaße 0,025 (oben), 0,05 (Mitte) und 0,0,075 (unten).	55
Tabelle 10 Beobachtungswerttabelle (links) und Erwartungswerttabelle(rechts) für Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest der drei SID Divergenzmaße 0,050 (oben), 0,075 (Mitte) und 0,100 (unten).	59
Tabelle 11 Beobachtungswerttabelle (links) und Erwartungswerttabelle(rechts) für Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest des SID Divergenzmaßes 0,100.	63
Tabelle 12 Auswertetabelle der linearen Regression der unabhängigen Variable „Entfernung zum TRL“ und der abhängigen Variable „prozentuale Änderung des GLI zum Vormonat“ für den Untersuchungszeitraum 19.04.2018 zu 14.05.2018 für die Versuchsgruppe (a) neutrale TRL und (b) saure TRL.	75
Tabelle 13 Auswertetabelle der linearen Regression der unabhängigen Variable „Entfernung zum TRL“ und der abhängigen Variable „prozentuale Änderung des GLI zum Vormonat“ für den Untersuchungszeitraum 14.05.2018 zu 08.06.2018 für die Versuchsgruppe (a) neutrale TRL und (b) saure TRL.	76
Tabelle 14 Auswertetabelle der linearen Regression der unabhängigen Variable „Entfernung zum TRL“ und der abhängigen Variable „prozentuale Änderung des GLI zum Vormonat“ für den Untersuchungszeitraum 19.04.2018 zu 14.05.2018 für die Versuchsgruppe (a) neutrale TRL und (b) saure TRL.	81