

Abschlußbericht im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft (EIP)

"Entwicklung und Erprobung einer innovativen Methode zur Detektion, Verwaltung und Analyse
von landwirtschaftlichen Entwässerungsanlagen"

Projekt Nr.: 2016 LFE 0006



Apus Systems
Am Eiswurmlager 5
01189 Dresden

30. März 2020

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzdarstellung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Projektziele und Aufgabenstellungen	1
1.3	Mitglieder der Operationellen Gruppe (OG)	1
1.4	Projektlaufzeit	2
1.5	Budget	2
2	Eingehende Darstellung	3
2.1	Verwendung der Zuwendungen	3
2.2	Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn	3
2.2.1	Grundlagen Melioration	3
2.2.2	Erläuterungen zum Meliorationskataster der DDR	6
2.2.3	Gestaltungsgrundsätze für Dränsysteme	7
2.2.4	Grundlagen Dränagedetektion durch Luftbilder	7
2.2.5	Probleme Melioration	8
2.2.6	Ausgangssituation	12
2.2.7	Projektaufgabenstellung	12
2.3	Zusammenarbeit der OG	13
2.3.1	Mehrwert der OG	14
2.3.2	Weitere Zusammenarbeit nach dem Projekt	14
3	Ergebnisse des Innovationsprojektes	14
3.1	Zielerreichung	14
3.2	Abweichung zum Plan	15
3.3	Untersuchte Methoden	16
3.3.1	Feldarbeit	16
3.3.2	Orthophotos	18
a)	Orthophotos durch UAV	19
b)	Amtliche Orthophotos	35
c)	Satellitendaten	39
3.3.3	Digitales Oberflächenmodell	48
3.3.4	Bodenfeuchteindex	49
a)	Allgemein	49
b)	Catchment Area / Flow Accumulation	51
c)	Slope/ Hangneigung	51
d)	Rasterauflösung und TWI	51
e)	Berechnung des TWI in der Praxis (Resample, Flow Accumulation, Slope und TWI)	51
f)	Vergleich TWI verschiedener Rasterauflösungen	52
g)	Resample Filter	56
h)	Vergleich des TWI aus öffentlich verfügbaren DEMs mit einer Rasterweite von 1m bzw. 2m und aus Drohnendaten	63
3.3.5	Dränagedetektion durch Leitfähigkeitsmessung	66
3.3.6	Neutronendetektor zur Erfassung der Bodenfeuchte	70
a)	Allgemein	70
b)	Grundprinzip	70
c)	Feldversuch	70

d)	Auswertung	71
3.4	Abschlussarbeiten	72
3.4.1	Konzeption und Implementierung eines GML Application Schemas für das Dränagemanagement (HTW Dresden)	72
3.4.2	Konzeption und Implementierung eines Objektarten- und Signaturenkataloges für Meliorationsanlagen (HTW Dresden)	73
a)	Objektartenkatalog	74
b)	Signaturenkatalog	75
3.4.3	Untersuchungen zum Bodenfeuchteindex(TWI) zur Dränagedetektion (TU Dresden)	77
3.4.4	Bodenuntersuchung (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg)	77
3.5	Zusammenfassung	77
3.5.1	Allgemein	77
3.5.2	Nutzen der Ergebnisse für die Praxis	77
a)	Schulung Melioration / Grundlagen rechtliche Situation	77
b)	Lösungen Problematik Vorflut	78
c)	Ertragsausfallberechnung	79
d)	Bereitstellung digitales Meliorationskataster für beteiligte Betriebe	79
4	Ausblick	80
4.1	Geplante Verwertung, Öffentlichkeitsarbeit	80
4.1.1	Verwertung und Öffentlichkeitsarbeit in der Projektphase	80
4.1.2	Verwertung und Öffentlichkeitsarbeit nach der Projektphase	80
4.2	wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	81
4.3	Kommunikations- und Disseminationskonzept	81
4.3.1	Grundsätzliche Schlussfolgerungen zu EIP	81
5	Danksagung	82
	Literatur	84

Abbildungsverzeichnis

1	Entwässerungsverfahren zur Regelung des Bodenwasserhaushaltes	4
2	Schaubild Rohrdränage [Eigene Abbildung]	5
3	Vorgaben zur Ermittlung des Dränabstandes	7
4	Höhenunterschied bei Pflanzen über Dränagen nach [Duc74]	8
5	Abnutzungsvorrat Dränagen	10
6	Wissensverlust im Fachgebiet der Melioration	10
7	Anhebung des Grundwasserstandes bei Verkrautung	11
8	Feldblock AL48321C06 - Suche der Ausmündungen über Koordinaten[Eigene Abbildung]	17
9	Feldblock AL48321C06 - Dränausmündung unter der aktuellen Grabensohle [Eigene Abbildung]	18
10	Frame: S900/DJI mit Pixhawk PX4	20
11	Phantom 4 Pro V2/DJI	20
12	Durch UAV beflogene Feldblöcke in Thüringen zwischen 2017-2019 [Eigene Abbildung] .	29
13	UAV-Digitale Orthophotos (DOP) mit 1,89cm/pix Digitales Oberflächenmodell (GSD) vom 11.05.2017 inklusive detektierter Dränagen[Eigene Abbildung]	30
14	UAV-DOP mit 2,64cm/pix GSD vom 09.04.2018 inklusive detektierter Dränagen [Eigene Abbildung]	31
15	Dränagen unter Winterdurst am 27.04.2018 [Feldblock AL48321C06 / Agrargenossenschaft Weißensee e.G.] [Eigene Abbildung]	31
16	Verschneidung detektierte Dränagen mit Schadstellen [Feldblock AL48321C06 / Agrargenossenschaft Weißensee e.G.] [Eigene Abbildung]	32
17	Dränagen in Schadstellenbereichen unter Luzerne am 27.04.2018 [Feldblock AL52372C07 / Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G] [Eigene Abbildung]	33
18	Verschneidung detektierte Dränagen mit Schadstellen [Feldblock AL52372C07 / Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G] [Eigene Abbildung]	33
19	Dränagen bei leichter Schneebedeckung am 12.12.2019 [Feldblock AL52372C07 / Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G] [Eigene Abbildung]	34
20	Untersuchte Flächen der Lever Agrar AG mit detektierten Dränagen [Eigene Abbildung] .	36
21	Untersuchte Flächen der Agrargenossenschaft Weißensee e.G. mit detektierten Dränagen [Eigene Abbildung]	36
22	Untersuchte Flächen der Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G mit detektierten Dränagen [Eigene Abbildung]	37
23	Übersicht detektierte Dränagen pro Jahrgang [Eigene Abbildung]	39
24	Preisliste für Archivbilder von kommerziellen Satelliten http://www.landinfo.com . . .	45
25	Preisliste für neu bestellte Bilder von kommerziellen Satelliten http://www.landinfo.com	45
26	DOP Jahrgang 2018 / Feldblock DETHLI AL45264 T04 / Lever-Agrar AG Heiligenstadt [Eigene Abbildung]	46
27	DOP 2018 / RGB / GSD 0,8m [Eigene Abbildung]	47
28	Landsat-8 / RGB / GSD 15m [Eigene Abbildung]	47
29	DOP 2018 / RGB / GSD 0,8m [Eigene Abbildung]	47
30	Sentinel-2 / RGB / GSD 10m [Eigene Abbildung]	47
31	Dränagen im DOM und DOP am 27.04.2018 unter Luzerne [Feldblock AL52372C07 / Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G] [Eigene Abbildung]	48
32	Dränagen im TWI auf Grundlage des UAV-DOM mit 10cm GSD vom 27.04.2018 [Eigene Abbildung]	49
33	Fahrspuren im Topographic Wetness Index (TWI) auf Grundlage des UAV-Digitales Oberflächenmodell (DOM) mit 1m GSD vom 28.06.2017 [Eigene Abbildung]	50

34	TWI des Rasters mit 10cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	52
35	TWI des Rasters mit 50cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	52
36	TWI des Rasters mit 100cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	53
37	TWI des Rasters mit 150cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	53
38	TWI des Rasters mit 200cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	53
39	TWI des Rasters mit 10cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	54
40	TWI des Rasters mit 50cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	54
41	TWI des Rasters mit 100cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	54
42	TWI des Rasters mit 150cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	54
43	TWI des Rasters mit 200cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	55
44	TWI des Rasters mit 10cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	55
45	TWI des Rasters mit 50cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	55
46	TWI des Rasters mit 100cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	55
47	TWI des Rasters mit 150cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	55
48	TWI des Rasters mit 200cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]	56
49	normalisierte Sinc-Funktion [wika]	57
50	Lanczos-Funktion für a = (1, 2, 3, 4, 5) [wikb]	58
51	Lanczos-Fenster-Funktion für a = (1, 2, 3) [wikc]	58
52	Normierte Gauss-Funktion (Standardabweichung = 1) [wikd]	59
53	TWI eines 0.1m x 0.1m Rasters ohne Filter, Berechnung TWI mit SAGA GIS [Eigene Abbildung]	61
54	TWI eines 0.1m x 0.1m Rasters bearbeitet mit dem Lanczos-1-Filter (Filterradius 8m) aus GRASS GIS und anschließende Berechnung des TWI mit SAGA GIS [Eigene Abbildung]	61
55	TWI eines 0.1m x 0.1m Rasters bearbeitet mit dem Lanczos-2-Filter (Filterradius 8m) aus GRASS GIS und anschließende Berechnung des TWI mit SAGA GIS [Eigene Abbildung]	62
56	TWI eines 0.1m x 0.1m Rasters bearbeitet mit dem Lanczos-3-Filter (Filterradius 8m) aus GRASS GIS und anschließende Berechnung des TWI mit SAGA GIS [Eigene Abbildung]	62
57	TWI eines 0.1m x 0.1m Rasters bearbeitet mit dem Gauss-Filter und der Box-Fenster-Funktion (beide Filterradien 8m) aus GRASS GIS und anschließende Berechnung des TWI mit SAGA GIS [Eigene Abbildung]	63
58	TWI des Testschlages Lever (öffentlich verfügbares Digitales Geländemodell (DGM) 2m Rasterweite, Erfassungsdatum: 2013-04, 2013-05) [Eigene Abbildung]	64
59	TWI Testschlages Lever (Drohnen­daten Original-Rasterweite 0.1m, bearbeitete Rasterweite 2m, Erfassungsdatum: 2017-10) [Eigene Abbildung]	64
60	TWI Testschlages Lever (Drohnen­daten Original-Rasterweite 0.1m, Resample-Filter: Lanczos1 (Filterradius 8m), Erfassungsdatum: 2017-10) [Eigene Abbildung]	64
61	TWI des Testschlages Niederpöllnitz (öffentlich verfügbares DGM 2m Rasterweite, Erfassungsdatum: 2011-02) [Eigene Abbildung]	65
62	TWI des Testschlages Niederpöllnitz (öffentlich verfügbares DGM 2m Rasterweite, Erfassungsdatum: 2014-02) [Eigene Abbildung]	65
63	TWI des Testschlages Niederpöllnitz (Drohnen­daten Original-Rasterweite 0.1m, bearbeitete Rasterweite 2m, Erfassungsdatum: 2017-10) [Eigene Abbildung]	65
64	TWI des Testschlages Niederpöllnitz (Drohnen­daten Original-Rasterweite 0.1m, Resample-Filter: Lanczos1 (Filterradius 8m), Erfassungsdatum: 2017-10) [Eigene Abbildung]	65
65	TWI des Testschlages Weissensee (öffentlich verfügbares DGM 2m Rasterweite, Erfassungsdatum: 2011-03) [Eigene Abbildung]	66
66	TWI des Testschlages Weissensee (öffentlich verfügbares DGM 1m Rasterweite, Erfassungsdatum: 2016-04) [Eigene Abbildung]	66

67	TWI des Testschlages Weissensee (Drohnen­daten Original-Rasterweite 0.1m, bearbeitete Rasterweite 2m, Erfassungsdatum: 2018-01) [Eigene Abbildung]	66
68	TWI des Testschlages Lever (Drohnen­daten Original-Rasterweite 0.1m, Resample-Filter: Lanczos1 (Filterradius 8m), Erfassungsdatum: 2018-01) [Eigene Abbildung]	66
69	TSM - berührungslose autonome Leitfähigkeitsmessung	67
70	TSM - Testschlag AG Weißensee	68
71	Testfläche mit Dränagen - Einbautiefe ca. 70 cm unter Geländeoberkante	68
72	ECa-Wert R2 - 40 cm unter Geländeoberkante	69
73	ECa-Wert R4 - in Kombination mit Dränagen aus Luftbildern	69
74	Aufbau der Aparatur des Neutronendetektors für den Feldversuch am 05.12.2019 [Eigene Abbildung]	71
75	Prozentuale volumetrische Bodenfeuchte mit Dränagen aus DOP's [Feldblock AL48321C06 der Agrargenossenschaft Weißensee e.G] [Quelle: Dr. Martin Schrön]	71
76	Messprotokoll Volumetrische Bodenfeuchte in % [Feldblock AL48321C06 der Agrargenossenschaft Weißensee e.G] [Quelle: Dr. Martin Schrön]	72
77	Ausschnitt des konzipierten Datenmodells [Eigene Abbildung]	73
78	Ausschnitt des konzipierten Objektartenkatalogs [Eigene Abbildung]	75
79	Ausschnitt des konzipierten Signaturenkatalogs [Eigene Abbildung]	76
80	Schaubild Schuldzuweisungen [Quelle: Roland Bischof, TLLLR 2015]	78
81	Auszug digitales webbasiertes Meliorationskataster Agfrargesellschaft Niederpöllnitz e.G. [Eigene Abbildung]	79
82	4. Fachsymposium landwirtschaftliche Melioration - 23.03.2018 Nossen [Karla Mohr]	80

Tabellenverzeichnis

1	Ausgabenplan [U.Löffler - Agrargenossenschaft Weißensee e.G.]	2
2	Aufteilung der Zuwendungen [U.Löffler - Agrargenossenschaft Weißensee e.G.]	3
3	Bestand an Entwässerungsflächen in 1.000 ha nach Bundesländern absolut. In Klammern steht der Wert für den Bestand an Dränflächen in 1.000 ha. [Pol91]	6
4	Vergleich Orthophotos diverser Quellen	19
5	Vergleich UAV-Hardware	20
6	Übersicht Versuchsflächen für UAV [Eigene Erhebung]	29
7	Auswertung UAV / Dränage - Lever Agrar AG [Eigene Erhebung]	30
8	Auswertung UAV / Dränage - Agrargenossenschaft Weißensee e.G. [Eigene Erhebung]	31
9	Auswertung UAV / Dränage - Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G [Eigene Erhebung]	32
10	Auswertung detektierte Dränagen durch Amtliche Orthophotos [Lever Agrar AG] [Eigene Erhebung]	37
11	Auswertung detektierte Dränagen durch Amtliche Orthophotos [Agrargenossenschaft Weißensee e.G.] [Eigene Erhebung]	38
12	Auswertung detektierte Dränagen durch Amtliche Orthophotos [Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G] [Eigene Erhebung]	38

1 Kurzdarstellung

1.1 Ausgangssituation

In den kommenden Jahrzehnten steht die Landwirtschaft vor großen Herausforderungen. Ob prognostizierter Klimawandel oder geänderte agrarpolitische Vorgaben – für jede Herausforderung gilt es, passende Antworten zu finden. Praktiker, Forschung und Politik suchen in allen Bereichen nach Lösungen, um die Landwirtschaft in Deutschland für die Zukunft zu rüsten. Ein nicht unwesentlicher Teil wurde dabei jedoch in den letzten drei Jahrzehnten nahezu vollkommen ausgeblendet. Das Fachgebiet der Melioration, und hier speziell der Bereich der Entwässerung landwirtschaftlicher Flächen durch Dränagen. Daraus resultieren in der Praxis zahlreiche Probleme die den Boden nachhaltig schädigen und die zu steigenden Ertragsverlusten auf dränierten Flächen führen.

Derzeit sichern Meliorationsanlagen in Deutschland auf ca. 1/4 der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (4 Mio. ha) den Ertrag [Wal02]. Karten oder Pläne der einzelnen Anlagen sind nicht mehr vorhanden, oder liegen bei den Landwirten hauptsächlich in Form von Handzeichnungen vor. Die Zeichnungen enthalten keine exakten Lagekoordinaten, zum Teil wurden sie nachträglich mit einfachen Skizzen ergänzt. Das Wiederfinden und Instandhalten der betreffenden Anlagen auf dem Feld ist auf dieser Basis nur sehr schwer möglich.

Die OG „Verfahrensentwicklung Dränagen“ hat sich mit diesem Problem befasst und verschiedene Methoden optimiert und weiter entwickelt, um Dränagen für die keine Unterlagen mehr vorhanden sind zu lokalisieren. Damit sollen die Flächenbewirtschafter in die Lage versetzt werden künftig ein betriebseigenes aktuelles digitales Meliorationskataster zur Wartung und Pflege der Dränagen zu führen.

1.2 Projektziele und Aufgabenstellungen

Das Kooperationsvorhaben zielt im Wesentlichen auf die Weiterentwicklung innovativer, zeit- und kosteneffektiver Methode der Detektion landwirtschaftlicher Entwässerungsanlagen in Anlehnung an vorhandene Verfahren (z.B. der Luftbildauswertung, Bodenradar Daten und dem „Topographical Wetness Index“) sowie auf die Implementierung der gewonnenen Informationen in die Datenverwaltung der beteiligten Agrarbetriebe für das zukünftige Management der Dränanlagen. Im Rahmen des Projektes sollen optimale Zeitpunkte für die Erstellung von Luftbildern zur Dränagedetektion ermittelt werden. Aus der Ableitung von Schadstellen in den Luftbildern und der Verschneidung dieser mit den detektierten Dränagen und den jeweiligen erstellten 3D-Geländemodellen soll außerdem eine Methode entwickelt werden, um Schadstellen an Dränagen bereits über die Luftbildinterpretation zu ermitteln. Die Erprobung soll in drei landwirtschaftlichen Betrieben Thüringens, die sich in ihren Standortverhältnissen (Boden, Relief, Klima) deutlich unterscheiden und damit eine Bandbreite der Agrarräume in Thüringen abbilden, erfolgen.

1.3 Mitglieder der Operationellen Gruppe (OG)

- Apus Systems (Projektkoordinator)
- Agrargenossenschaft Weißensee e.G. (Geschäftsführung der Kooperation)
- Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G.
- Lever Agrar AG

- TU Dresden
- Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
- Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (assoziierender Partner)

1.4 Projektlaufzeit

Das Projekt hatte eine Gesamtlaufzeit von drei Jahren. Start für das Vorhaben war der 01.01.2017, es wurde am 31.12.2019 beendet.

1.5 Budget

Das von der Thüringer Aufbaubank bewilligt Budget lag bei 99.928,91 Euro. Bei einem Fördersatz von 80% lag der beantragte Zuschuss bei 79.943,13 Euro. Im Projekt wurden 97.889,72 Euro Gesamtausgaben erzielt. Als Zuwendungsfähige Ausgaben wurden 97.602,08 Euro veranschlagt, bei 80% Fördersatz ergab sich ein ausgezahlter Zuschuss von 78.081,66 Euro. Gegenüber der Beantragung wurden 1.861,47 Euro weniger abgerufen (vgl. [Tabelle 1](#)).

Ausgabenplan	Gesamt- ausgaben	Zuwendungsfähige Ausgaben	Förder- satz	Zuschuss
Zuwendungsbescheid vom 19.12.2016	99.928,61 €	99.928,61 €	80%	79.943,13 €
Änderungs-, Teilwiederrufs- und Feststellungsbescheid vom 23.01.2020	97.889,72 €	97.602,08 €	80%	78.081,66 €
Veränderung	2.039,19 €	2.326,83 €	80%	1.861,47€

Tabelle 1: Ausgabenplan [U.Löffler - Agrargenossenschaft Weißensee e.G.]

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendungen

Die Gesamtzusendungen wurden wie folgt beantragt und genehmigt vgl. [Tabelle 2](#). Nicht aufgeführte Mitglieder der OG haben im Rahmen des Projektes keine Mittel beantragt.

	Rechnungsbetrag Brutto	Förderfähiger Betrag	Fördersatz 80% Auszahlung
Apus Systems	87.362,75 €	68.164,64 €	54.531,72 €
Agrargen. Weißensee e.G.	13.489,04 €	13.538,39 €	10.830,70 €
Agrargen. Niederpöllnitz e.G.	7.897,23 €	7.897,23 €	6.317,78 €
Lever Agrar AG	8.001,82 €	8.001,82 €	6.401,46 €
Summe	116.750,84 €	97.602,08	78.081,66

Tabelle 2: Aufteilung der Zuwendungen [U.Löffler - Agrargenossenschaft Weißensee e.G.]

2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

2.2.1 Grundlagen Melioration

Unter Melioration werden kulturtechnische Maßnahmen zur Werterhöhung des Bodens, also zur Steigerung seiner Ertragsfähigkeit, zur Vereinfachung seiner Bewirtschaftung und zum Schutz vor Zerstörung verstanden. Solche Maßnahmen sind zum Beispiel die Be- oder Entwässerung, Eindeichung von Überschwemmungsgebieten und die Urbarmachung von Ödland [Wik20]. Der Bereich Be- und Entwässerung wird unter dem Begriff Hydromelioration zusammengefasst. Die Lautgestalt „Hydromelioration“ setzt sich aus den beiden Termini „Hydro“ (lat. Wasser) und „meliorare“ (lat. verbessern) zusammen. Unter Hydromelioration versteht man daher die wasserwirtschaftlichen und bautechnischen Maßnahmen zur Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit.

Entwässerungsmaßnahmen in der Landwirtschaft sind erforderlich, wenn der Bereich agronomisch optimaler Bodenfeuchte ständig oder regelmäßig über längere Perioden hinweg überschritten wird und der Standort unter ökologischen oder technologischen Gesichtspunkten den Bodenfeuchtezustand der Nässe erreicht [Dö86]. Die Nachteile der Bodennässe sind:

- Sauerstoffmangel (für Pflanzenwurzeln und Bodenlebewesen)
- langsames und späteres Erwärmen des Bodens
- Eintreten von Trockenschäden
- Erschwerung der Bodenbearbeitung (höhere Verdichtung)
- erhöhtes Auftreten von Pflanzenkrankheiten
- geringere Ernteerträge (bis zum Totalausfall) [Bus81]

Der Hauptnachteil des hohen Wasseranteils im Boden ist nicht der Wassergehalt an sich, sondern der kleinere Anteil an luftgefüllten Poren (n_a). Der zum Luftanteil proportionale Gasaustausch ist ab etwa

$(n_a) < 0,1$ erheblich reduziert, den aeroben Mikroorganismen des Bodens fehlt der Sauerstoff für die Atmung. In so gestörten Böden kann der Kohlendioxidgehalt in der Bodenluft bei $(n_a)=0,1$ schon in 30 cm Tiefe 1 % betragen (Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre 0,03 %), bei geringerem Luftanteil entsprechend mehr (z.B. 10 % bei $(n_a=0,01)$). Gegenläufig nimmt der Sauerstoffgehalt dazu stark ab. Bei weniger als 5 % Sauerstoffgehalt wird das Pflanzenwachstum negativ beeinflusst [Kra10].

Nasser Boden leitet zwar die mit Sonneneinstrahlung eingetragene Wärme schneller in den Untergrund, doch sorgt die hohe Kapazität für eine geringere Erwärmung. Außerdem ist für die höhere Verdunstungsrate ein höheres Maß an latenter Verdunstungsenergie erforderlich, die zusätzlich zum Entzug von Wärmeenergie und damit zum Absinken der Temperatur führt. Als Folge dessen erwärmt sich nasser Boden im Frühjahr später als trockener. Ein hoher Wassergehalt erhöhet das Risiko von Frostschäden an frostgefährdeten Kulturen beträchtlich [Kra10].

Die Ursachen der Bodenvernassung sind wesentlich für die Wahl geeigneter Entwässerungsverfahren. Die technische Ausführung von Entwässerungsanlagen erfolgt entweder über offene Gräben oder durch unterirdische Rohrleitungen, Steinpackungen oder sogenannte Erd- oder Maulwurfsdranagen. Eine Übersicht über die verschiedenen Verfahren ist in Abbildung 1 dargestellt.

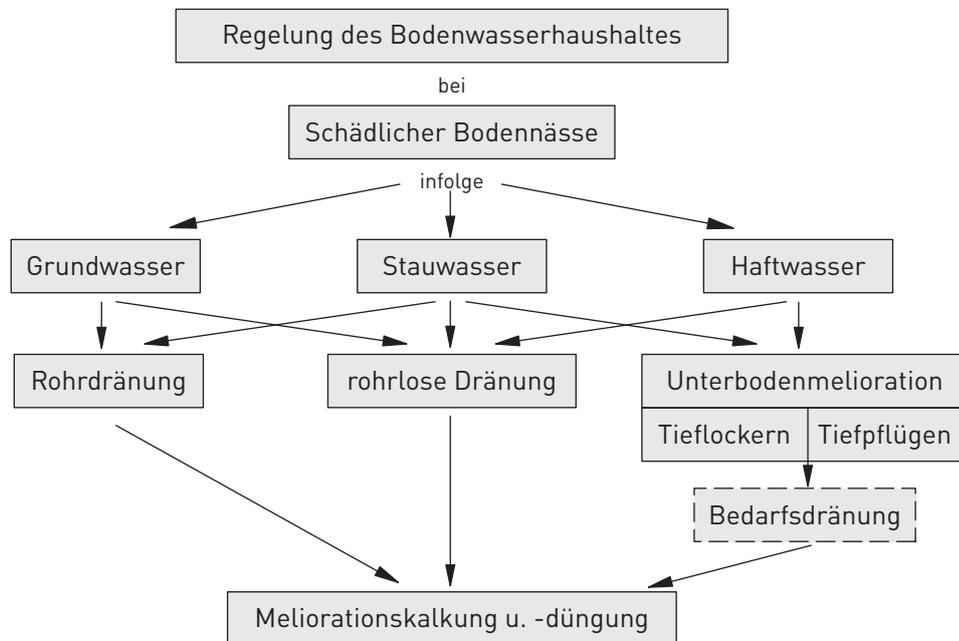


Abbildung 1: Entwässerungsverfahren zur Regelung des Bodenwasserhaushaltes [eigene Abbildung nach [Bus81]]

Die wichtigste technologische Maßnahme zur Entwässerung von Grund- und Stauwasservernasster Standorte ist die Dränung [vgl. Abbildung 2]. Dränagen sind künstliche unterirdische Abzüge, die Bodennässe beseitigen und durch eine günstige Beeinflussung der Struktur, der Durchlüftung sowie der Temperatur des Bodens eine Verbesserung des Wasser- und Wärmehaushaltes für den Standort bewirken [Mfl20].

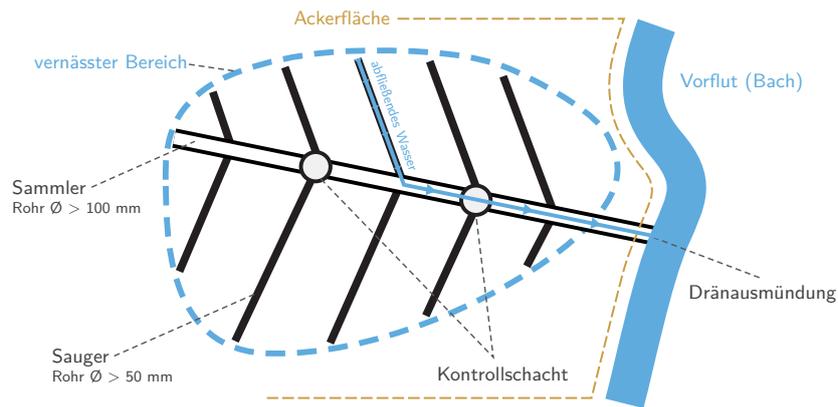


Abbildung 2: Schaubild Rohrdränage [Eigene Abbildung]

Mit der Dränung soll [also] die für die Entwicklung der Nutzpflanzen und für die Bodenbearbeitung störende Bodennässe beseitigt werden, also der Widerspruch zwischen den tatsächlichen und den erwünschten Eigenschaften des Standortes der Pflanzenproduktion abgeschwächt werden [Kau84].

Häufig geht der zu große Wassergehalt mit einem hohen Grundwasserspiegel einher, der Wurzelraum ist stark eingeschränkt. Sinkt der Wasserspiegel in Trockenperioden rasch ab, kann die nutzbare Feldkapazität wegen der fehlenden Tiefenwurzeln nicht ausgeschöpft werden. Die Nutzpflanzen sind bei lang anhaltender Bodennässe im Frühjahr "verwöhnt", auf entwässerten Böden müssen sie von Beginn an ein ausgedehntes Wurzelsystem für die Wasserversorgung entwickeln und überstehen daher eventuelle Trockenperioden weit besser [Kra10].

Entwässerter Boden trägt außerdem dazu bei, den Treibhausgasausstoß der Landwirtschaft zu reduzieren. Die mit stickstoffhaltigen Mitteln gedüngten Pflanzen werden nach ihrem Absterben mikrobiell zersetzt [Sch98]. Wenn dieser Prozess unter reduzierenden Bedingungen im vernässten Boden stattfindet, entsteht im Zuge der Denitrifikation Distickoxid (N_2O). Dieses ist als Treibhausgas etwa 300 mal so schädlich wie Kohlendioxid (CO_2) und verbleibt 114 Jahre in der Atmosphäre [IPP07]. Durch eine bessere Durchlüftung des Bodens können die reduzierenden Bedingungen jedoch vermieden werden.

Die Vorteile einer Dränung sind:

- bessere Durchlüftung des Bodens, Strukturverbesserung
- bessere Ausnutzung des Bodenwassers und der Bodennährstoffe
- stärkere Erwärmung des Bodens
- frühere Bestellung der Flächen, damit längere Wachstumszeit
- Erhöhung der Tragfähigkeit und Befahrbarkeit des Bodens für landwirtschaftliche Maschinen
- effektiver Wurzelraum wird größer - Vorteil in Trockenperioden
- Reduzierung von Treibhausgasen [Bus81]

2.2.2 Erläuterungen zum Meliorationskataster der DDR

Agrarpolitisch hatte die Melioration in der ehemaligen DDR etwa seit 1960 einen ständig hohen Stellenwert. Das kam auch darin zum Ausdruck, dass die wissenschaftlichen Kapazitäten im Fachgebiet Melioration für Lehre und Forschung bei den Universitäten [...] überproportional entwickelt wurden. Von 1976 bis 1981 wurden 20 % der gesamten Investitionen der Landwirtschaft für Melioration angesetzt [Pol91].

Meliorationsmanahmen wurden in unterschiedlichen Größenordnungen durch Fördermittel und zinsbegunstigte Kredite staatlich gefördert. Der Einsatz von finanziellen Mitteln zur Entwässerung war mit jährlich 200 - 240 Mio. Mark relativ konstant. Nach langfristig ungenügender Instandhaltung der Meliorationsanlagen wurden beginnend Anfang der 60er Jahre spezialisierte Baubetriebe entwickelt. In jedem Bezirk wurde je ein VEB Meliorationsbau bzw. Meliorationsbaukombinat gegründet. Ihre Hauptaufgabe war der Neubau und die Rekonstruktion von Meliorations- und wasserwirtschaftlichen Anlagen. In jedem Landkreis wurde eine oder mehrere Meliorationsgenossenschaften gegründet. Alle LPG und VEG der Pflanzenproduktion waren Mitglieder dieser Genossenschaften [Pol91]. Laut einer Verfügung des Ministeriums für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft der DDR vom 26.02.1975 oblag den Meliorationsgenossenschaften die Bewirtschaftung und Instandhaltung der geschaffenen Meliorationsanlagen. Als Instrument zur Durchführung dieser Aufgabe wurde den Meliorationsgenossenschaften der Auftrag erteilt, ein Meliorationskataster anzulegen.

Eine Anwenderinformation zur Führung und Nutzung des Meliorationskatasters sollte sicher stellen, dass in allen bauausführenden Betrieben einheitliche Bestandsunterlagen angefertigt und in den katasterfuhrenden Einrichtungen archiviert wurden. Dies betraf im Wesentlichen folgende Bestandteile des Katasterwerks:

- die Katastergrundkarten im Maßstab 1:10.000
- die ubersichtskarten im Maßstab 1:25.000
- die Anlagenkartei
- die Bestandspläne [inkl. Detailpläne]
- die Zusammenstellung zum Meliorationskataster

Laut Vorschrift sollten alle Meliorationsanlagen, die sich in Rechtsträgerschaft der Räte der Kreise und der Landwirtschaftsbetriebe befanden, erfasst und im Kataster nachgewiesen werden [Dit05].

In Tabelle 3 ist der Bestand an Entwässerungsflächen der DDR nach Bundesländern bis zum Jahre 1990 aufgelistet. Im Thüringen, in dem die Untersuchungsgebiete der OG liegen gab es in der Zeit von 1960 bis 1990 einen starken Zuwachs an der Entwässerungsfläche zu verzeichnen.

Tabelle 3: Bestand an Entwässerungsflächen in 1.000 ha nach Bundesländern absolut. In Klammern steht der Wert für den Bestand an Dränflächen in 1.000 ha. [Pol91]

Bundesland	1960	1976	1979	1983	1986	1990
Mecklenb.-Vorp.	210 (154)	638 (291)	741 (291)	824 (422)	877 (449)	897 (482)
Brandenburg	43 (8)	532 (48)	562 (48)	598 (90)	613 (85)	624 (91)
Sachsen	24 (18)	115 (110)	151 (111)	197 (180)	222 (198)	235 (203)
Sachsen-Anhalt	73 (27)	308 (90)	359 (90)	345 (126)	362 (142)	368 (152)
Thüringen	13 (3)	142 (73)	157 (73)	180 (118)	202 (127)	210 (133)
Berlin	4 (1)	7 (2)	6 (2)	6 (2)	4 (1)	4 (1)
Summe	367 (221)	1.742 (627)	1.976 (627)	2.149 (938)	2.279 (995)	2.338 (1.062)

2.2.3 Gestaltungsgrundsätze für Dränsysteme

In der DDR wurden Dränanlagen aufgrund bestimmter Gestaltungsgrundsätze [TGL85c], [TGL85b] erstellt. Um die Übersichts- und Detailpläne des DDR-Meliorationskataster richtig interpretieren zu können, ist es wichtig, bestimmte Grundlagen in der Planung dieser Anlagen zu kennen.

Zusammengefasste Ausführungen finden sich auch in Busch et.al. [Bus81] (vgl. Abbildung 3). So werden Sauger gruppenweise, angepasst an die Trassenführung der Sammler, im Dränabstand parallel zueinander angeordnet. Ihre Länge sollte maximal 500 m betragen, wenn die hydraulische Leistungsfähigkeit gewährleistet ist. Verlaufen Sauger rechtwinklig zur Grenze des Entwässerungsgebietes oder zur Wasserscheide, so sind nach Busch et.al. [Bus81] die Saugerköpfe bis auf ein Viertel des Dränabstandes (a_E) an sie heranzuführen.

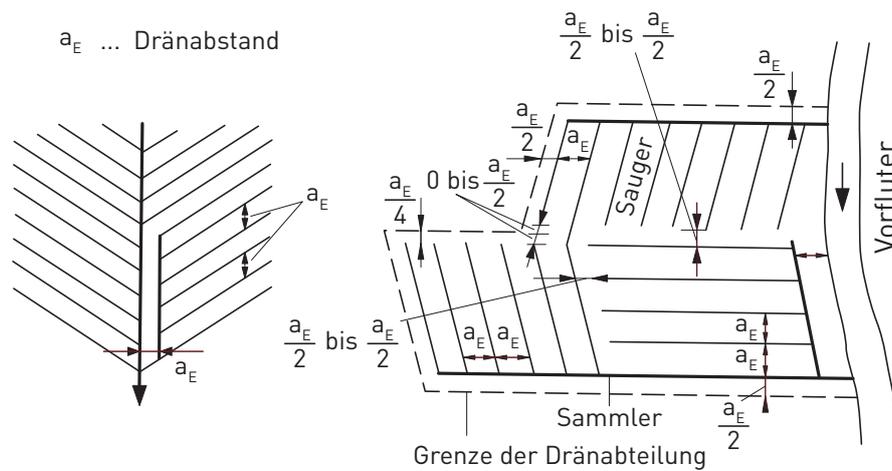


Abbildung 3: Vorgaben zur Ermittlung des Dränabstandes [eigene Abbildung nach [Bus81]]

Bei Sammlern sollte die durchgehende Sammlerlänge nicht mehr als 300 m betragen. Sind Sammler länger, so sind Schächte [in Über- oder Unterflurbauweise] anzuordnen. Die Einmündung der Sauger in den Sammler erfolgt in der Regel von oben (nur bei Gefälleangel seitlich). An Sammlern mit einem Durchmesser von 125 mm und größer sind keine einzelnen Sauger anzuschließen. Diese sind durch parallel zum Hauptsammler (im Abstand von $a \frac{E}{4}$) liegende Nebensammler aufzufangen.

Bei Kreuzungen von Wegen, Straßen, Baumreihen und Hecken müssen gedichtete Leitungen aus Beton-, Steinzeug-, oder Plastrohren verwendet werden. Verläuft ein Sammler parallel zu einem Graben, so sollte der Abstand zwischen beiden gleich dem Dränabstand sein. Verläuft ein Sammler parallel der Grenze einer Dränabteilung, so ist ein Abstand von $a \frac{E}{2}$ einzuhalten.

2.2.4 Grundlagen Dränagedetektion durch Luftbilder

Die Auswertung der verschiedenen Luftbildjahrgänge wurde mit den bestehenden, im Folgenden kurz erklärten Ansätzen, für unbewachsenen und bewachsenen Boden durchgeführt.

Bei den Verfahren, die auf unbewachsenem Boden angewendet werden können, wird der Sachverhalt genutzt, dass dieser direkt über den Dräna gen schneller abtrocknet und durch seinen geringeren Wassergehalt einen höheren Grad der Strahlungsreflexion aufweist. Die bestehenden Ansätze zur Detektion auf unbewachsenen Böden beruhen auf bestimmten, exakt einzuhaltenden Witterungsbedingungen ([TGL85a],

[Spr95], [Ash96], [Rua09], [Naz09]). Der Einsatz von Verfahren für unbewachsenen Boden wird durch Zunahme der Flächen, die konservierend bearbeitet werden, erschwert [Epp08], [SMU13].

Duckstein et.al. [Duc74] konnten durch Felduntersuchungen über vermuteten Saugersträngen eine bis zu 10 cm größere Wuchshöhe der Vegetation gegenüber den umgebenden Pflanzen nachweisen (siehe Abbildung 4). Diese Tatsache führen sie u.a. auf die bessere Durchlüftung des Bodens zurück. Die größere Wuchshöhe ist ein Indikator, der sich über die Luftbildinterpretation gut nachvollziehen lässt.

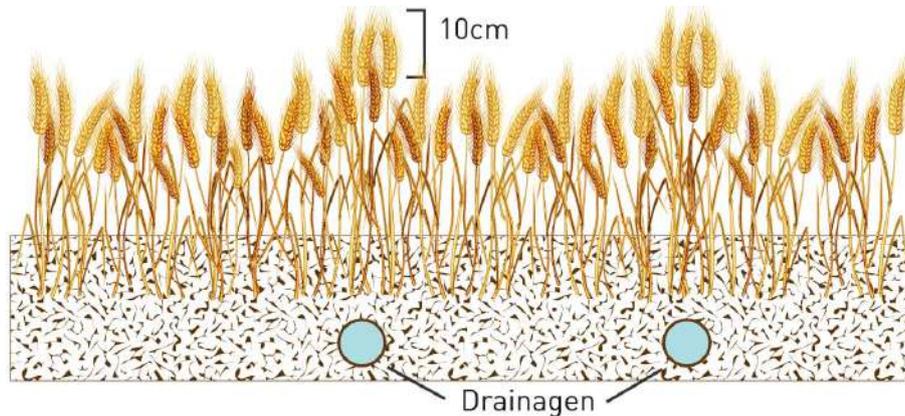


Abbildung 4: Höhenunterschied bei Pflanzen über Dränagen nach [Duc74], [eigene Abbildung]

Kulhavy et al. [Kul05] beschäftigten sich mit der indirekten interpretativen Erkennung von Dränagen auf bewachsenem Boden. Sie untersuchten Getreide- und Grünlandflächen in Tschechien während der Wachstumsperiode von Mai bis September auf einer Fläche von 125 km^2 und nutzten dazu verfügbare panchromatische und RGB-Luftbilder. Auch Tetzlaff et al. [Tet08] gehen auf die Auswertung von RGB-Luftbildern zur Referenzdatengewinnung ein und empfehlen Getreide im Aufwuchs oder Grünlandflächen mit einer geringen Bewuchshöhe.

Im Rahmen der Luftbildauswertung sollen die Wachstumsunterschiede in durch Drohnenflüge erzeugten Geländemodellen nachgewiesen werden (vgl. Kapitel 3.3.3), Außerdem sollen versucht werden die beschriebenen Verfahren weiter zu optimieren und ggf. weitere Auswertungsparameter zu bestimmen (z.B. Schneebedeckung - vgl. Kapitel 3.3.2 a5)

2.2.5 Probleme Melioration

Gesamtdeutsches Phänomen

Der Gesamtanteil der entwässerten Flächen durch Dränagen ist in Ost- und Westdeutschland annähernd gleich. Unterschiede gibt es in der Flächenstruktur. Während in der ehemaligen DDR bedingt durch die Bodenreformen große Flächen unabhängig von Flurstücksgrenzen drainiert wurden, wurden in der BRD Dränagen meist flurstückbezogen in den Boden gebracht. Die Probleme welche sich auf dem Gebiet der Hydromelioration ergeben sind zwar regional verschieden, doch inzwischen ein gesamtdeutsches Phänomen.

Meliorationskataster der DDR / Gesamtdeutsche Betrachtung

Nach der deutschen Wiedervereinigung im Jahre 1990 wurden die mit der Führung des Meliorationskataster beauftragten Meliorationsgenossenschaften aufgelöst, in diesem Zuge sind viele dieser Unterlagen verloren gegangen, bzw. wurden diese ohne eine genaue Zuordnung in Archiven gelagert. Gleichzeitig wurde das Kataster von staatlicher Seite aus nicht weitergeführt. Es wurde auch kein Plan zur Nachsorge und Archivierung der Daten erstellt. Das flächendeckend vorhandene Werk, das ab Mitte der 1980er Jahre zum Teil auch schon digitalisiert in Datenbanken vorlag, ging auf diese Weise nahezu vollständig verloren.

Viele Flächeneigentümer in den fünf neuen Bundesländern haben dadurch keinen Zugang mehr zu den Lageplänen die im Kataster angelegt wurden. Auf Grundlage der derzeitigen uneinheitlichen Datenstruktur erfahren viele dieser Anlagen daher keinerlei Pflege und Wartung, obwohl deren Funktionsfähigkeit von grundlegender Bedeutung für die Ertragssicherheit in der Landwirtschaft ist. Die Digitalisierung der noch vorhandenen Archivunterlagen ist eine logische Konsequenz daraus, doch fehlt es hier noch an geeigneten Instrumenten, um ein solches Projekt in Ostdeutschland umzusetzen. Aus fachlicher Sicht geht an dem Aufarbeiten des DDR-Katasters kein Weg vorbei. Die Zeit drängt hier, denn die Qualität der analogen Unterlagen wird immer schlechter und weitere Archivunterlagen könnten vernichtet werden - es droht ein kompletter Daten- und Wissensverlust. Sollte dies eintreten, wäre das in der jüngeren Geschichte ein beispielloser Vorgang. Unterstützend bedarf es weiterer Verfahren der Dränagedetektion, um die Flächeneigentümer wieder in die Lage zu versetzen die Anlagen nach guter fachlicher Praxis bewirtschaften zu können.

Auf dem Gebiet der BRD oblag die Archivierung der Lagepläne den Flächeneigentümern. Heute sind viele dieser Pläne ebenfalls nicht mehr vorhanden bzw. lassen sich nicht mehr einordnen. Die Ausgangslage ist anderes als in der ehemaligen DDR - das Ergebnis ist jedoch das gleiche. Im Bericht zur Neuabgrenzung benachteiligter Gebiete des Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft an die EU-Kommission im Jahre 2011 [BME10] wird bemängelt, dass zum Thema Melioration keine hinreichend belastbaren Datengrundlagen in Deutschland mehr vorhanden sind.

Abnutzungsvorrat

Seit Beginn der 1990er Jahre wurde der Wartung von Dränflächen und der Pflege der Vorflut aufgrund verschiedener wirtschaftlicher und gesellschaftspolitischer Veränderungen wenig Beachtung geschenkt. Mangelnde Pflege setzt jedoch die Haltbarkeit der Dränagen und damit auch das Ertragspotential der betroffenen Flächen deutlich herab. Die verbauten Anlagen haben bei guter Pflege im Durchschnitt eine Haltbarkeit von 40 bis 50 Jahren. Der Großteil der Dränagen wurde bereits in den 70er Jahren des 20. Jhd. verbaut. Aktuell ist daher die Haltbarkeit der einzelnen Anlagenbestandteile in vielen Fällen bereits deutlich überschritten. Das Eintreten von Schäden lässt sich mit dem sogenannten Abnutzungsvorrat darstellen (vgl. Abbildung 5).

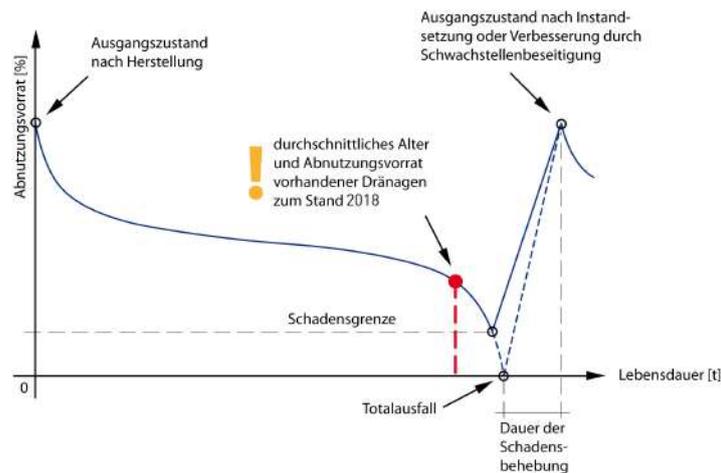


Abbildung 5: Abnutzungsvorrat Dränagen [eigene Abbildung]

Das Versagen von Dränagen und die damit verbundenen Ertragsausfälle durch Vernässung von Standorten wird daher in den kommenden 10 bis 15 Jahren deutlich zunehmen. Die Wirtschaftlichkeit vieler Flächen wird dadurch in Frage gestellt werden. Auf die Landwirtschaft kommt in den kommenden Jahren eine große Herausforderung zu, die es unbedingt zu lösen gilt - die Detektion, Instandhaltung und Sanierung von Altdränagen. Ohne Kenntnis der Lage der einzelnen Dränagen ist diese Aufgabe nur sehr schwer zu bewältigen.

Wissensverlust

Auf dem Gebiet der Melioration hat es in Deutschland seit 1990 einen dramatische Wissensverlust gegeben (vgl. Abbildung 6). Aus verschiedenen wirtschaftlichen und gesellschaftspolitischen Gründen wurde die universitäre Ausbildung in diesem Fach nahezu komplett eingestellt. Auch findet das Fach in den landwirtschaftlichen Fachschulen keine Berücksichtigung mehr. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass in den kommenden Jahren Studenten bzw. Fachschüler in die Praxis kommen welche mit den immer größer werdenden Problemen nicht umzugehen wissen.

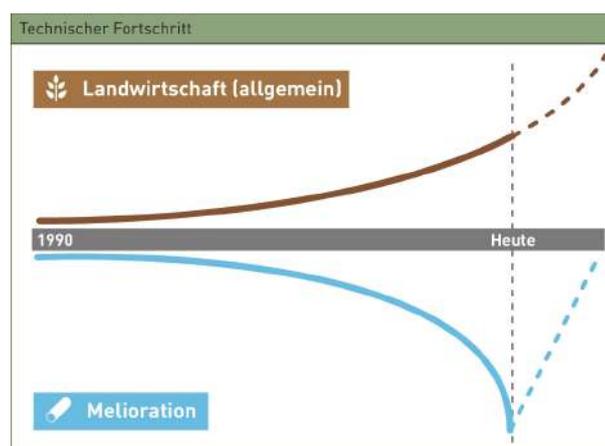


Abbildung 6: Wissensverlust im Fachgebiet der Melioration [eigene Abbildung]

Der Wissensverlust wird die Probleme in diesem Bereich zukünftig deutlich vergrößern. Neben der Privatwirtschaft ist dieser Zustand auch in der politischen Praxis als problematisch anzusehen, denn hier werden zukünftig mehr und mehr Entscheidungen ohne fachliche Expertise getroffen. Um den Herausforderungen im Bereich der Melioration entgegenzutreten bräuchte es einer Bildungs- und Weiterbildungsoffensive.

Probleme Vorflut

Aus Sicht der Melioration kommt der Instandhaltung der Vorfluter eine große Bedeutung zu. Ohne deren ausreichende Pflege können die Dränagen die betreffenden Schläge nicht entwässern. Aktuell ist der Zustand vieler Vorfluter durch Verkräutung und Sohlerhöhung so schlecht, dass es durch den dadurch bedingten Grundwasseranstieg (vgl. Abbildung 7) zu großflächigen Vernässungen und Ernteauffällen kommt.

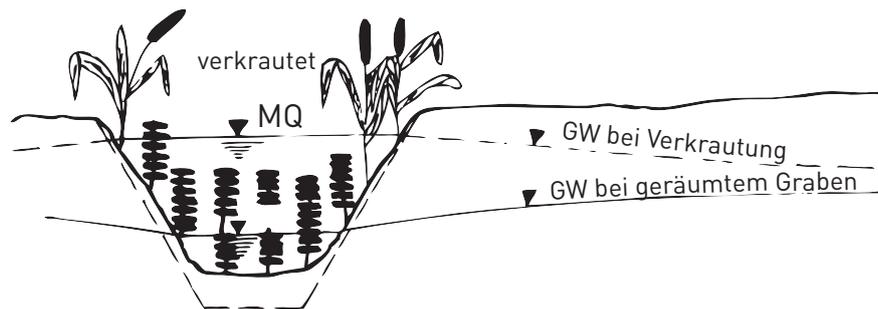


Abbildung 7: Anhebung des Grundwasserstandes bei Verkräutung [eigene Abbildung] nach [Bus81]

Ein weiteres Problem ist, dass ab einem bestimmten Grad der Sohlerhöhung die Dränausmündungen unterhalb der aktuellen Gewässersohle liegen und die angrenzenden Felder nicht mehr entwässern können.

Probleme Sanierung

Vor allem in der ehemaligen DDR wurde viele Dränanlagen über Flurstücksgrenzen hinweg verlegt, da diese Anlage losgelöst von Grund und Boden waren. Eigentümer der Dränagen und damit auch Zuständig für den Unterhalt waren die bauausführenden Firmen. Nach der politischen Wende wurden die Dränagen mit dem Meliorationsanlagengesetz dem betreffenden Flurstück zugeordnet. Damit teilen sich unter Umständen mehrere Eigentümer eine Anlage. Dieser Umstand führt vor allem auf Flächen mit kurzen Pachtzeiten zu einem Sanierungsstau, denn viele Pächter verzichten auf dringend nötige Sanierungsmaßnahmen, aus Angst die erzeugten Kosten nicht wieder erwirtschaften zu können.

Konflikte Umwelt- und Naturschutz

Weitere Herausforderungen die es zu lösen gilt liegen im Bereich des Umwelt- und Naturschutzes. Notwendige Renaturierungsmaßnahmen auf dränierten Flächen lassen sich nur sinnvoll umsetzen wenn die Lage der Dränagen bekannt ist. Auch bei der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie spielt die Kenntnis der Lage von Dränagen eine entscheidende Rolle. Durch das unzureichende Betrachten der Belange der Melioration sind Konflikte in diesem Bereich vorprogrammiert.

Schlussfolgerungen

Die Probleme im Fachgebiet der Melioration sind umfassend und tiefgreifend und können im Rahmen dieses Projektes nur kurz dargestellt werden. Es muss dringend nach Lösungen gesucht werden, sonst droht der langfristige Verlust von wertvollem Kulturland. Auch die Potentiale im Bereich des Umwelt- und Naturschutzes können ohne Lösungsansätze nicht ausgeschöpft werden.

Die OG „Verfahrensentwicklung Detektion Dränagen“ setzt an den beschriebenen Probleme an, und versucht vor allem auf dem Gebiet der Dränagedetektion Lösungen zu entwickeln.

2.2.6 Ausgangssituation

Die Erprobung soll in drei landwirtschaftlichen Betrieben, die sich in ihren Standortverhältnissen (Boden, Relief, Klima) deutlich unterscheiden und damit eine Bandbreite der Agrarräume in Thüringen abbilden, erfolgen. Folgende Agrarunternehmen wurden schließlich Mitglied in der OG :

- Agrargenossenschaft Weißensee e.G. (Geschäftsführung der Kooperation)
- Agrargenossenschaft Niederpölnitz e.G.
- Lever Agrar AG

Die Betriebe stehen exemplarisch für die beschriebenen Probleme auf dem Gebiet der ehemaligen DDR.

Folgende Probleme treten auf:

- fehlende Lagepläne
- kein Zugang zu Archivunterlagen
- kein betriebseigenes Meliorationskataster
- Probleme mit der Vorflut
- überalterte Anlagen (Abnutzungsvorrat)
- Wissensverlust, fehlende Fachkräfte
- Sanierungsstau
- Abnutzungsvorrat überschritten
- Konflikte zwischen Bewirtschaftung sowie Umwelt- und Naturschutz
- Ertragsausfall durch defekte Dränagen

2.2.7 Projektaufgabenstellung

Das vorliegende Vorhaben soll dazu beitragen, Lösungsansätze in diesem Bereich zu entwickeln bzw. zu verbessern. Folgende Arbeitspakete wurden für die OG aufgestellt:

- Weiterentwicklung der Methoden der Detektion von landwirtschaftlichen Entwässerungsanlagen durch Analyse von amtlichen Luft- und Satellitenbildern.
- Weiterentwicklung des TWI-Index zur Dränagedetektion und mögliche Aussagen zur besonderen Gefährdung durch Funktionsausfall von Dränanlagen anhand des TWI auf Basis amtlicher Daten.
- Erprobung der Detektionsverfahren in drei landwirtschaftlichen Betrieben auf einer Fläche von jeweils ca. 200 ha.
- Regelmäßige Luftbilderstellung mittels Drohne auf einem Testschlag pro Betrieb. Auswertung der Drohnenluftbilder hinsichtlich Dränagedetektion, Bodenfeuchteindex und Schadstellen. Analyse der Ergebnisse und Ableitung für die praktische Verwendung.

- Test des Bodenradars auf 3-5 ha für das Auffinden von Dränagen mit dem Ziel der Detektion der Lage der Sauger und Sammler einer Dränanlage.
- Test einer Drucksonde für Dränspülgeräte an einer Dränabteilung zur Ermittlung von möglichen Schadstellen und zur Einschätzung der Funktionstüchtigkeit einer Dränanlage.
- Praktische Untersuchung der Dränagen auf den Testflächen. Soweit möglich Befahrung, Ortung und Vermessung von Anlagenbestandteilen.
- Analyse in den Praxisbetrieben hinsichtlich der bisherigen Arbeitsweisen im Bereich der Melioration.
- Test und Implementierung der durch die Detektion gewonnenen Dränagen in die Schlagverwaltung Betriebe.
- Test und Einführung eines betriebseigenen digitalen Meliorationskatasters
- Nach eingehender Analyse der Testflächen möglicherweise Sanierung einer Dränabteilung pro Betrieb. Die dementsprechenden Abteilungen werden aus der Auswertung der Dränagedetektion, sowie den Daten der Schadensanalyse mittels Luftbild und den Daten des Bodenscans gewonnenen. Die Sanierung wird bei Bedarf von den Betrieben unter Eigenregie vorgenommen.
- Entwicklung einer Handlungsempfehlung/ Schulungsunterlage für die Instandhaltung/ Instandsetzung von Dränanlagen
- Stand der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Umsetzung der Instandhaltung landwirtschaftlicher Entwässerungsanlagen
- Einbindung der Ergebnisse der wissenschaftlichen Arbeiten von Studenten der beteiligten Forschungseinrichtungen
- Durchführung eines abschließendes Feldtages.

2.3 Zusammenarbeit der OG

Nach der Bewilligung des Projektes fand eine Startveranstaltung statt, in der alle inhaltlichen Absprachen zur Zeit- und Arbeitsplanungen besprochen wurden. Über die gesamte Projektlaufzeit gab es regelmäßig weitere Treffen zur Projektorganisation. Arbeitsbesprechungen fanden zum Teil auch einzeln in den Praxisbetrieben statt, um die dortigen Maßnahmen gezielt planen zu können. Regelmäßig tauschten sich die Mitglieder der OG über Telefon bzw. E-Mail aus. Für den Datenaustausch wurde von Apus System eine gesicherte Cloud eingerichtet und zur Verfügung gestellt. Das Projekt wurde mit einem Praxistag in Weißensee beendet. Dort wurden den beteiligten die Ergebnisse durch Apus Systems vorgestellt. Anschließend wurden die Testflächen der Agrargesellschaft Weißensee gemeinsam besichtigt. Im praktischen Teil der Abschlussveranstaltung erhielten die Beteiligten auch einen Einblick in die Luftbilderstellung mittels Drohnen und konnten ihre Fertigkeiten als Drohnenpiloten beweisen.

2.3.1 Mehrwert der OG

Für die Mitglieder der OG haben sich durch das Projekt zahlreiche Mehrwerte ergeben. Durch die Zusammenarbeit zwischen Praxis, Forschung und Entwicklung konnten Lösungen entwickelt werden, die den jeweiligen Betrieben bzw. Einrichtungen in der zukünftigen Arbeit von Vorteil sein werden. Der gute fachliche Austausch in der Projektphase hat zum Erfolg der OG beigetragen. Durch das Projekt wurden alle Beteiligten für das Thema der Melioration sensibilisiert.

2.3.2 Weitere Zusammenarbeit nach dem Projekt

Ein weitere Zusammenarbeit zwischen den Mitgliedern der OG ist nach Projektende vorgesehen. So soll in den Praxisbetrieben das Thema Melioration zusammen mit Apus Systems weiter bearbeitet werden. Eine weitere Kooperation wird es auch mit den universitären Einrichtungen geben, um die Forschung zu diesem Thema voranzubringen. Auch der fachliche Austausch mit der Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum wird weitergeführt.

3 Ergebnisse des Innovationsprojektes

3.1 Zielerreichung

Das übergordnete Ziel im Rahmen der OG Lösungsansätze für die Detektion von Dränagen zu optimieren bzw. zu entwickeln wurde in vollen Umfang erreicht. Eine Übersicht über die Zielerreichung der einzelnen Arbeitsschritte steht im Folgenden:

- Weiterentwicklung der Methoden der Detektion von landwirtschaftlichen Entwässerungsanlagen durch Analyse von amtlichen Luft- und Satellitenbildern.
✓ **Ziel erreicht - jedoch angepasst (vgl. Kapitel 3.2)**
- Weiterentwicklung des TWI-Index zur Dränagedetektion und mögliche Aussagen zur besonderen Gefährdung durch Funktionsausfall von Dränanlagen anhand des TWI auf Basis amtlicher Daten.
✓ **Ziel erreicht**
- Erprobung der Detektionsverfahren in drei landwirtschaftlichen Betrieben auf einer Fläche von jeweils ca. 200 ha.
✓ **Ziel erreicht**
- Regelmäßige Luftbilderstellung mittels Drohne auf einem Testschlag pro Betrieb. Auswertung der Drohnenluftbilder hinsichtlich Dränagedetektion, Bodenfeuchteindex und Schadstellen. Analyse der Ergebnisse und Ableitung für die praktische Verwendung.
✓ **Ziel erreicht**
- Test des Bodenradars auf 3-5 ha für das Auffinden von Dränagen mit dem Ziel der Detektion der Lage der Sauger und Sammler einer Dränanlage.
✓ **Ziel erreicht**
- Test einer Drucksonde für Dränspülgeräte an einer Dränabteilung zur Ermittlung von möglichen Schadstellen und zur Einschätzung der Funktionstüchtigkeit einer Dränanlage.
— **Ziel wurde nicht erreicht (vgl. Kapitel 3.2)**
- Praktische Untersuchung der Dränagen auf den Testflächen. Soweit möglich Befahrung, Ortung und Vermessung von Anlagenbestandteilen.
✓ **Ziel erreicht**
- Analyse in den Praxisbetrieben hinsichtlich der bisherigen Arbeitsweisen im Bereich der Melioration.
✓ **Ziel erreicht**
- Test und Implementierung der durch die Detektion gewonnenen Dränagen in die Schlagverwaltung Betriebe.
✓ **Ziel erreicht**

- Test und Einführung eines betriebseigenen digitalen Meliorationskatasters
✓ **Ziel erreicht**
- Nach eingehender Analyse der Testflächen möglicherweise Sanierung einer Dränabteilung pro Betrieb. Die dementsprechenden Abteilungen werden aus der Auswertung der Dränagedetektion, sowie den Daten der Schadensanalyse mittels Luftbild und den Daten des Bodenscans gewonnenen. Die Sanierung wird bei Bedarf von den Betrieben unter Eigenregie vorgenommen.
— **Ziel wurde angepasst (vgl. Kapitel 3.2)**
- Entwicklung einer Handlungsempfehlung/ Schulungsunterlage für die Instandhaltung/ Instandsetzung von Dränanlagen
✓ **Ziel erreicht**
- Stand der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Umsetzung der Instandhaltung landwirtschaftlicher Entwässerungsanlagen
✓ **Ziel erreicht**
- Einbindung der Ergebnisse der wissenschaftlichen Arbeiten von Studenten der beteiligten Forschungseinrichtungen
✓ **Ziel erreicht, musste aber angepasst werden (vgl. Kapitel 3.2)**
- Durchführung eines abschließendes Feldtages.
✓ **Ziel erreicht**

3.2 Abweichung zum Plan

Weiterentwicklung der Methoden der Detektion von landwirtschaftlichen Entwässerungsanlagen durch Analyse von amtlichen Luft- und Satellitenbildern

Das Ziel wurde erreicht, wurde jedoch im Projektverlauf angepasst. In der Projektskizze war die Kostspflichtige Bestellung von Satellitenbildern vorgesehen. Im Projekt konnte zur Auswertung jedoch auf kostenfreie Bilder zurückgegriffen werden. Dadurch die freien Mittel konnten die Analysen der amtlichen Luftbilder genauer und tiefgreifender durchgeführt werden.

Einsatz Spülgerät - Ziel nicht erreicht

In der Projektskizze zum Vorhaben war der Test eines neuartigen Spülgerätes für Dränagen der Firma S-S Engineering B.V. vorgesehen. Nach einem genauen Studium der technischen Komponenten des Gerätes wurde auf einen Test im Rahmen des Projektes verzichtet, da durch dessen Einsatz keine neuen Erkenntnisse hinsichtlich des Einsatzes von Spülgeräten zu erwarten waren.

Sanierung Dränagen - Ziel angepasst

In der Projektskizze war pro Betrieb die Sanierung einer Dränabteilung vorgesehen. Als Sanierungsgebiete waren jeweils die Testflächen der Drohnenflüge angedacht, um die Ergebnisse der Sanierungen regelmäßig dokumentieren zu können. Hier musste nach der Auswertung der praktischen Arbeiten eine Anpassung der Ziele vorgenommen werden.

Weißensee:

Auf der Drohnentestfläche wurden deutliche Schäden detektiert (vgl. Abbildung 15). Als Hauptursache wurde der Zustand der Vorflut ausgemacht. Die Dränausmündungen lagen unter der aktuellen Grabensohle. Im Bereich der Ausmündungen wurde eine Notreparatur vorgenommen, in dem diese freigelegt wurden. Durch den Rückstau in die Dränagen sind inzwischen auch die Sammler und Sauer beschädigt. Eine Sanierung der Anlage kann erst durchgeführt werden, wenn die Vorflut in einem Zustand versetzt wird der

es ermöglicht das die Dränagen wieder ungehindert entwässern können. Hier sind auch nach Abschluss des Vorhabens noch weitere Abstimmungen notwendig, um eine Sanierung durchführen zu können. Anstelle der Sanierung wurde die Überprüfung der Lagegenauigkeit der durch Luftbilder detektierten Dränagen als ein Arbeitsschritt in das Projekt aufgenommen.

Niederpöllnitz:

Auf der Drohnentestfläche wurden zahlreiche Schadstellen dokumentiert (vgl. Abbildung 18), es bestand jedoch kein akuter Handlungsbedarf zur Sanierung der Anlage. Vielmehr wurde die Projektzeit genutzt, um die Fläche genau zu analysieren, um mögliche Ursachen herauszufiltern. Außerdem wurden wie auch in Weißensee Probegrabungen zur Überprüfung der Lagegenauigkeit der durch Luftbilder detektierten Dränagen unternommen. Auch hier wird es nach Abschluss des Projektes weitere Untersuchungen geben, um eine gezielte Sanierung der Fläche anzugehen.

Lever: Auf dem Drohnentestschlag wurden keinen schadhaften Bereiche dokumentiert. Lediglich an einer Dränauströmung wurden Schäden beseitigt. Auch hier wurde stattdessen die Fläche noch genauer untersucht, um gezieltere Informationen gewinnen zu können.

Abschlussarbeiten - Ziel angepasst

Insgesamt waren in dem Projekt vier wissenschaftliche Arbeiten geplant (vgl. Kapitel 3.4). Um vom Drohnentestschlag in Weißensee Aussagen über Bodenverdichtung und Bodenfeuchte zu bekommen war in Zusammenarbeit mit der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg eine Abschlussarbeit vorgesehen. Dabei sollten punktuell die bezeichneten Parameter gemessen werden, um daraus möglicherweise eine Aussage zum Zustand der Dränagen ableiten zu können. Die Abschlussarbeit konnte jedoch nicht durchgeführt werden, da unser Ansprechpartner Prof. Meißner während der Projektzeit in den Ruhestand gegangen ist. Durch Kontaktvermittlung gelang es jedoch diese Arbeit in Kooperation mit dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung adäquat zu ersetzen (vgl. Kapitel 3.3.6). Das eingesetzte Verfahren der Neutronendetektion zur Messung der Bodenfeuchte ist innovativ und wegweisend.

3.3 Untersuchte Methoden

3.3.1 Feldarbeit

Die Feldarbeit war während der gesamten Projektlaufzeit ein wichtiger Punkt, um gewonnen Erkenntnisse in der Praxis überprüfen zu können. In allen drei landwirtschaftlichen Betrieben wurden die Flächen regelmäßig begangen und untersucht.

Folgende Arbeiten wurden maßgeblich durchgeführt:

- Befahrung Dränagen mit ortbarer Glasfasersonde
- Ortung Dränage
- Befahrung Dränage mit Rohrkamera
- Vermessung von Punkten mit einer GNSS-Antenne mit RTK-Korrektur
- Überprüfen der Lagegenauigkeit detektierter Drängen durch Luftbilder und TWI
- Vermessen von Schadstellen
- Regelmäßige Befliegung der Testflächen mit einer Drohne (vgl. Kapitel 3.3.2.a)
- Test Leitfähigkeitsmessung - nur Weißensee (vgl. Kapitel 3.3.5)

- Test Neutronendetektion zur Bodenfeuchtebestimmung - nur Weißensee (vgl. Kapitel 3.3.6)

Auch wenn die Schadensbilder an den Dränagen auf den einzelnen Flächen stark variieren lässt sich das Fazit ziehen, dass der Großteil der Anlagen in einem schlechten bis sehr schlechten Zustand ist. Vor allem in Verbindung mit Sohlerrhöhung in der Vorflut treten die Schäden gehäuft auf.

Beispielhaft hierfür steht der Feldblock AL48321C06 in Weißensee. Hier war das Auffinden von Dränausmündungen nur mit den Ergebnissen der Luftbildauswertung möglich. Mit den vermuteten Koordinaten konnten die Ausmündungen mit einer Genauigkeit zwischen 15 bis 40 cm gefunden werden (vgl. Abbildung 8).



Abbildung 8: Feldblock AL48321C06 - Suche der Ausmündungen über Koordinaten[Eigene Abbildung]

Da alle Ausmündungen in diesem Bereich im Schnitt ca. 15 cm unter der aktuellen Grabensohle lagen (vgl. Abbildung 9) wäre eine Suche ohne Koordinaten erfolglos geblieben, bzw. hätten aufwendige Grabungen unternommen werden müssen.



Abbildung 9: Feldblock AL48321C06 - Dränausmündung unter der aktuellen Grabensohle [Eigene Abbildung]

Bei der Befahrung der gefundenen Ausmündungen und der dazugehörigen Sammler mit Ortungssonde bzw.

Rohrkamera konnte festgestellt werden, dass die Dränagen zum Teil mit bis zu 90% mit Sediment zugesetzt sind. Diese Ablagerungen sind direkte Folgeschäden durch den verminderten Abfluss der Dränagen. Die Selbstreinigung der Anlagen ist nicht mehr gegeben. Der dadurch entstandene Schaden lässt sich direkt beziffern und wurde im Kapitel 3.3.2.a-5 Beispielhaft für Raps ausgerechnet.

3.3.2 Orthophotos

Ein Hauptschwerpunkt des Projektes war die Untersuchung von Flächen durch digitale Orthophotos. Ein Ziel war es, die Aufnahmezeitpunkte so zu spezifizieren, dass Dränagen mit hoher Wahrscheinlichkeit detektierbar sind. Ein weiteres, Kosten und Nutzen von verschiedenen Aufnahmetechnologien zu ermitteln und zu vergleichen.

Als für dieses Projekt sinnvolle Quellen zur Generierung von Orthophotos kommen folgende Möglichkeiten in Betracht:

- Orthophotos durch UAV
- Amtliche Orthophotos
- Satellitendaten

Folgende Vor- und Nachteile ergeben sich aus den aufgeführten Möglichkeiten.

Aufnahmequelle	Orthophotos durch UAV	Amtliche Orthophotos	Satellitendaten
Kosten	ca. 20 EUR / ha	0 - 0,1 EUR / ha	0 - 0,18 EUR / ha
Aufwand	hoch	gering	mittel
Bodenauflösung	ca. 1 - 3 cm	10 - 20 cm	60cm - 30m
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Aufnahmezeitpunkt kann selbst bestimmt werden - sehr hohe Auflösung - kann über den Zweck der Dränagedetektion hinaus gut weiterverwendet werden - kann durch Betrieb selbst durchgeführt werden - dadurch Kosteneinsparung 	<ul style="list-style-type: none"> - sehr geringe Kosten - über WebMapService schnelle Verfügbarkeit und Einbindung 	<ul style="list-style-type: none"> - abhängig vom Anbieter sehr hohe Aufnahmedichte (wenige Tage) - geringe Kosten bei großer Fläche
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Kosten - hoher zeitlicher Aufwand 	<ul style="list-style-type: none"> - Aufnahmezeitraum kann nicht selbst bestimmt werden - Aufnahme sehr selten (Turnus 2 Jahre) 	<ul style="list-style-type: none"> - kostenpflichtige Anbieter i.d.R. min 25km² Abnahmemenge - teilweise nicht verwertbare Auflösung für Dränagedetektion

Tabelle 4: Vergleich Orthophotos diverser Quellen

a) Orthophotos durch UAV

Im Rahmen des Vorhabens wurde durch Apus Systems zwischen 2017 und 2019 drei Versuchsflächen mittels [Unmanned Aerial Vehicle \(UAV\)](#) befliegen und RGB-DOP erstellt. Ziel war es eine konkretere Aussage über den Aufnahmezeitpunkt in Korrelation zu Boden, Höhenlage und Anbaufrucht zu treffen - wann sich Dränagen durch eine UAV-Befliegung zeigen. Zur lagegenauen Referenzierung wurden [Ground Control Point \(GCP\)](#)'s verwendet.

a-1) Hardware

Für das Vorhaben wurden zwei verschiedene UAV verwendet. Begonnen wurden die Untersuchungen mittels eines durch die Firma Apus Systems konfektionierten Copter. Dabei wurde das Gestell (engl. Frame) der Firma DJI¹ verwendet. Um zur damaligen Zeit 2016/17 im Rahmen von Forschungsarbeiten flexibel agieren zu können wurde der Open-Source Autopilot Pixhawk PX4² verwendet. Für die Arbeit war diese Konfiguration absolut solide jedoch mit entsprechenden zeitlichen und finanziellen Aufwand bezüglich Konfiguration und Robustheit des Systems verbunden. Auch heute noch hat eine solche Copter-Plattform seine Daseinsberechtigung z.B. in anderen Spezialbereichen wie der Ausbringung von Trichogramma.

Im Laufe des Vorhabens etablierte sich die Fa. DJI so schnell und stark am Markt, dass deutlich günstigere "Out-of-the-box"-Systeme mit vergleichbaren Funktionen bei deutlich leichterem Gesamtabfluggewicht die Aufgaben erfüllten.

Aufgrund dieser Schnellebigkeit soll hier nur kurz auf die Technik eingegangen werden.



Abbildung 10: Frame: S900/DJI mit Pixhawk PX4



Abbildung 11: Phantom 4 Pro V2/DJI

Name	DJI 900 / Pixhawk PX4	DJI Phantom 4 Pro V2
Nutzlast	bis zu 2kg	Kamera inkl.
Abfluggewicht	ab 4,7kg	1,4kg
Flugzeit	bis zu 30min	bis zu 30min
Fluggeschwindigkeit	bis zu 50km/h	bis zu 72km/h
Kamera	Sony DSC-RX 100 II	integriert
GSD	2,7cm/px bei 100m above ground level (AGL)	2,7cm/px bei 100m AGL
Sensor	1"CMOS / 20 MP	1"CMOS / 20 MP
Kosten	ca. 6.000 EUR inkl. Kamera	ca. 2.500 EUR
Fazit	<ul style="list-style-type: none"> + hohe Nutzlast für Spezialeinsatze - Preis - erfordert viel Sachverstand - anspruchsvollere Flugplanung 	<ul style="list-style-type: none"> + Preis + sehr einfach zu bedienen + geringeres Gewicht + schnellere Flugplanung per App

Tabelle 5: Vergleich UAV-Hardware

¹<https://www.dji.com/de>

²<https://pixhawk.org/>

a-2) Software

Für die photogrammetrische Aufarbeitung der Einzelbilder zu einem DOP wurde Agisoft Metashape³ verwendet. Jede Drohnenbefliegung wurde mit dieser Software ausgewertet.

Folgender Bericht gibt beispielhaft einen Überblick über die Prozessschritte und deren Parameter am Beispiel der Befliegung des Feldblocks AL52372C07 der Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G am 10.05.2017.

Für die Verrechnung mittels externer nVidia GeForce GTX 1070 und 8GB GPU-RAM beträgt die Verarbeitungszeit ca. 3-4 Stunden (siehe Verarbeitungsparameter) exkl. Setzen von Passpunkten.

³<https://www.agisoft.com/>

Befliegung 10.05.2017

Verarbeitungsbericht

Drohne: S900 (5kg)

04 Oktober 2017



Bezugsfläche

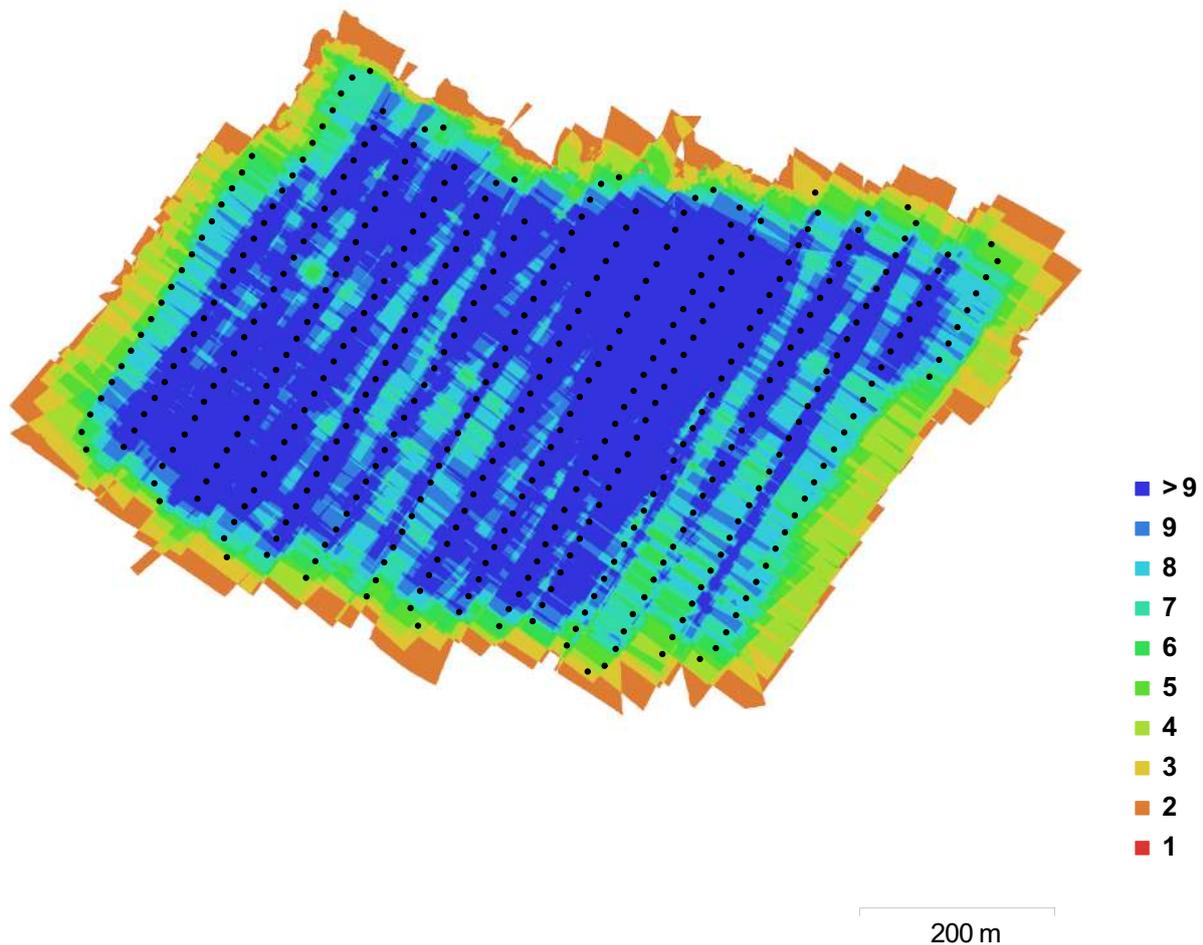


Fig. 1. Kamerapositionen und Bildüberlappung.

Anzahl der Bilder:	418	Kamerastationen:	418
Flughöhe:	99.8 m	Verknüpfungspunkte:	69,075
Bodenauflösung:	2.15 cm/pix	Projektionen:	420,974
Deckungsbereich:	0.462 km ²	Reprojektionsfehler:	1.61 pix

Kameramodell	Auflösung	Brennweite	Pixelgröße	Vorkalibriert
DSC-RX100M2 (10.4 mm)	5472 x 3648	10.4 mm	2.44 x 2.44 um	Nein

Tabelle 1. Kameras.

Kamera-Kalibrierung

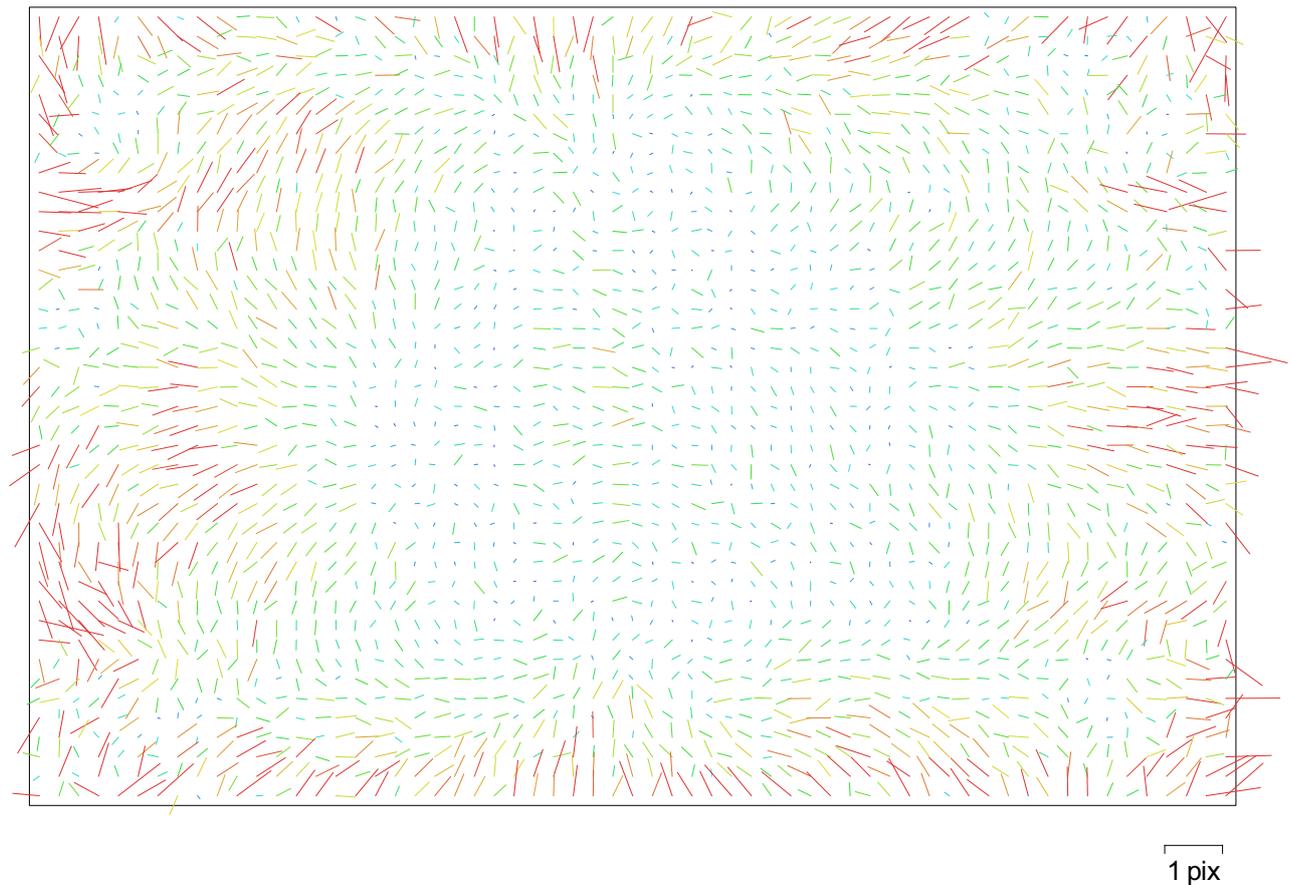


Fig. 2. Bildrestwerte für DSC-RX100M2 (10.4 mm).

DSC-RX100M2 (10.4 mm)

418 Bilder

Auflösung 5472 x 3648	Brennweite 10.4 mm	Pixelgröße 2.44 x 2.44 um	Vorkalibriert Nein
Typ:	Standard	F:	4337.78
Cx:	-6.00618	B1:	-0.981125
Cy:	31.7574	B2:	-0.00231551
K1:	0.00309671	P1:	-0.000727712
K2:	-0.0155271	P2:	0.00123923
K3:	0.0004662	P3:	-0.723444
K4:	0.0140514	P4:	0.546759

Bodenkontrollpunkte



Fig. 3. Bodenkontrollpunktpositionen.

Anzahl	Fehler X (cm)	Fehler Y (cm)	Fehler Z (cm)	XY Fehler (cm)	Gesamt (cm)	Bild (pix)
9	1.83729	2.72169	4.31856	3.28378	5.42524	0.181

Tabelle 2. Kontrollpunkte RMSE.

Name	Fehler X (cm)	Fehler Y (cm)	Fehler Z (cm)	Gesamt (cm)	Bild (pix)
point 1	-1.18112	4.35418	-5.62426	7.21014	0.213 (9)
point 2	-2.35718	-6.45808	10.3704	12.4422	0.450 (5)
point 3	-0.0304687	0.277307	0.410479	0.496307	0.069 (7)
point 4	-1.02738	0.360297	0.567388	1.2277	0.108 (10)
point 6	1.18773	-0.782177	-1.74219	2.24894	0.072 (6)
point 7	-0.556175	0.300801	0.414837	0.756242	0.077 (6)
point 8	-1.16907	2.06831	-0.0269546	2.37599	0.049 (5)
point 9	4.35427	-0.563352	-4.91849	6.59307	0.229 (4)
point 11	0.571381	0.705952	0.885004	1.2681	0.100 (7)
Gesamt	1.83729	2.72169	4.31856	5.42524	0.181

Tabelle 3. Kontrollpunkte.

Digitales Höhenmodell

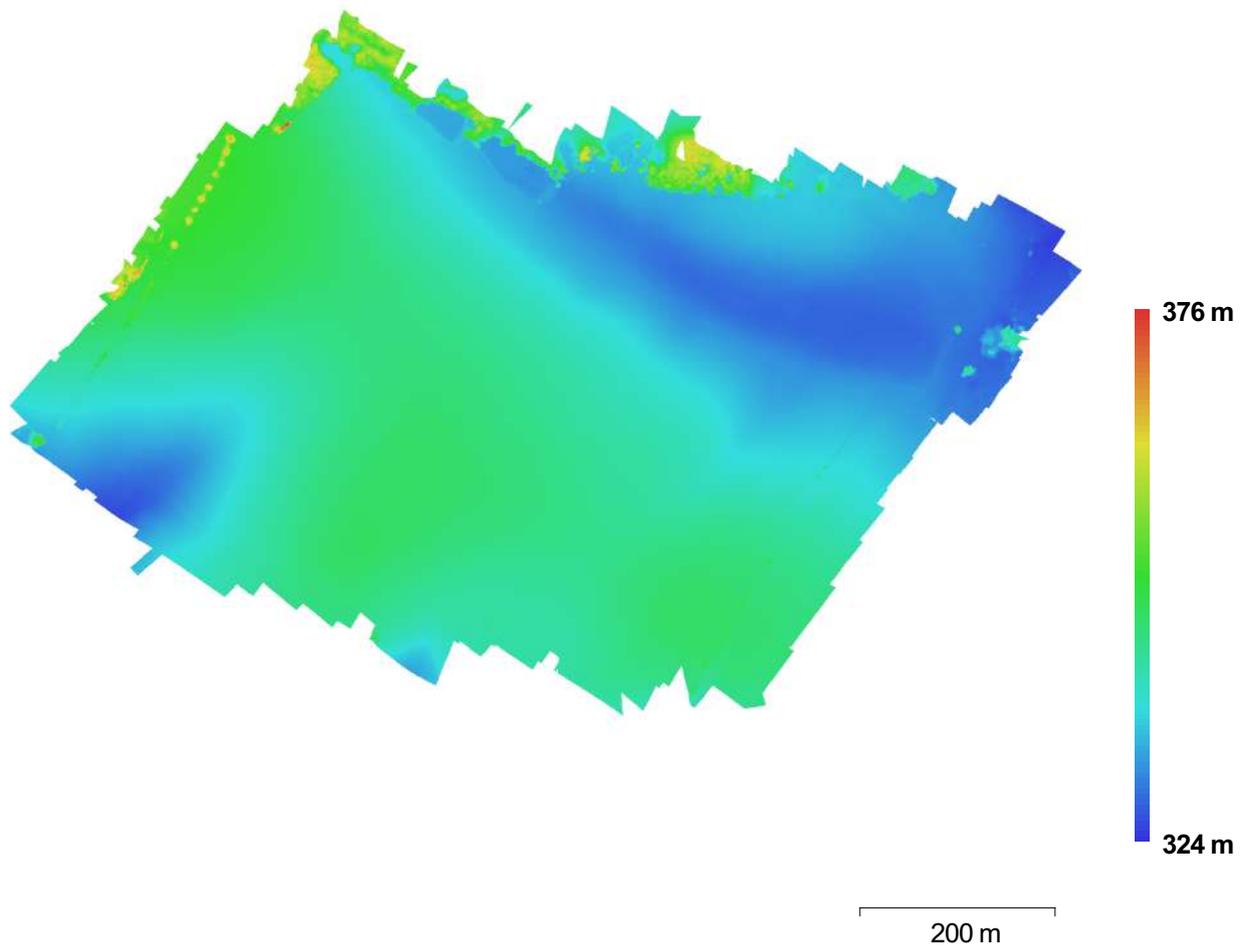


Fig. 4. Rekonstruiertes digitales Höhenmodell.

Auflösung: 8.59 cm/pix
Punktedichte: 136 Punkte/m²

Verarbeitungsparameter

Allgemein

Kameras	418
Ausgerichtet Kameras	418
Markierungen	9
Koordinatensystem	WGS 84 (EPSG:4326)

Punktwolke

Punkte	69,075 von 73,904
Effektiver Reprojektionsfehler	0.30692 (1.61189 pix)
Max. Reprojektionsfehler	4.37332 (33.413 pix)
Mittlere Schlüsselpunktgröße	5.50398 pix
Effektive Überlappung	6.20519

Ausrichtungparameter

Genauigkeit	Mittel
Paar-Vorauswahl	Referenz
Schlüsselpunklimit	40,000
Verknüpfungspunktelimit	1,000
Merkmale durch Maske beschränken	Nein
Adaptive Kamera-Modellanpassung	Ja
Zeit für Abgleich	41 Minuten 34 Sekunden
Zeit für Ausrichtung	1 Minute 30 Sekunden

Optimierungsparameter

Parameter	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1-p4
Zeit für Optimierung	15 Sekunden

Dichte Punktwolke

Punkte	65,706,106
--------	------------

Rekonstruktionsparameter

Qualität	Mittel
Tiefenfilterung	Aggressiv
Zeit Tiefenbilder generiert	2 Stunden 3 Minuten
Zeit dichte Punktwolke generiert	46 Minuten 1 Sekunde

DEM

Größe	14,122 x 10,181
Koordinatensystem	WGS 84 (EPSG:4326)

Rekonstruktionsparameter

Quelldaten	Dichte Punktwolke
Interpolation	An
Verarbeitungszeit	2 Minuten 34 Sekunden

Orthomosaik

Größe	51,233 x 33,948
Koordinatensystem	WGS 84 (EPSG:4326)
Kanäle	3, uint8
Überlagerungsmodus	Mosaik

Rekonstruktionsparameter

Oberfläche	DEM
Farbkorrektur aktivieren	Nein
Verarbeitungszeit	28 Minuten 30 Sekunden

Software

Version	1.2.6 build 2834
Plattform	Windows 64 bit

a-3) Übersicht Versuchsflächen



Abbildung 12: Durch UAV beflogene Feldblöcke in Thüringen zwischen 2017-2019 [Eigene Abbildung]

	Gesamt	Weißensee	Lever	Niederpöllnitz
Anzahl Flüge	24	8	8	8
Ausgangsdaten	52GB	12GB	16GB	24GB
Ergebnisdaten	112GB	24GB	40GB	48GB
Bilder	5280	1280	1600	2400
Bodenart		Lehm, tonig – Schwarzgley (über Mergel, Ton, Torf, mässig vernässt)	Löss, sandig – Braunerde/ -Parabraunerde	Sandiger Lehm (vorw. Sedimente des Unteren Bundsandsteins)
beflogene Fläche	598,32ha	23,04ha Schlag / 184,32ha	17,32ha Schlag / 138,56ha	34,43ha Schlag / 275,44ha
Detektierte Dränage	20959,9m	1803,9m	-	19156,0m

Tabelle 6: Übersicht Versuchsflächen für UAV [Eigene Erhebung]

a-4) Feldblock AL45264G02 / Lever Agrar AG

Nr.	Aufnahme	Copter	Fruchtart	GSD(Ortho/DOM)	GCP	Dränage
1	11.05.2017	S900	Weizen	1,89cm/px / 7,57cm/px	6	-
2	28.06.2017	Phantom 4 Pro	Weizen	2,46cm/px / 9,82cm/px	3	-
3	18.10.2017	Phantom 4 Pro	kein Bestand	2,56cm/px / 10,26cm/px	6	-
4	09.04.2018	Phantom 4 Pro	Weizen	2,51cm/px / 10cm/px	4	-
5	06.11.2018	Phantom 4 Pro	Zwischenfrucht	2,62cm/px / 10,5cm/px	4	-
6	22.08.2019	Phantom 4 Pro	Zuckerrüben	2,57cm/px / 10,3cm/px	3	-
7	12.12.2019	Phantom 4 Pro	kein Bestand	2,63cm/px / 9,8cm/px	3	-
8	27.12.2019	Phantom 4 Pro	kein Bestand	2,54cm/ox / 10,2cm/px	3	-

Tabelle 7: Auswertung UAV / Dränage - Lever Agrar AG [Eigene Erhebung]

Über den gesamten Zeitraum der Untersuchung konnten lediglich Dränagen mittels amtlichen Orthophotos (siehe Abbildung 13) detektiert werden.

Die Befliegungen Nr. 3,7 und 8 ohne Bestand erfolgte bei niederschlagsfreien Bedingungen und konnten hier durch die Homogenität des Bodens keine Unterschiede durch Dränage zeichnen. Zeiträume zwischen Juni bis Oktober sowie Dezember bei Schneebedeckung von ca. 5cm ergaben ebenfalls keine Ergebnisse.



Abbildung 13: UAV-DOP mit 1,89cm/pix GSD vom 11.05.2017 inklusive detektierter Dränagen[Eigene Abbildung]

a-5) Feldblock AL48321C06 / Agrargenossenschaft Weißensee e.G.

Nr.	Aufnahme	Copter	Fruchtart	GSD(Ortho/DOM)	GCP	Dränage
1	05.10.2017	S900	Winterraps	2,12cm/px / 8,46cm/px	6	
2	28.06.2017	S900	Winterraps	2,61cm/px / 5,23cm/px	4	96,5m
3	28.09.2017	Phantom 4 Pro	kein Bestand	2,68cm/px / 21,4cm/px	4	
4	10.01.2018	Phantom 4 Pro	Winterdurum	2,57cm/px / 5,13cm/px	4	
5	09.04.2018	Phantom 4 Pro	Winterdurum	2,64cm/px / 10,6cm/px	5	686,4m
6	27.04.2018	Phantom 4 Pro	Winterdurum	2,61cm/px / 10,5cm/px	5	1021,0m
7	22.08.2019	Phantom 4 Pro	kein Bestand	2,84cm/px / 11,3cm/px	4	
8	04.12.2019	Phantom 4 Pro	Winterweizen	2,57cm/px / 10,4cm/px	4	

Tabelle 8: Auswertung UAV / Dränage - Agrargenossenschaft Weißensee e.G. [Eigene Erhebung]



Abbildung 14: UAV-DOP mit 2,64cm/pix GSD vom 09.04.2018 inklusive detektierter Dränagen [Eigene Abbildung]



Abbildung 15: Dränagen unter Winterdurum am 27.04.2018 [Feldblock AL48321C06 / Agrargenossenschaft Weißensee e.G.] [Eigene Abbildung]

Die Schadstellenanalyse (siehe Abbildung 15 und 16) zeigt starke Vernässungsbereiche im Vorflutbereich nördlich des Schlages. Die mangelnde Vorflutpflege bzw. Verkrautung wirkt hier bis in die Fläche hinein. Teilweise lagen Ausmündungen unterhalb der Gewässersohle und verursachten damit einen Rückstau in die Fläche. Bedingt durch den Rückstau ist die Selbstreinigung der Dränagen nicht mehr gewährleistet und es kommt infolge von Sedimentablagerungen zur Schädigung im gesamten Anlagenbereich.

Anhand des im Rahmen dieses Projektes entwickelten Tools zur Ertragsausfallberechnung (vgl. Kapitel 3.5.2) wurden auf dem Feldblock AL48321C06 mit ca. 3,4ha Totalausfall im Raps ein Ertragsausfall von 4473,98 EUR bei einem durchschnittlicher Ertrag von 29,90 dt/ha [Bun] berechnet.

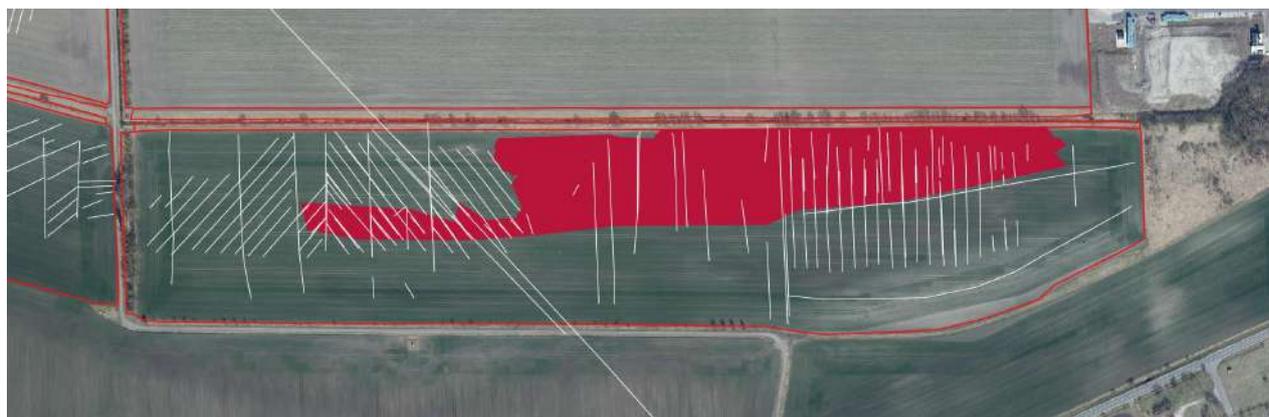


Abbildung 16: Verschneidung detektierte Dränagen mit Schadstellen [Feldblock AL48321C06 / Agrargenossenschaft Weißensee e.G.] [Eigene Abbildung]

a-6) Feldblock AL45264G02 / Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G

Als Besonderheit auf dem Schlag in Niederpöllnitz ist anzusehen, das in allen drei Versuchsjahren Luzerne als Fruchtart vorhanden war, so war es möglich eine Zeitreihe für eine Fruchtart über drei Jahre zu erstellen.

Nr.	Aufnahme	Copter	Fruchtart	GSD(Ortho/DOM)	GCP	Dränage
1	22.03.2017	S900	kein Bestand	2,22cm/px / 8,86cm/px	13	-
2	10.05.2017	S900	Luzerne	2,15cm/px / 8,59cm/px	9	3514,5m
3	18.10.2017	Phantom 4 Pro	Luzerne	2,66cm/px / 10,64cm/px	7	-
4	10.01.2018	Phantom 4 Pro	Luzerne	3,05cm/px / 12,19cm/px	5	-
5	27.04.2018	Phantom 4 Pro	Luzerne	2,52cm/px / 10,1cm/px	5	9201,5m
6	22.08.2019	Phantom 4 Pro	Luzerne	2,77cm/px / 11,1cm/px	6	2257,4m
7	12.12.2019	Phantom 4 Pro	Luzerne	2,56cm/px / 10,3cm/px	4	4182,6m
8	27.12.2019	Phantom 4 Pro	Luzerne	2,64cm/px / 10,5cm/px	4	-

Tabelle 9: Auswertung UAV / Dränage - Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G [Eigene Erhebung]

Luzerne erwies sich auf dem Versuchsfeld als gute Zeigerpflanze von Dränagen. Vor allem in den Schadstellenbereichen konnte ein deutlich besseres Wachstum direkt über den Dränagerohren nachgewiesen werden.



Abbildung 17: Dränagen in Schadstellenbereichen unter Luzerne am 27.04.2018 [Feldblock AL52372C07 / Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G] [Eigene Abbildung]

Grundsätzlich ist hier (Abbildung 18) eine Korrelation zwischen Schadstellen und detektierter Dränage erkennbar.

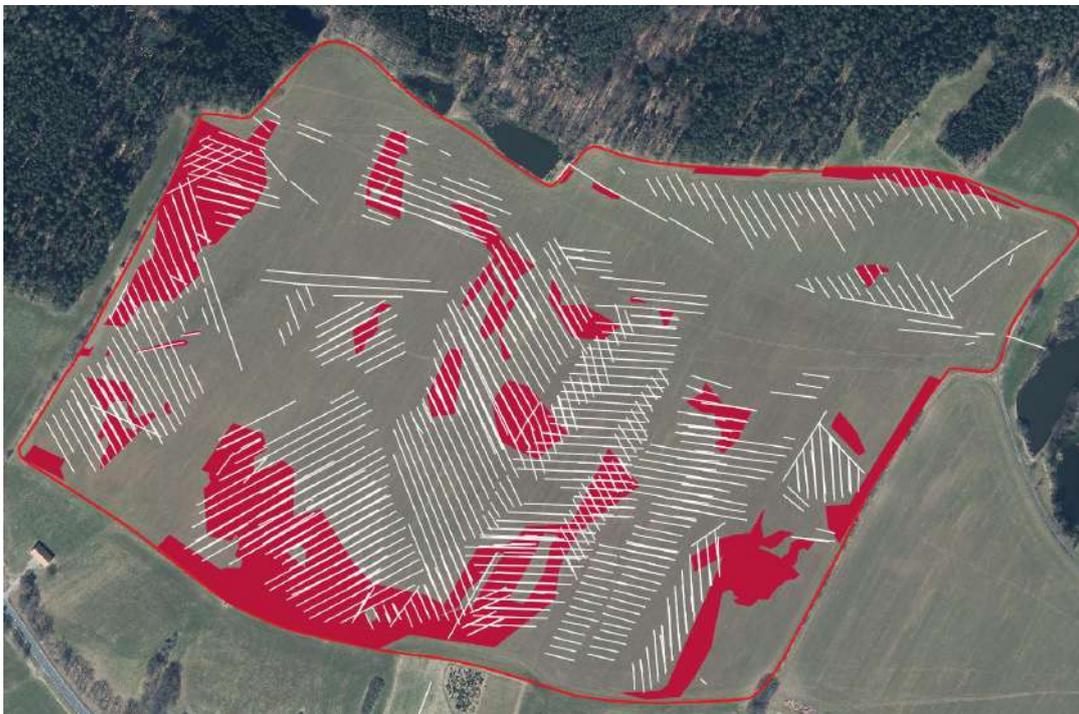


Abbildung 18: Verschneidung detektierte Dränagen mit Schadstellen [Feldblock AL52372C07 / Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G] [Eigene Abbildung]

Hervorzuheben ist die Befliegung am 12.12.2019 bei leichter Schneebedeckung (vgl. Abbildung 19). Hierbei zeichneten sich die Dränagen sehr deutlich und differenziert im Bestand ab. Der Zeitraum in dem diese Wetterverhältnisse herrschen ist sehr klein jedoch erfolgversprechend.

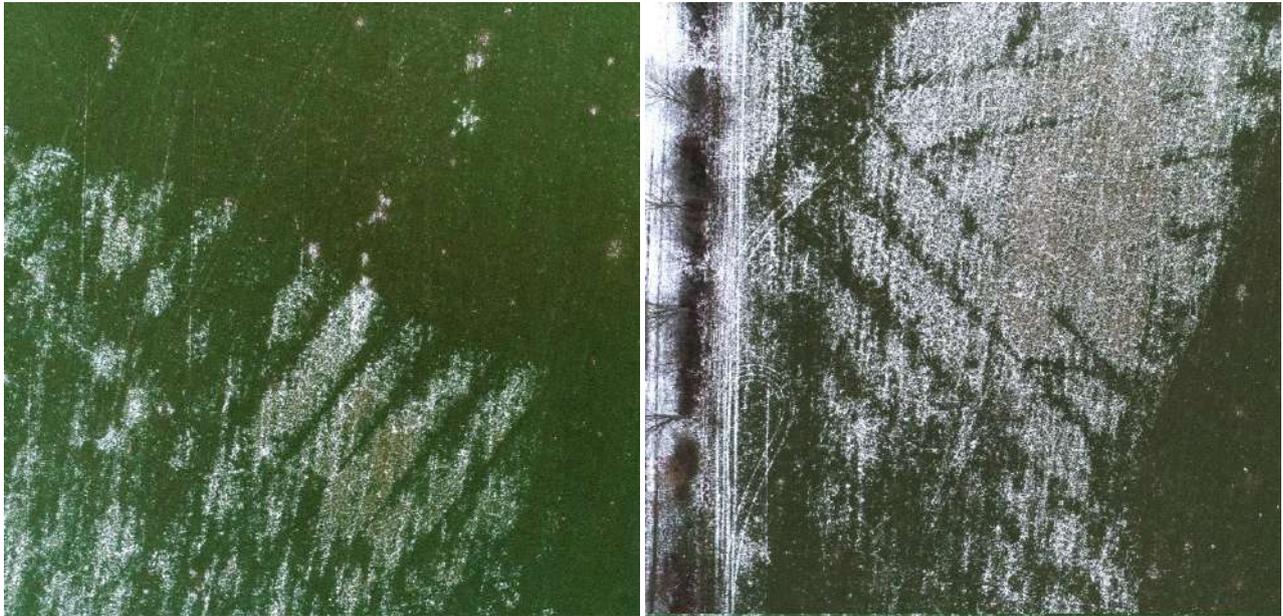


Abbildung 19: Dränagen bei leichter Schneebedeckung am 12.12.2019 [Feldblock AL52372C07 / Agrar-genossenschaft Niederpöllnitz e.G] [Eigene Abbildung]

a-7) Fazit

Folgende Tendenzen für das Erkennen von Dränagen mittels UAV zeigten sich in den Versuchen:

- April: Winterdurum sowie Luzerne
- Anfang Mai: Luzerne
- August: Luzerne
- bei wenig bis kein Bestand: Zeit des Abtrocknen des Bodens sowie leichter Schneefall

Die Methode zur Detektion von Dränagen mittels UAV kann nicht konkret auf feste Tage in der Fruchtfolge spezifiziert werden. Die Variabilität durch Boden, Temperatur, Höhenlage und bspw. örtlichen Relief sind so komplex, dass nur durch regelmäßiges Monitoring der Flächen eine Chance auf Detektion von Dränagen besteht. Nur so können diese eng begrenzten Zeiträume erfasst werden. Idealerweise eignet sich hierfür der Einsatz von UAV-Technologie durch die immer unkompliziertere Handhabung und die geringen Investitionskosten.

Preise für professionelle Systeme sind durch den Copter-Boom in den 10er Jahren um ca. das 10fache gesunken. Copter im Preissegment zwischen 2000-4000EUR bringen bereits alle Grundlagen für die Erzeugung von photogrammetrischen Luftbildaufnahmen mit (Automatische Wegpunktplanung, Sensor im 10-20Mpx Bereich).

Sinnvoll ist das Befliegen der Flächen durch den Betrieb. Ein erster Überblick ob Dränagen erkennbar sind, kann, durch ein Übersichtsbild in 100m Höhe mit einem Gesamtzeitaufwand von ca. 3-5min pro Schlag, während der täglichen Feldkontrolle erstellt werden. Sind Dränagen erkennbar, kann direkt vor Ort der etwas zeitintensivere photogrammetrische Flug geplant und durchgeführt werden.

b) Amtliche Orthophotos

Neben der Untersuchung von Orthophotos generiert durch UAV-Technologie sollen hier alle frei verfügbaren amtlich erhobenen Orthobilder untersucht werden.

Das digitale Orthophoto (DOP) ist ein entzerrtes und georeferenziertes Luftbild von hoher Genauigkeit und Aktualität. Es eignet sich daher sehr gut zur Erfassung und Aktualisierung von Datenbeständen geografischer Informationssysteme, zu Planungszwecken, geometrisch genauen Ausmessungen u.v.m. Da es auf Landeskoordinaten bezogen ist, kann es auch mit anderen Datenbeständen, z. B. der digitalen topographischen Karte (DTK), dem digitalen Landschaftsmodell (DLM) oder benutzereigenen Daten kombiniert werden.

Das Thüringer Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation (TLBG) stellt seit 1994 digitale Orthophotos (DOP) auf Grundlage der zyklischen Befliegungen her. Anfangs in schwarz-weiß, wurde zunehmend - seit 2006 vollständig - auf die Herstellung farbiger Orthophotos umgestellt. Die digitalen Orthophotos werden mit einer Bodenauflösung von 0,20 m berechnet. Ein Orthophoto deckt eine Landschaftsfläche von 2 km x 2 km ab.

Digitale Orthophotos des gesamten Freistaates Thüringen können im Geoproxy angesehen werden unter. Die DOP sind mit einer Bodenauflösung von 20 cm in schwarz-weiß, farbig, color-infrarot im Geoproxy hinterlegt. Sie erreichen den Geoproxy über das Geoportal (www.geoportal-th.de). Dort können auch digitale Orthophotos im Standardausgabeformat (DOP20rgbi in ETRS89/UTM32 ohne Zohnenpräfix, 2kmx2km-Kachel) kostenfrei heruntergeladen werden.[[thg](#)]

b-1) Übersicht Versuchsflächen

Für die Untersuchung der amtlichen Orthophotos konnten aufgrund des geringeren Beschaffungsaufwandes im Rahmen des Projektes mehr Flächen als durch UAV untersucht werden.

Insgesamt wurden 717ha landwirtschaftliche Fläche aus 19 Jahrgängen analysiert.

- Lever Agrar AG : 278 ha
- Agrargenossenschaft Weißensee e.G.: 217 ha
- Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G: 222 ha



Abbildung 20: Untersuchte Flächen der Lever Agrar AG mit detektierten Dränagen [Eigene Abbildung]



Abbildung 21: Untersuchte Flächen der Agrargenossenschaft Weißensee e.G. mit detektierten Dränagen [Eigene Abbildung]



Abbildung 22: Untersuchte Flächen der Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G mit detektierten Dränagen [Eigene Abbildung]

b-2) Auswertung Dränage - Lever Agrar AG

	2005-07	2008	2010-12	2013	2014-15	2016-17	Gesamt
AL45264G02	-	905,9m	836,2m	-	306,7m	912,1m	2960,9m
AL45264M01	-	-	-	-	-	-	-
AL45264R01	-	192,1m	470,8m	-	1250,1m	-	1913m
AL45264T04	-	165,2m	1296,2m	-	3044,6m	-	4506m
AL46262C01	-	382,0m	3122,2m	-	117,2m	-	3621,4m
AL46262B10	-	-	238,2m	-	-	-	238,2m
AL46262I10	-	252,3m	1611,9m	-	-	39m	1903,2m
Summe	-	1897,5m	7575,5m	-	4718,6m	951,1m	15142,7m

Tabelle 10: Auswertung detektierte Dränagen durch Amtliche Orthophotos [Lever Agrar AG] [Eigene Erhebung]

b-3) Auswertung Dränage - Agrargenossenschaft Weißensee e.G.

Feldblock	1987	1990	2001-04	2005-07	2008	2010-12	2013	2014-15	2016-17	Gesamt
AL48321C06	-	-	-	-	3487,7m	387,3m	-	1023,0m	2293,3m	7191,3m
AL48321C05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AL48321C04	-	-	547,9m	-	82,7m	145,2m	-	-	-	775,8m
AL48321A01	2684,2m	-	-	-	-	57,4m	-	1438,4m	11742,7m	15922,7m
AL48321A03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AL47323W08	934,6m	-	1393,3m	-	933,4m	72,8m	-	-	-	3334,1m
AL48321B01	-	-	50,4m	-	-	-	-	-	-	50,4m
NW47314U01	104,4m	822,0m	60,0m	-	142,5m	14,5m	-	48,2m	92,1m	1283,7m
AL47314U06	-	-	-	-	-	-	-	34,6m	-	34,6m
AL47314U22	-	-	-	-	36,7m	-	-	-	-	36,7m
Summe	3723,2m	822,0m	2051,6m	-	4683,0m	677,2m	-	2544,2m	14128,1m	28629,3m

Tabelle 11: Auswertung detektierte Dränagen durch Amtliche Orthophotos [Agrargenossenschaft Weißensee e.G.] [Eigene Erhebung]

b-4) Auswertung Dränage - Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G

Feldblock	2005-07	2008	2010-12	2013	2014-15	2016-17	Gesamt
AL52372C07	-	-	15418,2m	359,6m	1760,7m	1622,3m	19160,8m
AL52381F01	-	20645,3m	1901,3m	503,4m	-	262,3m	23312,3m
AL52372S17	5499,2m	327,5m	7605,3m	-	1759,3m	-	15191,3m
AL52372006	-	-	194,6m	-	-	-	194,6m
AL52374A14	-	-	-	-	-	-	-
Summe	5499,2m	20972,8m	25119,4m	863,0m	3520,0m	1884,6m	57859,0m

Tabelle 12: Auswertung detektierte Dränagen durch Amtliche Orthophotos [Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G.] [Eigene Erhebung]

b-5) Fazit

Betrachtet man nicht nur Einzelflächen sondern mehrere Flächen mit verschiedenen Fruchtarten über eine Vielzahl von Jahrgängen fallen ungünstige Aufnahmezeiten innerhalb der Fruchtfolge nicht stark in's Gewicht.

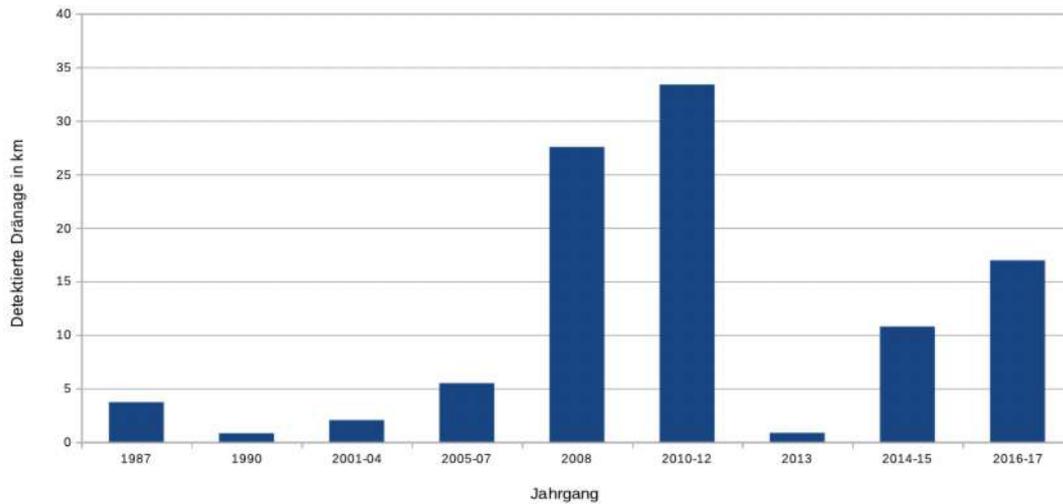


Abbildung 23: Übersicht detektierte Dränagen pro Jahrgang [Eigene Abbildung]

Alle Jahrgänge wurden im Zeitraum zwischen 29. März und 11. Mai des jeweiligen Jahres aufgenommen.

Insgesamt konnten auf den 717ha der drei untersuchten Betriebe ca. 100km Dränage detektiert werden. Auffällig ist, dass die Jahrgänge 2008 und 2010-2012 deutlich bessere Ergebnisse zeigen wie die restlichen Jahrgänge. Der Aufnahmezeitraum dieser beiden Jahrgänge weicht jedoch nicht von den restlichen Jahrgängen ab. Weitere tiefgreifendere Untersuchungen zur Klärung sind notwendig.

Grundsätzlich sind amtlich erhobene Orthophotos für die Untersuchung des Gesamtbetriebes auf Dränagen ein sehr gutes Werkzeug, welches jedoch stark u.a. von Aufnahmezeit und Fruchtart abhängt und nicht steuerbar ist. Der Zeitraum der Aufnahme in Thüringen liegt im Mittel zwischen Ende März und Anfang Mai und bietet damit hohe Chancen, dass Dränagen sich im Frühstadium der Pflanze aufgrund von Wachstumsunterschieden zeigen.

c) Satellitendaten

c-1) Übersicht

Kostenfreie Satelliten

Sentinel-1

Die Sentinel-1 Mission begann am 3. April 2014 mit dem Start des Satelliten Sentinel-1A. Am 25. April 2016 folgte der Partnersatellit Sentinel-1B. Beide befinden sich in einem polaren, sonnensynchronen Orbit mit einer Höhe von 693km über dem Meeresspiegel. Da es sich um eine Mission mit zwei Satelliten handelt, welche um 180° versetzt die Erde umkreisen, kann ein Ort auf der Erdoberfläche innerhalb von sechs Tagen (Äquator) erneut aufgenommen werden. Die Missionsdauer ist auf mindestens sieben Jahre

ausgelegt. Beide Satelliten tragen ein C-Band **Synthetic Aperture Radar (SAR)**-Sensor, also ein Radargerät. Dieses ermöglicht Aufnahmen der Erdoberfläche, unabhängig von Wetterverhältnissen oder Lichteinfall.

Vier verschiedene Aufnahmemodi werden unterstützt:

- **Stripmap Mode:** In diesem Modus wird ein 80km breiter Streifen mit einer Bodenauflösung von 5×5 Metern aufgenommen.
- **Interferometric Wide Swath Mode:** Dieser Modus ermöglicht die Aufnahme eines 250km breiten Streifens mit einer Auflösung von 5×20 Metern.
- **Extra Wide Swath Mode:** Hierbei handelt es sich um einen, dem zuvor genannten ähnlichen Modus, bei dem Bodenauflösung (20×40m) gegen einen breiteren Aufnahmebereich(400km) eingetauscht wird.
- **Wave Mode:** Ein Spezialmodus für Ozeanbeobachtung. Die Bodenauflösung beträgt 5x5m in Bereichen von 20x20km.

Die Hauptaufgaben der Mission sind die Beobachtung von marinen Entwicklungen wie Wellen- und Strömungsbewegungen oder Eisdrift sowie Landnutzungsveränderungen oder Oberflächendeformation. Damit ermöglicht die Mission Informationen in Katastrophensituationen wie Erdbeben oder Fluten. [esaa]

Die Daten des Sentinel-1 Satelliten sind radargestützt und aufgrund ihrer hohen Frequenz von fast 5 GHz nicht geeignet um wie im Gegensatz zu **Ground Penetrating Radar (GPR)** in den Boden einzudringen. Daher kommen die Daten des Sentinel-1 für die Detektion von Dränagen nicht in Frage und können ohne nähere Untersuchung ausgeschlossen werden.

Sentinel-2

Die Sentinel-2 Mission besteht ebenfalls aus zwei Satelliten. Sentinel-2A trat am 23.Juni 2015 seinen Dienst an, am 7.März 2017 folgte Sentinel-2B. Es handelt sich auch hier um eine zwei Satelliten Konstellation mit um 180° versetzten Positionen in einem Orbit in 786km Höhe. Die Zeit, die benötigt wird um ein Gebiet erneut zu überfliegen beträgt fünf Tage (Äquator). Die Missionsdauer ist ebenfalls mit mindestens sieben Jahren angesetzt.

An Bord beider Satelliten befindet sich ein **Multispektralinstrument (MSI)** mit 13 Bändern und dem Push-broom Konzept mit einer Streifenbreite von 290km.

Band/Kanal	Coastal aerosol	Blau	Grün	Rot	RE1	RE2	RE3	NIR	NNIR
Bodenauflösung	60m	10m	10m	10m	20m	20m	20m	10m	20m

Band/Kanal	Wasserdampf	Short Wavelength InfraRed (SWIR)/Cirrus	SWIR1	SWIR2
Bodenauflösung	60m	60m	20m	20m

Der Sensor verfügt erstmals über drei "Red Edge" (RE) Bänder, welche differenziertere Aussagen über den Zustand von Vegetation ermöglichen.

Hauptanwendungsgebiete der Daten der Sentinel-2 Mission sind Landwirtschaft, Forst, Landnutzungsveränderung, Oberflächenbedeckung, Zustand und Eigenschaften von Pflanzen sowie die Beobachtung von Flachwasserbereichen. [esab]

Grundsätzlich sind die sichtbaren RGB sowie die drei weiteren Rotkanale und die beiden NIR / NNIR Kanäle interessant für dieses Projekt und zu untersuchen.

Sentinel-3

Die Sentinel-3 Mission umfasst zwei baugleiche Satelliten: Sentinel-3A (16.02.2016) und Sentinel-3B (25.04.2018), welche sich in einem 815km hohen polaren, sonnensynchronen Orbit befinden. An Bord befinden sich je vier Instrumente:

- **Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR):** „Das SLSTR erfasst die Oberflächentemperaturen der Land- und Meeresoberflächen in neun Spektralkanälen mit einer Genauigkeit bis zu 0,3 Grad Celsius. Die Auflösung beträgt im kurzwelligen Bereich 500 Meter, im thermischen Infrarotbereich einen Kilometer. Zwei zusätzliche Kanäle sind für das Aufspüren von Feuer – speziell von Waldbränden – optimiert.“
- **Ocean and Land Colour Instrument (OLCI):** „Das OLCI generiert Multispektralbilder mit einem breiten Anwendungsspektrum. Es erfasst in 21 Spektralkanälen die Erdoberfläche mit einem sehr breiten Aufnahmestreifen von 1270 Kilometern bei einer räumlichen Auflösung von 300 Metern und einer globalen Abdeckung alle zwei Tage. In die Entwicklung des Gerätes sind die Erfahrungen mit dem MERIS-Instrument von Envisat eingeflossen. Die gewonnenen Farbinformationen finden Eingang in verschiedene Daten-Produkte.“
- **Synthetic Aperture Radar Altimeter (SRAL):** „Der Radar-Höhenmesser (eng. Radar-Altimeter) arbeitet sowohl im Ku- als auch im C-Band und basiert auf dem Altimeter von CryoSat und Jason-Missionen. Im Synthetic Aperture Radar-Modus (SAR) hat er eine Auflösung von 300 Metern. Durch die Nutzung zweier Frequenzbänder ist es möglich, ionosphärische und troposphärische Beeinflussungen des Radarstrahls zu eliminieren. Die Genauigkeit der Messungen ist über den Ozeanen abhängig von der Wellenhöhe und liegt beim SAR-Mode im Zentimeterbereich.“
- **Microwave Radiometer (MWR):** „Die Hauptaufgabe von MWR ist es, ein Korrektursignal für die Radarsignale des SRAL zu liefern, die durch Wasserdampf in der Troposphäre verfälscht werden. Es kann aber auch zur Aufnahme von Emissions- und Feuchtedaten der überflogenen Landflächen dienen oder Eisflächen charakterisieren.“ [esac]

Die Daten des Sentinel-3 Satelliten sind aufgrund der mehreren Hundert Meter Bodenaufklosung für eine nähere Betrachtung ausgeschlossen.

Sentinel-5P

Sentinel-5P wurde am 13.10.2017 in einen 824km hohen polaren, sonnensynchronen Orbit geschickt. Ziel der Mission ist es, globale Informationen über Gase und Aerosole, sowie Wolkenverteilung in der Atmosphäre zu gewinnen und diese für Analysen der Luftqualitäts- und Klimaanalyse zu nutzen. Für diesen Zweck befindet sich das Tropospheric Monitoring Instrument (Tropomi) an Bord des Satelliten. In einem 2600km breiten Aufnahmestreifen werden Daten mit Bändern zwischen ultraviolett und kurzwelligem Infrarot aufgenommen. Die Bodenaufklosung beträgt dabei 7kmx3,5km. [esad]

Die Daten des Sentinel-5P Satelliten sind aufgrund der mehrere Kilometer große Bodenaufklosung für eine nähere Betrachtung ausgeschlossen.

Sentinel-4,5,6

Die Missionen Sentinel-4, Sentinel-5 und Sentinel-6 sind geplant und befinden sich in der Entwicklung.

Missionen der Landsat-Reihe

Landsat 1 bis Landsat 5 sind nicht mehr in Betrieb. Landsat 6 erreichte seinen Orbit auf Grund eines technischen Defektes nicht.

Landsat 7

Landsat 7 wurde am 15.04.1999 in seinen Orbit befördert. Der Satellit ist mit einem Multispektralsensor (Enhanced Thematic Mapper Plus) ausgestattet. Dieser bietet die folgenden 8 Bänder.

Band/Kanal	Blau	Grün	Rot	NIR	SWIR-1	TIR	SWIR-2	Pan
Bodenauflösung	30m	30m	30m	30m	30m	60m	30m	15m

Das panchromatische Band kann für den Prozess des Pansharpening genutzt werden und so die geometrische Qualität der anderen Kanäle erhöhen.

Landsat 7 Datensätze, die nach dem 31. Mai 2003 aufgenommen wurden weisen einen Makel auf, der dem Benutzer bekannt sein sollte. Dabei handelt es sich um schwarze Streifen an den Rändern des Bildes. Diese entstehen, da ab dem zuvor genannten Datum der sogenannte Scan Line Corrector an Bord des Satelliten nicht mehr funktionsfähig ist. Dieser hatte die Aufgabe, die Vorwärtsbewegung des Satelliten bei der Aufnahme des aktuellen Streifens zu kompensieren. Dies ist notwendig, da der ETM+ ein whiskbroom-Sensor ist, also mit Hilfe eines rotierenden Spiegels Aufnahmen senkrecht zur Flugrichtung macht. Der Ausfall des Instrumentes sorgte dafür, dass die Scanlinie nicht mit der Bewegungsrichtung des Satelliten übereinstimmt, sondern leicht schräg zu dieser liegt. Ergebnis dieser Abweichung ist das Abtasten der Erdoberfläche in einem Zickzack-Muster, welches die Aufzeichnung von Daten in manchen Bildbereichen verhindert. Alle Bilder, welche nach besagtem Datum gemacht wurden und daher dieses Problem aufweisen sind mit dem Hinweis: SLC-off, also „Scan Line Corrector aus“ versehen. [[lana](#)]

Landsat 8

Der Satellit Landsat 8 wurde am 11.02.2013 in seine Erdumlaufbahn geschickt. Er verfügt über zwei Instrumente:

1) Operational Land Imager (OLI): Hierbei handelt es sich um einen Multispektralsensor mit neun Bändern.

Band/Kanal	Coastal aerosol	Blau	Grün	Rot	NIR	SWIR-1	SWIR-2	Pan	Cirrus
Bodenauflösung	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	15m	30m

2) Thermal Infrared Sensor (TIRS): Ein thermaler Infrarotsensor mit zwei Kanälen für Messungen rund um Verdunstung und Wassermanagement.

Band/Kanal	TIRS 1	TIRS 2
Bodenauflösung	100m	100m

Die von Landsat 8 erhobenen Daten werden ähnlich derer der Sentinel-2 Mission genutzt, jedoch dienen sie der NASA auch als Forschungsgrundlage zu Klima, Kohlenstoffkreislauf, Ökosystemen und Biogeochemie. [[lanb](#)]

Grundsätzlich sind die sichtbaren RGB in Kombination mit dem Pansharping interessant für dieses Projekt und zu untersuchen.

Kommerzielle Satelliten

IKONOS

Ikonos wurde am 24.09.1999 in Betrieb genommen. Die Mission endete am 31.03.2015 und wurde zuletzt von der Firma DigitalGlobe⁴ betrieben. Der Orbit des Satelliten beläuft sich auf eine Höhe von 681km. Er verfügt über optische Instrumente, die es ermöglichen Bilder aufzunehmen, die eine Bodenauflösung von 0,82m erreichen. Gebiete, die der Satellit überfliegt werden innerhalb von drei Tagen erneut passiert.

Archivdaten können erworben werden.

Band/Kanal	Pan	Blau	Grün	Rot	NIR
Bodenauflösung	0,82m	3,2m	3,2m	3,2m	3,2m

Quick Bird

Quick Bird ist der zweite Satellit, den Digital Globe betrieben hat. Die Mission begann am 18.10.2001 und endete im Jahr 2014. Er ist der direkte Vorgänger der World View Satelliten. Die orbitale Höhe betrug zu Beginn des Operationszeitraumes 450km, nimmt seitdem jedoch kontinuierlich ab. Auf Grund der abfallenden Bahnhöhe variiert die Zeit, die der Satellit benötigt, um ein Gebiet erneut aufzunehmen. Diese schwankt zwischen zwei und zwölf Tagen. In einer Höhe von 400km wurden die folgenden Bodenauflösungen erreicht:

Band/Kanal	Pan	Blau	Grün	Rot	NIR
Bodenauflösung	0,55m	2,1m	2,1m	2,1m	2,1m

WorldView 1

Als Nachfolger für Quickbird wurde am 18.09.2007 der erste Satellit der WorldView - Reihe: WorldView 1 in Betrieb genommen. Die Missionsdauer ist auf zehn bis zwölf Jahre angesetzt. Der sonnensynchrone Orbit des Satelliten hat eine Höhe von 496km. Ein Gebiet wird alle 1,7 Tage aufgenommen. Der Satellit verfügt lediglich über einen panchromatischen Kanal, der mit einer Bodenauflösung von 0,5m aufwarten kann.

GeoEye-1

GeoEye-1 begann am 06.09.2008 seine Mission, deren Mindestlaufzeit auf 10 Jahre geplant ist. Der Satellit operiert aus einem 681km hohen, sonnensynchronen Orbit. Innerhalb von drei Tagen kann er jeden Ort auf der Welt mindestens ein Mal aufnehmen. Die Auflösungen der Kanäle der an Bord gemachten aufnahmen betragen:

Band/Kanal	Pan	Blau	Grün	Rot	NIR
Bodenauflösung	0,41m	1,65m	1,65m	1,65m	1,65m

WorldView 2

⁴<https://www.digitalglobe.com/>

WorldView 2 wurde am 08.12.2009 in seinen 770km hohen Orbit gebracht. Es handelt sich um den ersten hochauflösenden acht-Band Multispektralsatelliten. Die Mission ist für zehn bis zwölf Jahre angesetzt. Die Zeit, die bis zur erneuten Aufnahme eines Gebietes vergeht beläuft sich auf 1,7 Tage.

Band/Kanal	Pan	Coastal	Blau	Grün	Gelb	Rot	RE	NIR1	NIR2
Bodenauflosung	0,46m	1,8m	1,8m	1,8m	1,8m	1,8m	1,8m	1,8m	1,8m

WorldView 3

WorldView 3 nahm seinen Betrieb am 13.08.2014 auf. Sein sonnensynchroner Orbit hat eine Höhle von 617km. Es ist möglich innerhalb eines Tages ein Gebiet erneut zu überfliegen. WorldView 3 ist ein Superpektralsatellit, er verfügt über 29 Kanäle:

Band/Kanal	Pan	Coastal	Blau	Grün	Gelb	Rot	RE	NIR1	NIR2
Bodenauflosung	0,31m	1,24m	1,24m	1,24m	1,24m	1,24m	1,24m	1,24m	1,24m

Band/Kanal	SWIR1	SWIR2	SWIR3	SWIR4	SWIR5	SWIR6	SWIR7	SWIR8
Bodenauflosung	3,7m							

Die Kanäle 18-29 liegen mit Bodenauflosungen von 30m nicht im relevanten Untersuchungsbereich.

WorldView 4

WorldView 4 ist der neueste Satellit der Reihe (11.11.2016). Seine orbitale Höhle beträgt 617km. Er ist, wie auch WorldView 3, in der Lage, einen beliebigen Ort der Erde innerhalb eines Tages erneut abzubilden. Die einzige Eigenschaft, die ihn von WV3 abhebt, ist die geringere Anzahl an Kanälen.

Band/Kanal	Pan	Blau	Grün	Rot	NIR
Bodenauflosung	0,32m	1,24m	1,24m	1,24m	1,24m

Kosten

Hochauflösende, kommerzielle Satellitendaten können über verschiedene Anbieter erworben werden. Diese haben unterschiedliche Ansätze bezüglich von Mindestbestellwerten, sei es in Sachen räumlicher Ausdehnung oder Preis, weshalb diese stets bei der Betrachtung von Angeboten und Preislisten beachtet werden sollten. Ein Beispiel: LANDinfo - Worldwide Mapping LLC⁵

⁵<http://www.landinfo.com/satellite-imagery-pricing.html>

High Resolution Archive Pricing

High Resolution Archive Pricing (50cm)	WorldView-1	WorldView-2 WorldView-3	QuickBird (60cm)	GE-1/ WV-4	IKONOS (80cm)	Pleiades 1A/1B
Panchromatic	\$14.00	\$14.00	\$14.00	\$14.00	\$10	\$12.50
3-Band Pan-Sharpended	n/a	\$17.50	\$17.50	\$17.50	\$10	\$12.50
4-Band Pan-Sharpended	n/a	\$17.50	\$17.50	\$17.50	\$10	\$12.50
Panchromatic + 4-band Multispectral Bundle	n/a	\$17.50	\$17.50	\$17.50	\$10	\$12.50
8-Band Multispectral	n/a	\$19	n/a	n/a	n/a	n/a
8-Band Panchromatic + Multispectral Bundle	n/a	\$19	n/a	n/a	n/a	n/a

Notes:

- The minimum order area for archive imagery, for all sensors, is 25 sq. km with a 2km minimum order width.
- To receive archive pricing, QB,WV2,WV1, GE1 & IK imagery has to be **older than 90 days in archive**. No hold on Pleiades imagery.
- Airbus default licensing is for 1-5 users; DigitalGlobe default licensing is single user -- pricing uplifts apply for additional users.

Abbildung 24: Preisliste für Archivbilder von kommerziellen Satelliten <http://www.landinfo.com>

High Resolution New Tasking Pricing

High Resolution New Tasking Pricing (50cm)	WorldView-1	WorldView-2 WorldView-3	QuickBird (60cm)	GE-1/ WV-4	IKONOS (80cm)	Pleiades 1A/1B
Panchromatic	\$24	\$24	n/a	\$24	n/a	\$21.25
3-Band Pan-Sharpended	n/a	\$27.50	n/a	\$27.50	n/a	\$21.25
4-Band Pan-Sharpended	n/a	\$27.50	n/a	\$27.50	n/a	\$21.25
Panchromatic + 4-band Multispectral Bundle	n/a	\$27.50	n/a	\$27.50	n/a	\$21.25
8-Band Multispectral	n/a	\$29.00	n/a	n/a	n/a	n/a
8-Band Panchromatic + Multispectral Bundle	n/a	\$29.00	n/a	n/a	n/a	n/a

Notes:

- The minimum order area for new tasking collections, for all sensors, is 100 sq. km with a 5km minimum order width.
- On DigitalGlobe satellites 5% or less cloud cover guarantee is available for 50% uplift, 10% or less guarantee is 25% uplift.
WV-3 specific new collects = 30cm pricing
- Pleiades 5% or less cloud cover guarantee is an additional \$10 per sq. km.
- 0-15 degree Off-Nadir may be specified for an additional \$2 per sq. km
- Airbus default licensing is for 1-5 users; DigitalGlobe default licensing is single user -- pricing uplifts apply for additional users.

Abbildung 25: Preisliste für neu bestellte Bilder von kommerziellen Satelliten <http://www.landinfo.com>

In der Regel kann auf den jeweiligen Webseiten der Anbieter in einem Kartenviewer ein Gebiet bestimmt werden, für welches Interesse an Satellitenbilddaten besteht. Im Anschluss werden dann die verschiedenen, zur Verfügung stehenden Bildstreifen mit Eigenschaften wie Wolkenbedeckung, Aufnahmedatum, Aufnahmewinkel und Bodenaufosung angezeigt. Entspricht ein Datenset den Ansprüchen des Kunden kann dann eine Anfrage für das Interessengebiet gestellt werden. Anschließend werden dann die genauen Wünsche des Kunden wie Ausdehnung und Bandkollektionen mit einer Kontaktperson des Anbieters abgestimmt bevor eine tatsächliche Bestellung abgegeben wird.

c-2) Untersuchung auf Verwertbarkeit

Fragestellung

Anhand ausgewählter Satellitenbilder, nämlich Sentinel-2 und Landsat8, ist zu prüfen, ob das geometrische Auflösungsvermögen der Satellitenbilddaten ausreichend ist, um eine Dränagedetektion durchzuführen.

Vorgehen

Es soll untersucht werden, ob die Auflösung der Satellitenbilder in Kombination mit der Analyse der unterschiedlichen Bänder Aufschluss über Drägen geben kann. Dazu werden Gebiete betrachtet, an denen auch Daten aus der amtlichen Luftbildbefliegung zur Verfügung stehen. Im Zuge dieser Betrachtung soll dann eine Entscheidung getroffen werden, ob die in den Vergleichsdaten zu erkennenden Strukturen auch unter Verwendung der Satellitenbilder zu entdecken sind.

Bei dem behandelten Gebiet handelt es sich um den Feldblock DETHLI AL45264 T04 der Lever-Agrar AG Heiligenstadt.

Bevor mit der Auswertung begonnen werden kann müssen jedoch alle Dateien in den bestmöglichen Zustand gebracht werden. Dies bedeutet, dass die Landsat Datensätze den Prozess des Pansharpening durchlaufen müssen, damit eine vergleichbare Auflösung zu den Sentinel Daten vorhanden ist.

Im Falle dieser Untersuchung wurde das Pansharpening sowie die Zusammenstellung der Bänder mit Hilfe des QGIS Plugins „Semi-Automatic Classification Plugin“ von Luca Congedo durchgeführt.

Vergleichsdaten



Abbildung 26: DOP Jahrgang 2018 / Feldblock DETHLI AL45264 T04 / Lever-Agrar AG Heiligenstadt
[Eigene Abbildung]

Landsat-8

In der Abbildung 28 mit einer GSD von 15m im RGB-Band sind keinerlei Dränagen nach Prüfung mehrerer Aufnahmezeitpunkte zu erkennen.

Die Satellitendaten der Landsat-8 Reihe sind daher nicht geeignet für die Detektion von Dränagen.



Abbildung 27: DOP 2018 / RGB / GSD 0,8m [Eigene Abbildung]



Abbildung 28: Landsat-8 / RGB / GSD 15m [Eigene Abbildung]

Sentinel-2

In der Abbildung 30 mit einer GSD von 10m im RGB-Band sind keinerlei Dränagen nach Prüfung mehrerer Aufnahmezeitpunkte zu erkennen.

Die Satellitendaten der Sentinel-2 Reihe sind daher nicht geeignet für die Detektion von Dränagen.



Abbildung 29: DOP 2018 / RGB / GSD 0,8m [Eigene Abbildung]



Abbildung 30: Sentinel-2 / RGB / GSD 10m [Eigene Abbildung]

Die Analyse der Satellitendaten an einem Beispiel hat eindeutig ergeben, dass die Verwendung von eben solchen Daten für die Dränagedetektion im Detail nicht zielführend ist. Es besteht die Möglichkeit, Flächen auf große feuchte Stellen zu untersuchen und damit dränbedürftige Regionen zu finden. Jedoch ist es auf Grund der technischen Beschränkungen der **frei verfügbaren** Satellitendaten nicht möglich feine Strukturen zu erkennen, wie es in amtlichen Orthophotos oder in Aufnahmen einer **UAV**-Befliegung der Fall ist.

Im Rahmen des Vorhabens konnten tiefere Untersuchungen kommerzieller Satellitendaten aus Kostengründen nicht durchgeführt werden. Es ist anzunehmen, dass die neuesten Satellitenreihen der Fa. DigitalGlobe hinsichtlich der Detektion von Dränagen aufgrund höher **GSD** zielführend sind.

Aufgrund der Erkenntnisse dieses Vorhabens gehen wir davon aus, dass Dränagen ab **GSD** < 1m detektierbar sind.

3.3.3 Digitales Oberflächenmodell

Aufgrund der anzunehmenden Wachstumsunterschiede bestimmter Fruchtarten über Dränagen (vgl. Kapitel 2.2.1) sollen hier die **DOMs** der UAV Befliegung aufgrund ihrer deutlich höheren Bodenauflösung von ca. 10cm gegenüber den amtlichen DOM's untersucht werden. Amtlich erhobene DOM's weisen lediglich eine Bodenauflösung von 1m auf und sind für diese Untersuchung nicht geeignet.

Unter allen 24 untersuchten DOM's der UAV-Aufnahmen zeigte ein Oberflächenmodell Wachstumsunterschiede in Luzerne von 20 cm an (vgl. Abbildung 31). In den anderen Oberflächen waren nach Messungen im Feld zwar auch Wachstumsunterschiede von bis zu 10 cm vorhanden, doch wurden diese im Oberflächenmodell nicht abgebildet. Messungen ergaben, dass bei einer Drohnenbefliegung mind. 15-20cm Höhendifferenz im Bestand notwendig sind um Dränagen auch im Oberflächenmodell zu erkennen.

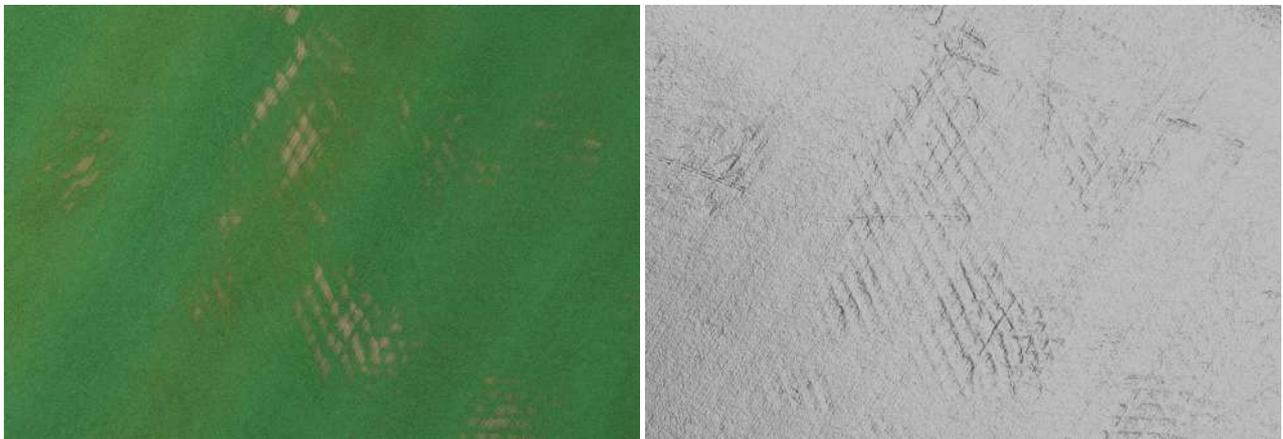


Abbildung 31: Dränagen im DOM und DOP am 27.04.2018 unter Luzerne [Feldblock AL52372C07 / Agrargenossenschaft Niederpöllnitz e.G] [Eigene Abbildung]

Auch im Bodenfeuchteindex (vgl. Kapitel 3.3.4) waren bei dieser Aufnahme Dränagen detektierbar.

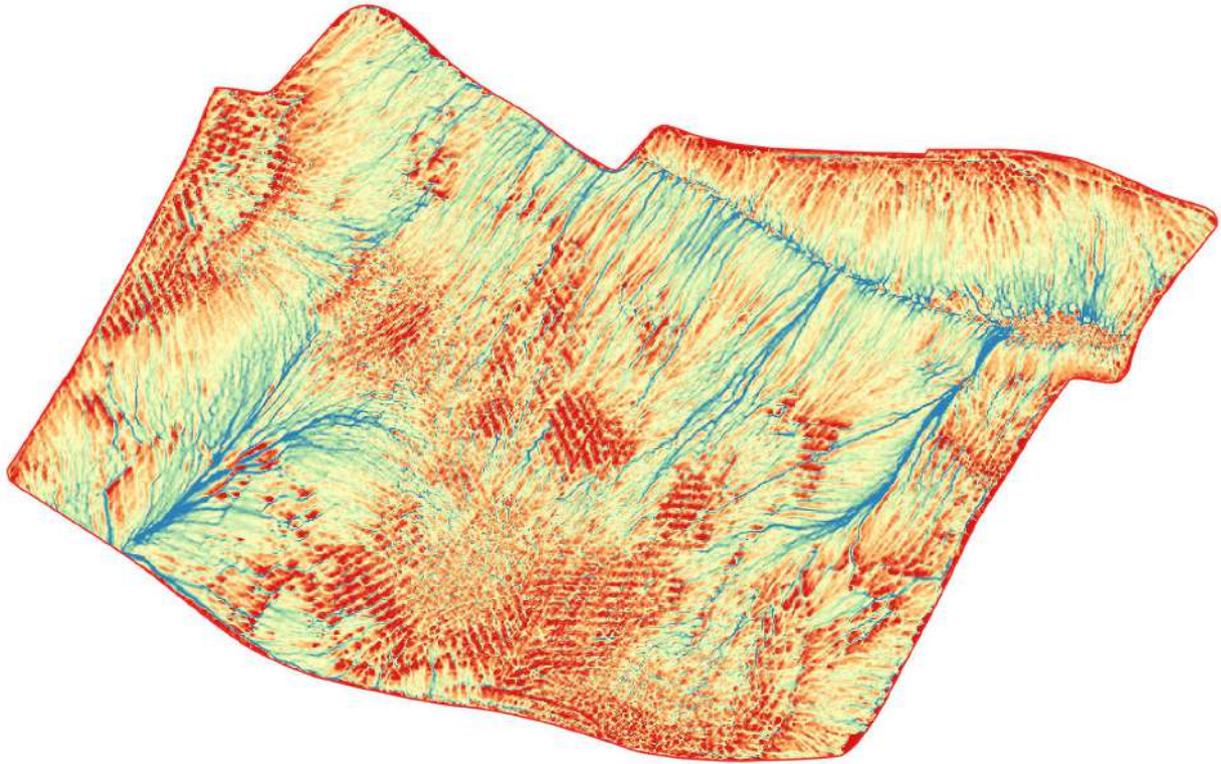


Abbildung 32: Dränagen im TWI auf Grundlage des UAV-DOM mit 10cm GSD vom 27.04.2018 [Eigene Abbildung]

3.3.4 Bodenfeuchteindex

a) **Allgemein** Die Topographie hat einen großen Einfluss auf die Hydrologie und Morphologie eines Geländes. Der **TWI** ist eine Größe um den Zusammenhang zwischen Topographie und potentieller Vernässung zu quantifizieren. Eingangsgrößen für den **TWI** sind die Hangneigung in Radiant (slope) und Fläche welche in die betrachtete Rasterzelle entwässert (contributing upslope area), außerdem als optionale Eingangsgröße die Transmissivität (T) des Bodens (Gleichung 1 und 2). Wird die Transmissivität nicht in die Berechnung mit einbezogen, so kann der Index auch als Topographic Index (TI) bezeichnet werden [B⁺14]. Sowohl der **TWI** als auch der TI werden oft als Synonyme füreinander verwendet, und sorgen so zum Teil für Verwirrung. Bei der Anwendung der Formel auf ein DEM ohne Bodeninformationen wird daher der TI, nicht der **TWI** berechnet. Der **TWI** (TI) kann negative Werte annehmen, da der natürliche Logarithmus von Zahlen zwischen 0 und 1 negativ ist, dies gilt wenn $a < \tan(\beta)$ bzw. $a < T \tan(\beta)$ und geschieht vor allem bei hohem Gefälle. [sta18]

$$TWI = \frac{a}{(T \cdot \tan(\beta))} \quad (1)$$

$$a = \frac{\text{contributing upslope area}}{\text{unit contour length}} \quad (2)$$

Betrachtet man Agrarflächen auf denen Gräben vorhanden sind, so ist zu erwähnen, dass diese Gräben sehr kleine **TWI**-Werte haben können. Durch das hohe Gefälle der Böschung ist die Vernässungswahr-

scheinlichkeit dort sehr gering. Erst die Grabensohle kann wieder hohe **TWI**-Werte annehmen, ob diese aufgrund der Auflösung oder Resamplings allerdings abgebildet wird muss für jedes DEM neu ermittelt werden.

Auf ebenen Flächen den **TWI** zu berechnen ist nicht besonders sinnvoll, es bildet sich eine sehr geringe Spannweite der **TWI**-Werte, da keine Abflussmöglichkeit in eine bestimmte Richtung besteht. Um den **TWI** berechnen zu können wird daher ein gewisses Gefälle benötigt, damit sich sichtbare Vernässungsorte abzeichnen.

Es wird angenommen, dass der Grenzwert für eine sinnvolle Anwendung des **TWI** bei einer Hangneigung (slope) von etwa 2° - 3° im oberen Bereich des **DGM** liegt, um Abflusspfade und damit mögliche Dränage-Pfade sichtbar zu machen.

Dabei kann es sich um kleine Bereiche des Rasters handeln die dieses Gefälle aufweisen. In tieferen Lagen des **DGM** ist das Gefälle nicht mehr von so großer Bedeutung, da dort die Flow Accumulation bereits initialisiert wurde.

Des Weiteren muss bei der Verwendung von **DOMs** von Agrarflächen darauf hingewiesen werden, dass die Verwendung von Rastermodellen der richtigen Jahreszeit wichtig ist. Ist das Feld bestellt und die Pflanzen bereits hochgewachsen, wird die Pflanzenoberfläche nicht der Boden im **DOM** aufgenommen. Fahrspuren und beispielsweise Windschäden werden so als primäre Abflusspfade bzw. Zellen mit hohem Vernässungspotential dargestellt.



Abbildung 33: Fahrspuren im **TWI** auf Grundlage des UAV-**DOM** mit 1m **GSD** vom 28.06.2017 [Eigene Abbildung]

b) Catchment Area / Flow Accumulation Die Flow Accumulation, bzw. Catchment Area ist eines der Input-Raster für die Berechnung des **TWI**, und hat daher einen großen Einfluss auf das Output-Raster. Es wird die Fläche berechnet, die in eine bestimmte Rasterzelle des **DGMs** entwässert (contributing upslope area). Durch die Anwendung verschiedener Algorithmen, kann das Ergebnis der Berechnung stark beeinflusst werden, daher sollte der passende Algorithmus angewendet werden. Dieser hängt vom Anwendungsgebiet und der Größe des Schlags ab.

c) Slope/ Hangneigung Als zweite Eingangsgröße für die Kalkulation des **TWI** hat auch die Hangneigung (slope) einen erheblichen Einfluss. Je steiler die Neigung einer Rasterzelle ist, desto weniger neigt sie zur Vernässung (**TWI** ist sehr klein). Auch hier gibt es verschiedene Algorithmen, mit denen gerechnet werden kann und die Auswahl des richtigen Algorithmus ist wichtig.

d) Rasterauflösung und TWI Die Berechnung des **TWI** erfolgt in nahezu allen Papers mit einer **DGM**-Rasterweite von 50m bis minimal 2m [D⁺15]. Eine höhere Auflösung (1m) führt nicht zu einer Verbesserung der Ergebnisse hinsichtlich des **TWI**. Großräumige Strukturen, wie Täler gehen verloren, die **TWI**-Werte sind relativ niedrig und werden vor allem durch kleinräumige Strukturen beeinflusst. Erst mit der 2m Rasterweite sind großräumige Strukturen erkennbar [D⁺15]. Bei den genannten Untersuchungen werden große Flächen betrachtet.

[B⁺14] untersuchte 2013 Agrarflächen im Staat New York, USA. Zur Untersuchung wurden unter anderem **DOMs** des USGS mit einer Rasterweite von 10m verwendet. Aus Lidar-Daten mit einer mittleren Punktabstand von 0.67m wurden sowohl 3m als auch 10m **DOMs** mittels Natural-Neighbor-Interpolation erzeugt.

Bei der Untersuchung eines Schlags, für den potentielle Abflusswege berechnet werden sollen, muss eine minimale Rasterweite von 2m nicht unbedingt gelten. Drohnendaten sind oft in sehr viel höheren Auflösungen vorhanden, als offen verfügbare **DGMs** oder **DOMs** (2m x 2m), beispielweise 10cm x 10cm. Durch die Vergrößerung der Rasterzellen (meist mittels Mittelung, averaging) geht immer Information verloren, die Höhen von Mulden werden überschätzt und die Höhe von Hügeln unterschätzt, sodass beispielsweise die Hangneigung verringert wird. Dies kann vor allem bei sehr flachen Schlägen zum Problem werden, wo die Hangneigung von Natur aus schon nicht sehr groß ist könnte es sein, dass kein **TWI** mehr berechnet werden kann, da nach der Vergrößerung der Rasterweite das Gefälle zu klein ist. Ein Vergleich von **DOMs** mit verschiedenen Auflösungen ist unter *Vergleich TWI verschiedener Rasterauflösungen* dargestellt.

Durch Resampling könnte das Rauschen in den kleinen Rasterzellen beseitigt werden, ohne die größeren Geländeformen zu verlieren/verfälschen. Dabei bleibt die hohe Auflösung erhalten, kleine Unebenheiten würden aber geglättet werden. Auf die Grundlagen des Resamplings wird unter *Resample-Filter* eingegangen. Beispielfhaft wurden 3 Test-Schläge unter *Vergleich des TWI von Lanczos1-resamplenden DEMs (Filterradius 8m) verschiedener Überfliegungen* resamplend und der **TWI** berechnet um den Unterschied zwischen den Jahreszeiten sichtbar zu machen.

e) Berechnung des TWI in der Praxis (Resample, Flow Accumulation, Slope und TWI) Beim berechnen des **TWI** müssen einige Anmerkungen zur Durchführung gemacht werden. Verschiedene GIS Programme haben ihre Schwerpunkte in verschiedenen Bereichen gelegt. GRASS GIS⁶ besitzt vielfältige Möglichkeiten Resampling-Filter auf ein Raster anzuwenden. SAGA GIS⁷ ist auf die Terrain Analyse (Terrain Analysis) spezialisiert und bietet vielfältige Algorithmen die Flow Accumulation, die Slope und

⁶<https://grass.osgeo.org/>

⁷<http://www.saga-gis.org/>

anschließend daraus den TWI zu kalkulieren. Daher wird eine Kombination aus beiden Programmen als sinnvoll angesehen um den TWI (TI) zu berechnen.

f) Vergleich TWI verschiedener Rasterauflösungen Exemplarisch wird hier die Rasterweite von 3 DOMs der Testschle mittels Averaging erhot. Die Original-Rasterweite beträgt etwa 10cm, es wurden mit QGIS Raster mit 50cm, 100cm, 150 cm und 200cm Rasterweite erzeugt. Die DOMs unterscheiden sich sehr in ihrer Höhendifferenz. Es fällt auf, dass bei höherem Gefälle primare Vernassungszonen schon bei einer Rasterweite von 50cm sichtbar werden (Abbildung 39-43), je flacher allerdings der Schlag ist, desto grober muss die Auflösung sein um mit dem TWI sinnvolle Ergebnisse zu erlangen. Im Testschlag Niederpöllnitz (Abbildung 39-43) ist bereits eine Rasterauflösung von 50cm ausreichend um beim TWI Abflusswege zu erkennen, während in Weissensee (Abbildung 44-48) erst ab 100cm ein nutzbares Ergebnis mit dem TWI erzielt wird.

DOM von Lever (Überfliegung Oktober 2017)

mit einem Höhenunterschied von 28.353m (Min: 314.377m, Max: 342.730m)

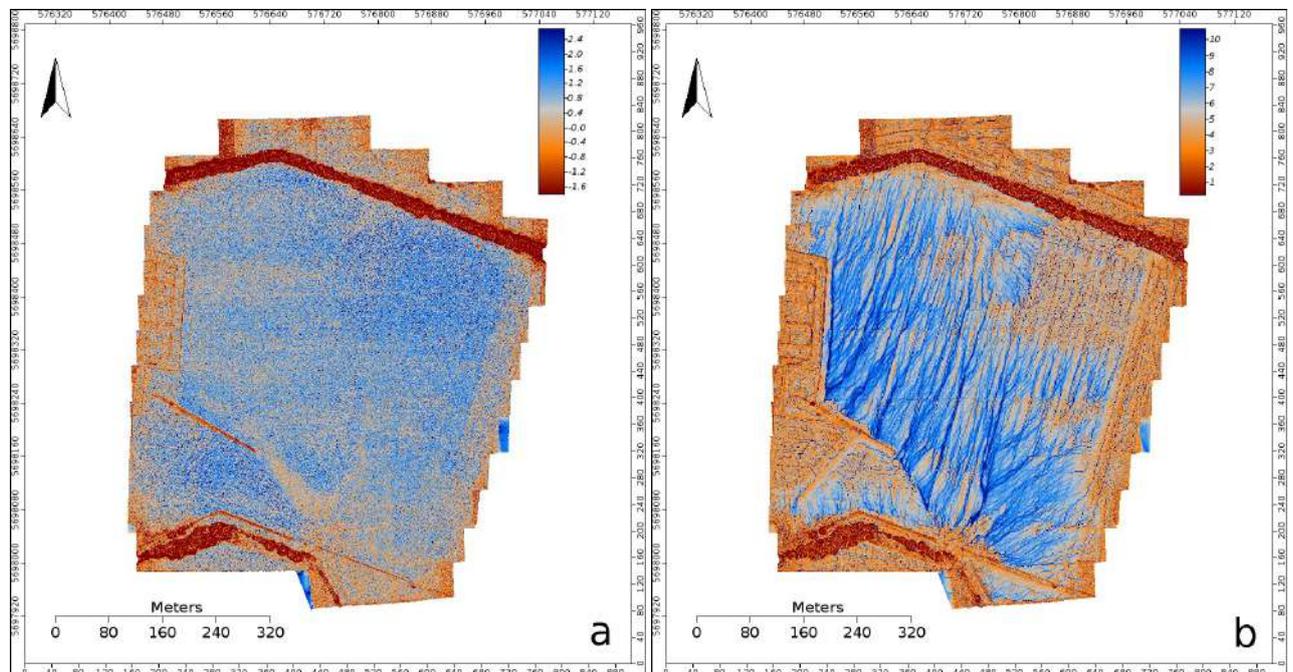


Abbildung 34: TWI des Rasters mit 10cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung] Abbildung 35: TWI des Rasters mit 50cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]

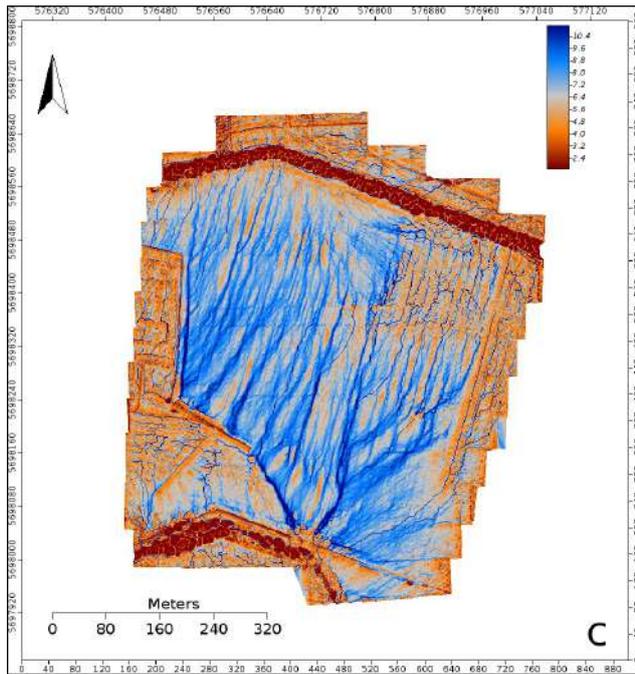


Abbildung 36: TWI des Rasters mit 100cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]

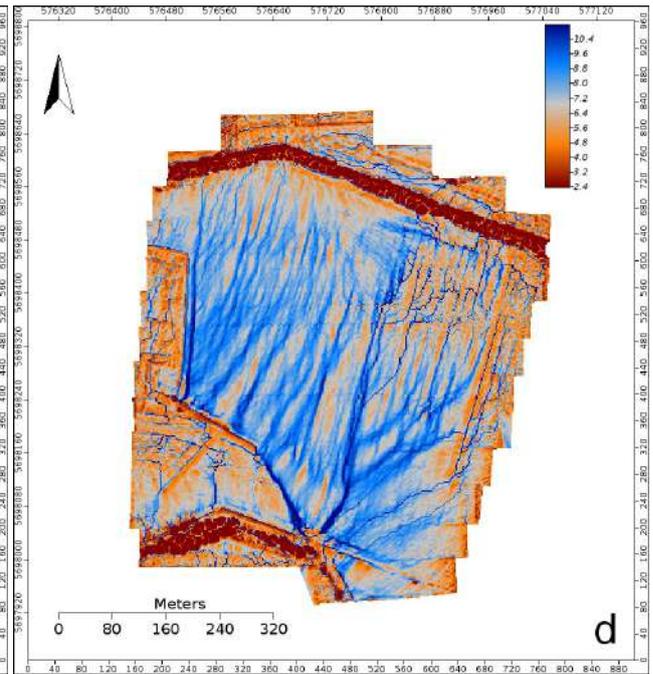


Abbildung 37: TWI des Rasters mit 150cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]

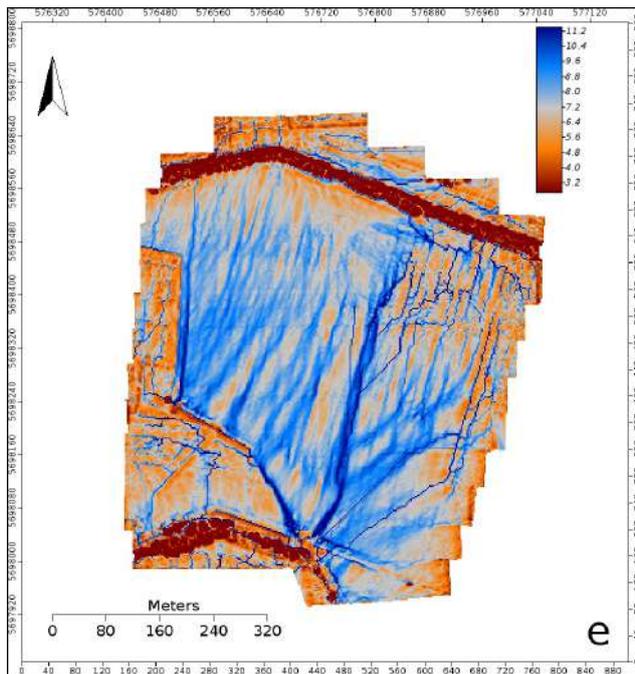


Abbildung 38: TWI des Rasters mit 200cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]

DOM von Niederpöllnitz (Überflieger Oktober 2017)

mit einem Höhenunterschied von 30.057m (Min: 324.858m, Max: 354.915m)

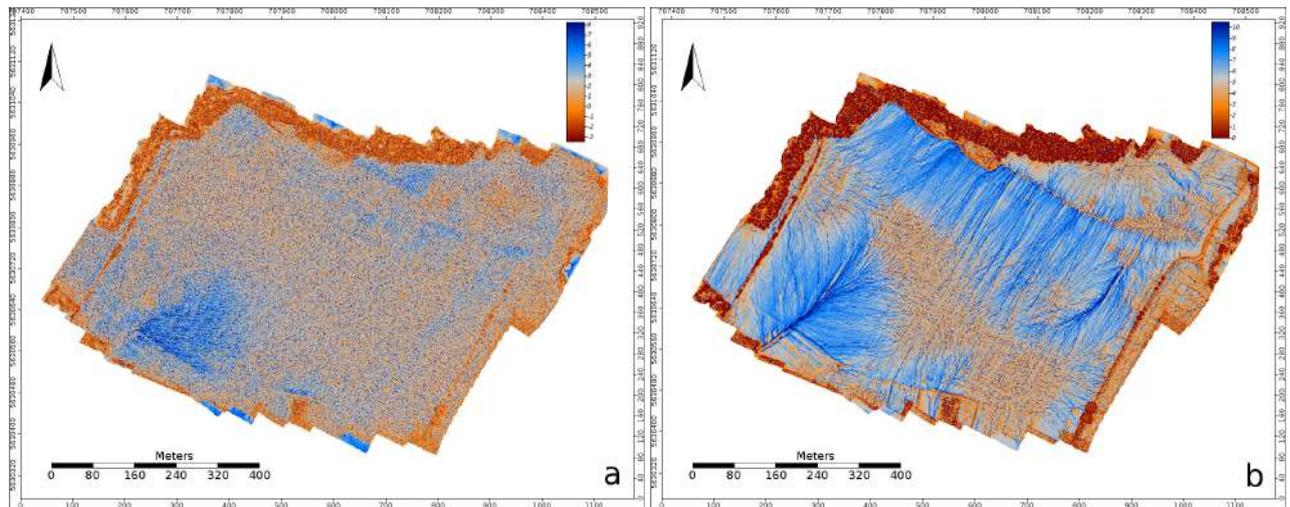


Abbildung 39: TWI des Rasters mit 10cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]

Abbildung 40: TWI des Rasters mit 50cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]

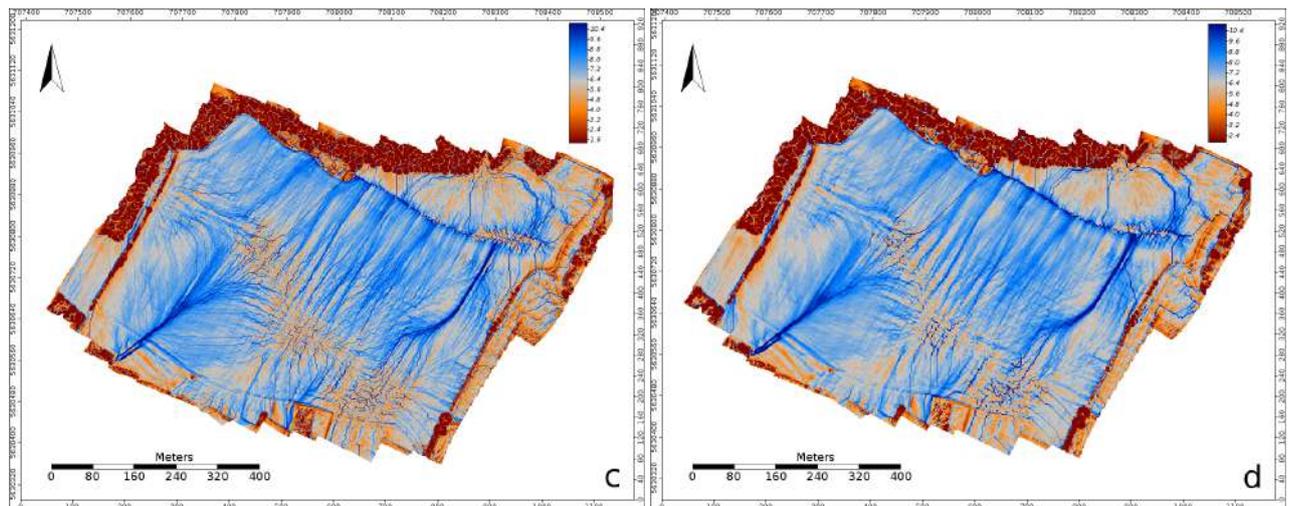


Abbildung 41: TWI des Rasters mit 100cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]

Abbildung 42: TWI des Rasters mit 150cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]

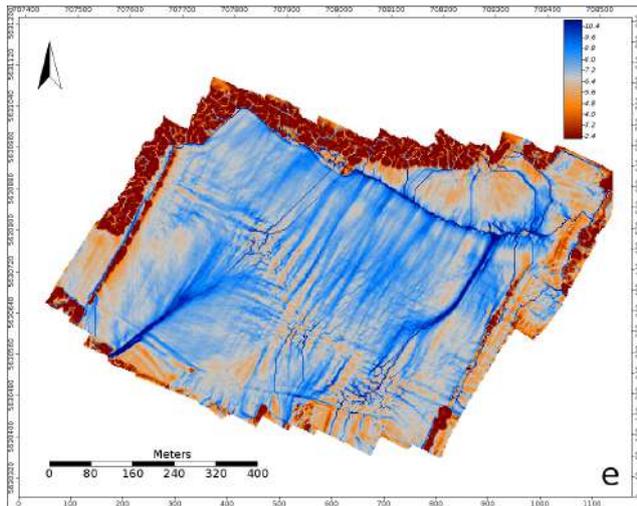


Abbildung 43: TWI des Rasters mit 200cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]

DOM von Weissensee (Überfliegung Januar 2018)

mit einem Höhenunterschied von 5.503m (Min: 137.949m, Max: 143.457m)

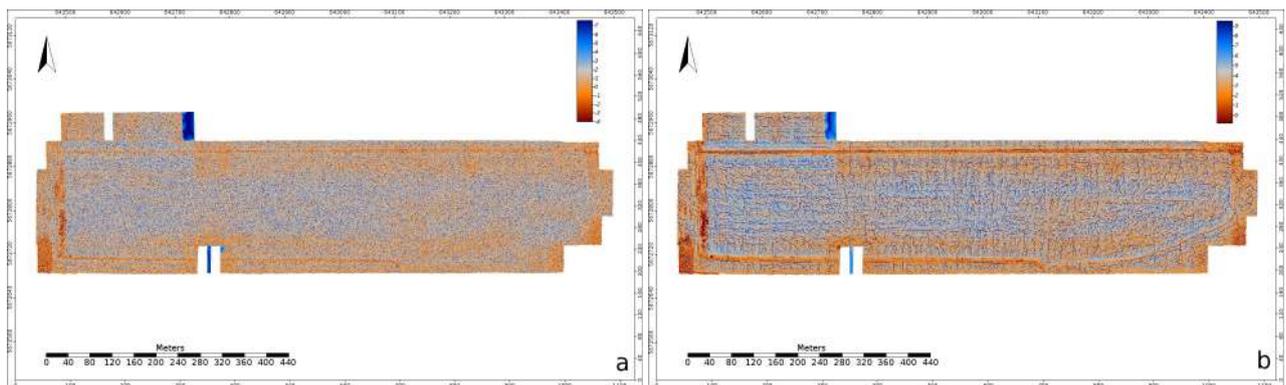


Abbildung 44: TWI des Rasters mit 10cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung] Abbildung 45: TWI des Rasters mit 50cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]

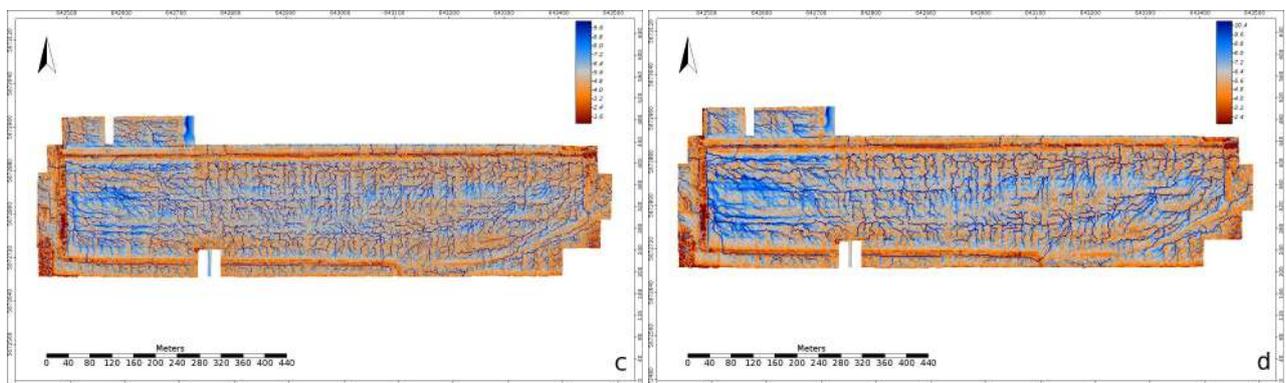


Abbildung 46: TWI des Rasters mit 100cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung] Abbildung 47: TWI des Rasters mit 150cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]

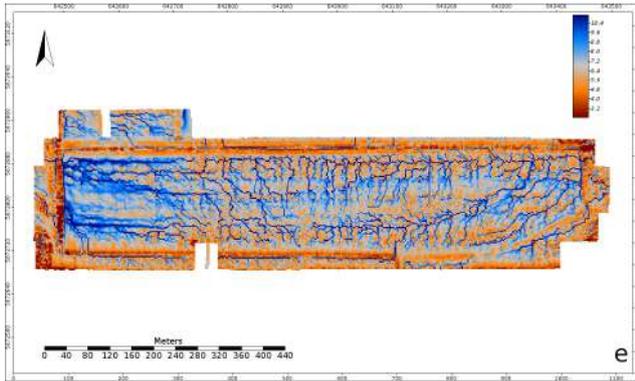


Abbildung 48: TWI des Rasters mit 200cm Rasterauflösung [Eigene Abbildung]

g) Resample Filter Beim Resamplen entsteht aus einem Original Raster ein neues Raster mit neuen Werten der Rasterzellen. Der Wert einer neuen Rasterzelle wird durch die Verwendung der ursprünglichen Rasterzelle, sowie der Nachbarzellen dieser bestimmt. Es wird eine Gewichtungsfunktion auf die betrachteten Zellen-Matrix (samples) angewendet, die entscheidet wie viel Einfluss verschiedene Zellen in unterschiedlicher Entfernung auf den Wert der Resample-Zelle haben [ima].

Sollten Filter-Funktion eine unendliche Impulsantwort aufweisen (z. B. Sinc- und Gauss-Filter-Funktion) müssen sie, um die praktische Berechnung zu ermöglichen, durch eine Fensterfunktion (window function) begrenzt werden.

Die Box (Rechteck)-Filter-Funktion, einer der einfachsten Filter, bildet beispielsweise den Mittelwert (average) der betrachteten Rasterzellen-Matrix. Alle Samples gehen mit dem gleichen Gewicht in die Berechnung des Wertes der Ziel-Rasterzelle ein [wike]. Er findet in der Praxis heute eher wenig Anwendung, da mittlerweile bessere Filter zur Bild- und Raster-Verarbeitung entwickelt wurden, als Fensterfunktion (window function) ist er allerdings durchaus geeignet.

Im Allgemeinen kann man sagen, dass die meisten Filter-Funktionen auf verschiedene Weise bewirken, dass näher liegende Nachbarn, bei der Berechnung des Resample-Wertes einer Rasterzelle, ein höheres Gewicht besitzen als weiter entfernte Nachbarn der Rasterzellen-Matrix.

g-1) Anwendung Mittels Resample-Filtern kann beispielsweise eine Interpolation von Zellenwerten durchgeführt werden, das heißt die Rasterweite wird verkleinert und neue Werte werden für zusätzliche Zellen berechnet (downscaling) [wikf]. Es kann eine Aggregation vorgenommen werden, sodass sich die Rasterweite vergrößert (upscaling) und dabei keine abrupten Werteänderungen entstehen, bei denen Pixelkanten sichtbar werden würden. Eine weitere Anwendung findet sich in der Beseitigung von Störsignalen, hier wird die Rasterauflösung beibehalten, die Werte werden lediglich geglättet. Letztere Verwendung ist von Bedeutung bei der Arbeit mit Raster-Daten-Verarbeitung zur TWI Berechnung.

g-2) Relevante Filter für die Raster-Daten-Bearbeitung Selbstverständlich werden alle Resample-Filter bei der Bearbeitung von Bild- bzw. Raster-Daten in einer 2-dimensionalen Form ausgeführt. Um die grundsätzliche Funktionsweise zu erklären wird hier allerdings lediglich die 1D-Betrachtungsweise dargestellt.

Der Sinc-Filter (Abbildung 49) wird im Deutschen auch als Idealer Tiefpass-Filter bezeichnet, da er unter einer bestimmten Grenzfrequenz alle Anteile durchlässt, während die höher liegenden Frequenzen alle

blockiert werden. Das Integral der Funktion ist unendlich, der Sinc-Filter ist daher nicht kausal und besitzt eine unendliche Impulsantwort, dadurch kann es zu unbeschränkten Ergebnissen kommen. Das bedeutet, dass der Output sich sehr stark vom Input unterscheiden und unrealistische Werte annehmen kann [wikg]. In der Praxis ist dieser Filter deshalb in seiner reinen Form nicht anwendbar. Daher nähern sich Tiefpass-Filter in der Realität nur der Sinc-Funktion an, einer dieser anwendbaren Filter ist der Lanczos-Filter [wikg].

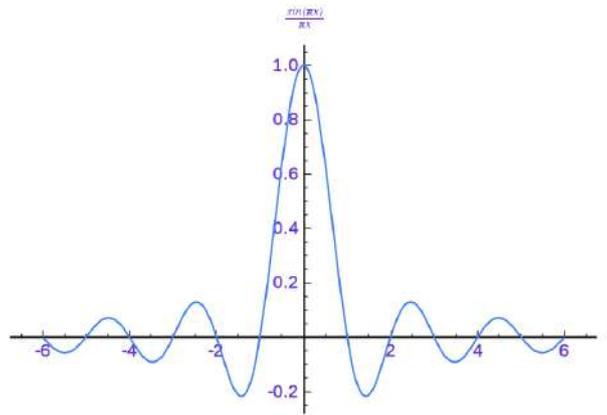


Abbildung 49: normalisierte Sinc-Funktion [wika]

Der Lanczos-Filter (1,2,3) (Abbildung 50) ist ein beliebter Tiefpass-Filter für die Bildbearbeitung. Er beruht auf einer normierten Sinc-Funktion (Gleichung 3 und 4), ist allerdings anders als die reine Sinc-Funktion durch eine weitere längeren normierte Sinc-Funktion als Fensterfunktion (window function) bergrenzt. Die Sinc-Funktion wird dort abgeschnitten wo die Fensterfunktion eine Nullstelle aufweist (Abbildung 51). Die Zahlen des Filters beziehen sich auf den Parameter a , dieser bestimmt die Größe des Trägers (englisch support oder window) [wikh]. Lanczos 2 und 3 Filter können negative Werte annehmen, sodass die Resample-Werte negativ sein können, obwohl die verwendeten Samples des Ausgangssignal nur positive Werte an der betrachteten Stelle aufweist. Dadurch kann es zu sogenannten Ringing Artifacts (Überschwingungsartefakten), also Störsingalen im gefilterten Bild (Raster), an scharfen Kanten des ursprünglichen Bildes (Raster) kommen [wikh]. In der unmittelbaren Umgebung einer scharfen Kante (große Unterschiede in den Werten der nebeneinander liegenden Rasterzellen) werden im Resample-Ergebnis die kleine Eingabewerte unterschätzt bzw. große Ausgangswerte überschätzt [wiki]. Daher sind Lanczos 2 und 3 Filter für die Bildbearbeitung gut geeignet, sollten allerdings nicht auf Rasterdaten angewendet werden, um die Bildung von Hügeln und Tälern im Resample-Ergebnis-Grid, die in der Realität nicht existieren, zu verhindern.

$$L(x, a) = \left\{ \begin{array}{ll} \text{sinc}(x) \cdot \text{sinc}\left(\frac{x}{a}\right) & \text{wenn } -a < x < a, a \neq 0 \\ 1 & \text{wenn } x = 0 \\ 0 & \text{ansonsten} \end{array} \right\} \quad (3)$$

$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi \cdot x)}{\pi \cdot x} \quad (4)$$

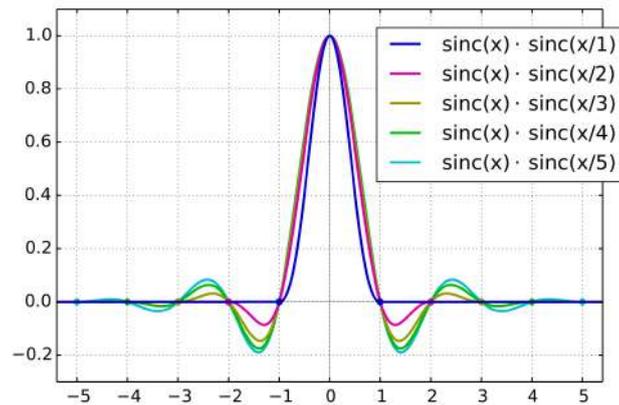


Abbildung 50: Lanczos-Funktion für $a = (1, 2, 3, 4, 5)$ [wikb]

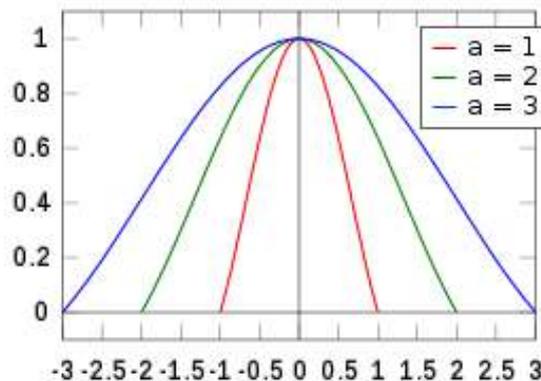


Abbildung 51: Lanczos-Fenster-Funktion für $a = (1, 2, 3)$ [wikc]

Der Gauss-Filter ist ein weiterer Tiefpass-Filter, der im Zusammenhang mit Glätten von DOMs und DGMs in Betrachtung gezogen werden sollte. Er beruht auf einer Gauss-Glockenkurve, das heißt es wird eine Gewichtungsfunktion in Form der Normalverteilung verwendet. So erhält das zentrale Pixel (bzw. die Rasterzelle) das höchste Gewicht in der Berechnung des resamplen Wertes, während das Gewicht der umliegenden Nachbarn mit der Entfernung abnimmt (Abbildung 52) [hom]. Die Gleichung des Gauss-Filters ist von der Standardabweichung und natürlich dem eingestellten Filterradius, das heißt der Größe der Filtermatrix abhängig. Es handelt sich beim Gauss-Filter um einen rotationssymmetrischen Filter [hom], des Weiteren ist er der einzige Filter, dessen Funktion separierbar ist, der 2D-Filter ergibt sich aus dem Produkt der 1D-Filter-Funktion der beiden betrachteten Raumrichtungen. Die Separierbarkeit sorgt für eine schnelle Rechenzeit [wikj]. Die Gauss-Filter-Funktion ist wie die Sinc-Funktion nicht kausal und unendlich [wikj]. Würde man sie also in ihrer reinen Form auf ein Raster anwenden, so würden alle Rasterzellen die in beiden Raumrichtungen vorhanden sind in die Berechnung eines resamplen Zellenwertes eingehen und die Rechenzeit wäre sehr hoch. Betrachtet man die Gauss-Kurve allerdings, nähert sich der Graph ab dem Wert von $3 \times$ Standardabweichung der 0 an, das heißt Zellen die mehr als $\pm 3\sigma$ von der zentralen Zelle entfernt liegen würden praktisch nicht mehr in die Gewichtung eingehen, und können daher vernachlässigt werden (Abbildung 52) [hom].

$$G(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

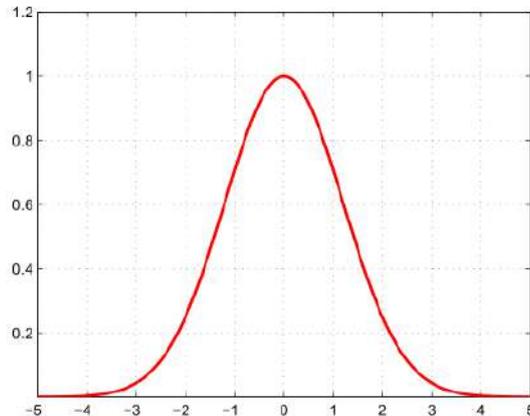


Abbildung 52: Normierte Gauss-Funktion (Standardabweichung = 1) [wikd]

Es ist davon auszugehen, dass andere glockenförmige Funktionen (Blackman, Hann, Hamming und Normal) ebenfalls gute Ergebnisse hervorbringen würden, da die Funktionen von Blackman, Hann, Hamming und Normal einen ähnlichen Verlauf wie die Lanczos1- und Gauss-Funktion besitzen. Von der Anwendung der Box- (Rechtecks-) und der Bartlett- (Tent- oder Dreiecks-) Funktion ist eher abzuraten.

Die oben benannten Funktionen finden im Allgemeinen als Fenster-Funktion, also Begrenzung einer Resample-Filter-Funktion und nicht als Funktion zum Resamplen der eigentlichen Daten, Verwendung. Genauere Beschreibung der Fenster-Funktionen [wikk] hier.

g-3) Resample Filter in GRASS GIS Mit dem Modul *r.resamp.filter* bietet GRASS GIS verschiedene Möglichkeiten die Daten zu resamplen. Es sind verschiedene FIR (finite impulse response) -Filter implementiert, die aufgrund ihrer Endlichkeit sehr stabil funktionieren. Bei den Resample-Filtern handelt es sich in allen Fällen um Tiefpass-Filter, welche Störungen beseitigen sollen, ohne dass das Signal dabei verloren geht.

Es müssen verschiedene Filter- und Fenster-Funktionen der analytische Kernels des Moduls *r.resamp.filter* in GRASS GIS miteinander kombiniert werden, um sinnvolle Ergebnisse zu erhalten. Im Manual zu diesem Modul [gra] wird darauf hingewiesen, dass Kernels mit infinite extent (Gauss, normal, sinc, Hann, Hamming, Blackman) mit einem Fenster kombiniert werden müssen, welche eine finite windowing function (box, Bartlett, Hermite, Lanczos) aufweisen.

Kernels in denen negative Werte auftreten können (Lanczos2, Lanczos3 und sinc), sollten durch die n-flag (Reiche Null-Werte durch) begrenzt werden, da sonst extreme Resample-Werte auftreten können weil die Gewichtung verschiedener Samples nahe 0 oder bei 0 liegt [gra] .

Desweiteren können Radien eingestellt werden, mit denen das Resampling durchgeführt wird. Werden mehrere Kernels verwendet, so müssen die Filterradien für jeden Filter definiert und mittels eines Kommas getrennt werden.

g-4) Empfehlungen zur Anwendung von Resample Filtern in GRASS GIS Der Sinc-Filter ist in GRASS GIS nicht ohne eine Fenster-Funktion und die `n`-Flag anwendbar. Da der Lanczos-Filter bereits eine durch eine Fenster-Funktion begrenzte Sinc-Funktion darstellt, ist die Anwendung des Sinc-Filters in GRASS GIS nicht unbedingt sinnvoll.

Aus bereits durchgeführten Untersuchungen geht die Nutzung des Lanczos1-Kernels in Verbindung mit einem Filterradius von 8m als beste Möglichkeit hervor den TWI darzustellen, sodass die wichtigsten Vernässungsflächen / potentielle Abflusspfade dargestellt werden (Abbildung 54).

Durch die Anwendung des Lanczos1-Filters (Abbildung 54) geht weniger Fläche an den Rändern des DEM verloren. Der Lanczos2-Filter (Abbildung 55) braucht doppelt so viele Werte und der Lanczos3-Filter (Abbildung 56) das dreifache an Resample-Matrix-Größen, wie der Lanczos1-Filter. Das bedeutet: wird ein Filterradius von 8m eingestellt so ist das Lanczos1-Resample-Raster 8m, das Lanczos2-Resample-Raster 16m und das Lanczos3-Resample-Raster 24m kleiner als das Original-Raster. Ob dieser Verlust ein Problem darstellt hängt vom verwendeten DOM und den Bereich ab, der von Interesse ist.

Auch der Gauss-Filter (Abbildung 57) in Verbindung mit dem Box-Window (Radius 8m) liefern bei der Anwendung auf das Testgebiet mit hochaufgelösten Rasterdaten bis zu einer Rasterweite von 10cm gute Ergebnisse.

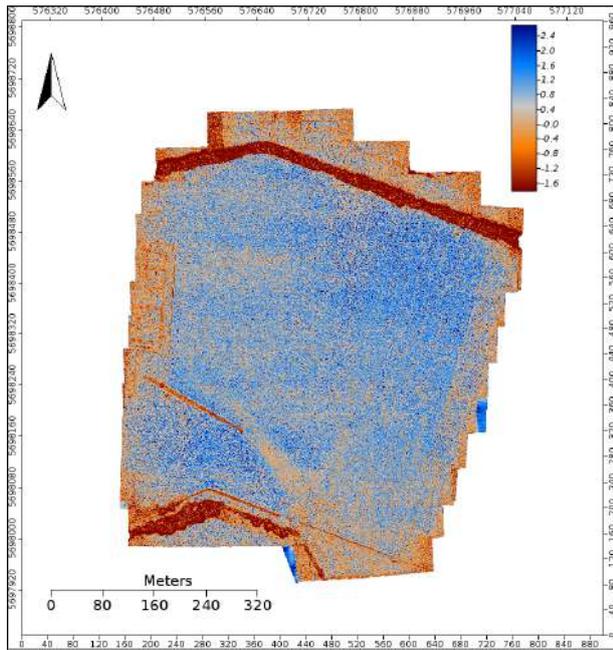
Die Ähnlichkeit zwischen dem Lanczos1- und Gauss-Filter (mit Fenster-Funktion) ist nicht verwunderlich, da die Filter-Funktionen in ihrer normierten Form verhältnismäßig ähnliche Verläufe aufweisen (Vergleich Abbildung 50 und 52). Die Abflusspfade sind mit dem Lanczos1 Filter jedoch etwas deutlicher zu erkennen (Vergleich Abbildung 54 und 57), daher ist die Anwendung dieses Filter-Kernels durchaus empfehlenswert.

Der TWI wurde ebenfalls für die anderen, lediglich benannten, möglichen Filter-Funktionen (Blackman, Hann, Hamming und Normal) von GRASS GIS berechnet. Alle dieser unbegrenzten Funktionen werden durch einen Box-Filter mit dem selben Fensterradius wie die Filterfunktion begrenzt (8m).

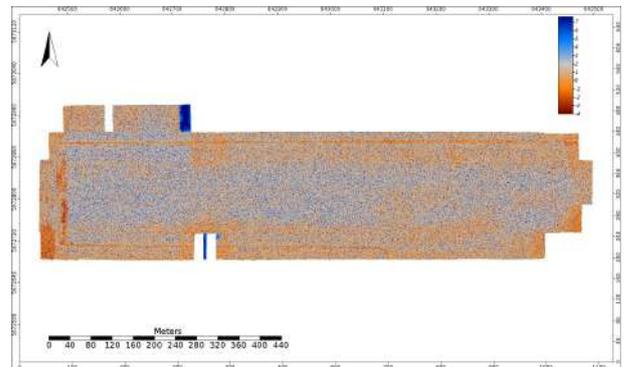
Es ergeben sich in allen betrachteten Fällen der Anwendung einer Resample-Filter-Funktion sinnvollere Ergebnisse für den TWI, als bei der Anwendung des Original DOM (Abbildung 53). Welcher Resample-Filter des Modules `r.resamp.filter` der am besten geeignete ist lässt sich schwer sagen.

Der Filter-Radius von 8m liefert gute Ergebnisse des TWI bei Agrarflächen mit einem höheren Gefälle (2-3° am oberen Rand) bei Flächen mit geringem Gefälle kann die Anwendung eines kleineren Filterradius auch sinnvoll sein, um eine zu starke Glättung der Fläche zu vermeiden.

Ein Problem ergibt sich bei der Nutzung von Resampletten Rastern bei der Berechnung des TWI: Die Gräben, welche in Abbildung 53 deutlich am Feldrand zu erkennen sind (rote Linien) werden durch den Resample-Vorgang zu großen Teilen entfernt und sind bei der TWI Berechnung mit den gefilterten Rastern nicht mehr erkennbar.

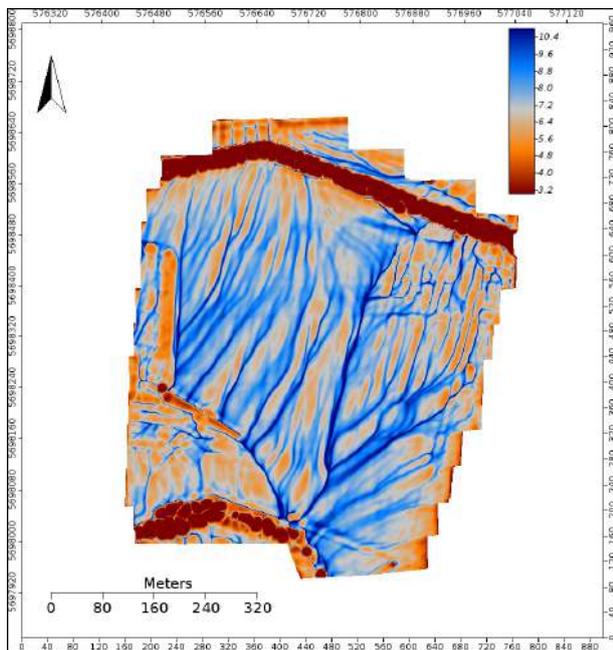


(a) Lever Oktober 2017, Höhenunterschied DEM 28.353m

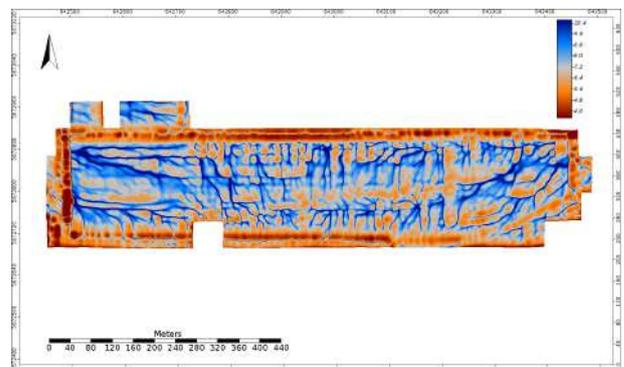


(b) Weissensee Januar 2018, Höhenunterschied DEM 5.503m

Abbildung 53: TWI eines 0.1m x 0.1m Rasters ohne Filter, Berechnung TWI mit SAGA GIS [Eigene Abbildung]

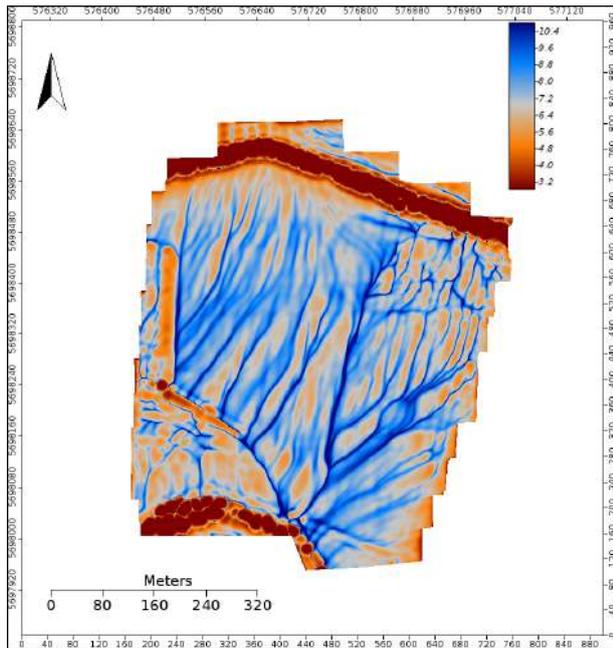


(a) Lever Oktober 2017, Höhenunterschied DEM 28.353m

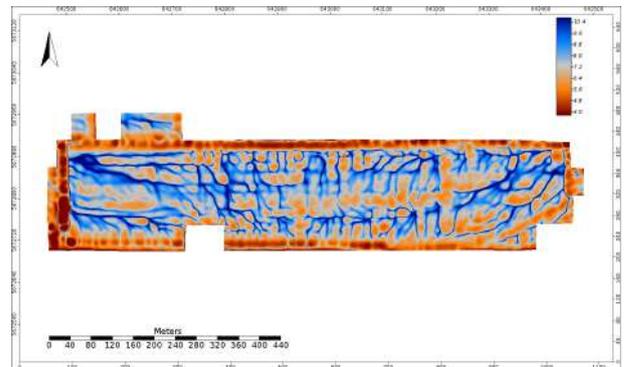


(b) Weissensee Januar 2018, Höhenunterschied DEM 5.503m

Abbildung 54: TWI eines 0.1m x 0.1m Rasters bearbeitet mit dem Lanczos-1-Filter (Filterradius 8m) aus GRASS GIS und anschließende Berechnung des TWI mit SAGA GIS [Eigene Abbildung]

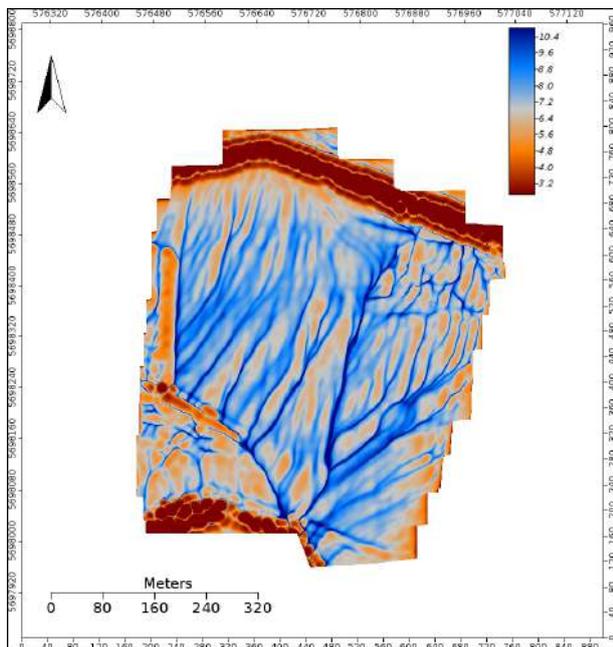


(a) Lever Oktober 2017, Höhenunterschied DEM 28.353m

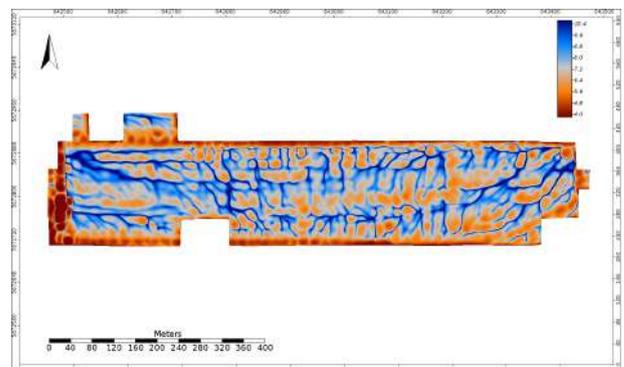


(b) Weissensee Januar 2018, Höhenunterschied DEM 5.503m

Abbildung 55: TWI eines 0.1m x 0.1m Rasters bearbeitet mit dem Lanczos-2-Filter (Filterradius 8m) aus GRASS GIS und anschließende Berechnung des TWI mit SAGA GIS [Eigene Abbildung]

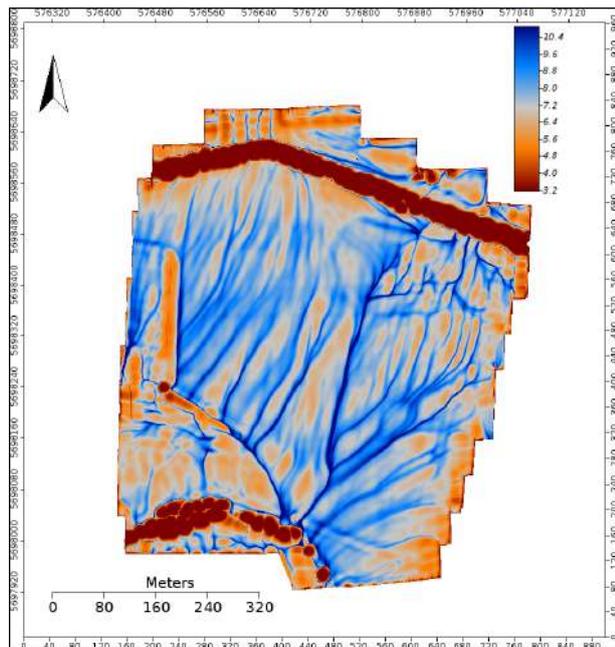


(a) Lever Oktober 2017, Höhenunterschied DEM 28.353m

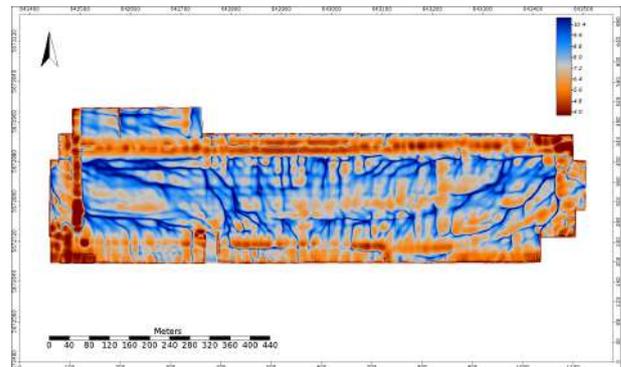


(b) Weissensee Januar 2018, Höhenunterschied DEM 5.503m

Abbildung 56: TWI eines 0.1m x 0.1m Rasters bearbeitet mit dem Lanczos-3-Filter (Filterradius 8m) aus GRASS GIS und anschließende Berechnung des TWI mit SAGA GIS [Eigene Abbildung]



(a) Lever Oktober 2017, Höhenunterschied DEM 28.353m



(b) Weissensee Januar 2018, Höhenunterschied DEM 5.503m

Abbildung 57: TWI eines 0.1m x 0.1m Rasters bearbeitet mit dem Gauss-Filter und der Box-Fenster-Funktion (beide Filterradien 8m) aus GRASS GIS und anschließende Berechnung des TWI mit SAGA GIS [Eigene Abbildung]

h) Vergleich des TWI aus öffentlich verfügbaren DEMs mit einer Rasterweite von 1m bzw. 2m und aus Drohnendaten Die **DOMs/DGMs** wurden mit Airborne Laserscanning aufgenommen. Die **DGMs** (Aufnahmeweitraum: 2011-2013) mit 2m Rasterweite besitzen eine Höhengenaugigkeit von 0.2m - 0.5m (Metadaten der einzelnen Kartenblätter, 1km x 1km Ausdehnung). Diese Höhengenaugigkeit ist im Vergleich zu den Drohnendaten relativ gering und kann bei sehr geringen Höhenunterschieden innerhalb eines Schläges problematisch sein. Sowohl bei Lever (Abbildung 58-60) als auch in Weissensee (Abbildung 65-68) sind die Abflusspfade nicht so gut zu erkennen wie bei der Verwendung von Drohnendaten, selbst wenn diese auf eine 2m Auflösung hochgerechnet wurden. Für die Schläge Niederpölnitz und Weissensee existiert auf der Seite des Thüringer Landesamtes für Vermessung und Geoinformation⁸ ebenfalls ein **DGM** (Aufnahmeweitraum: 2014-2019) mit einer Rasterweite von 1m. Dieses Raster besitzt eine Höhengenaugigkeit von 0.15m - 0.3m (Metadaten der einzelnen Kartenblätter, 1km x 1km Ausdehnung). Im Fall von Niederpölnitz (Abbildung 61-64) sind die Ergebnisse aus allen drei dargestellten Methoden vergleichbar. Bei Weissensee sind die Abflusspfade im 1m-DGM besser zu erkennen, sind allerdings sehr ähnlich wie die des 2m-DGM. Einen Vorteil bieten die öffentlichen Höhendaten: Durch die Nutzung von Airborne Laserscanning werden Baumbestände und Ackerpflanzen nicht mit aufgenommen, sodass die Verläufe von Gräben eindeutig zu erkennen sind, die potentiell in den Drohnendaten durch Bäume verdeckt werden. Mit den öffentlichen Höhendaten können außerdem **DOMs** aus allen Jahreszeiten ausgewertet werden, da die Agrarfläche stets ohne Pflanzen abgebildet wird.

⁸<https://www.geoportal-th.de/de-de/>

Lever

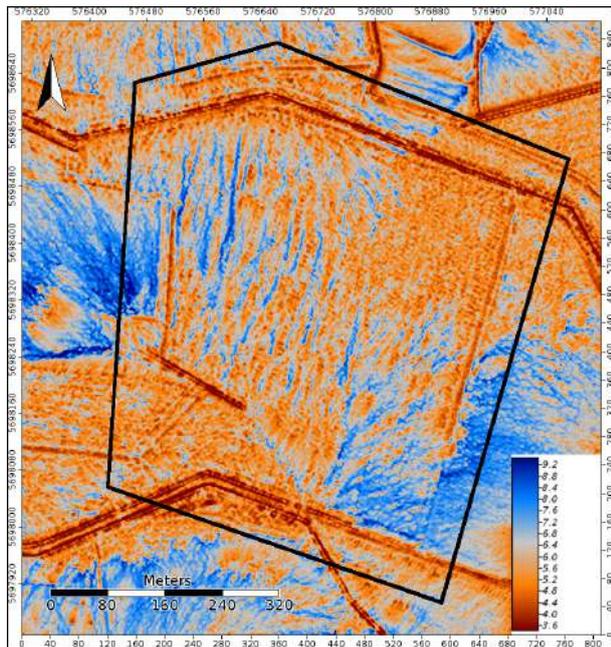


Abbildung 58: TWI des Testschlages Lever (öffentlich verfügbares DGM 2m Rasterweite, Erfassungsdatum: 2013-04, 2013-05) [Eigene Abbildung]

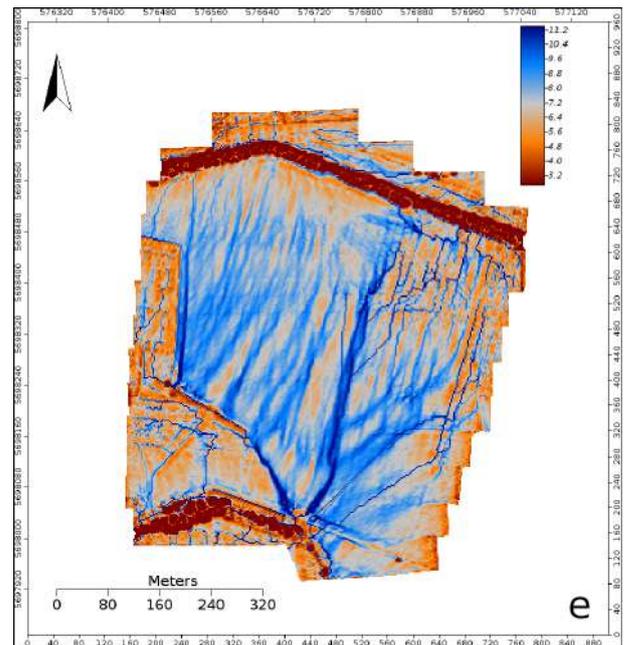


Abbildung 59: TWI Testschlages Lever (Drohnen-
daten Original-Rasterweite 0.1m,
bearbeitete Rasterweite 2m, Erfas-
sungsdatum: 2017-10) [Eigene Ab-
bildung]

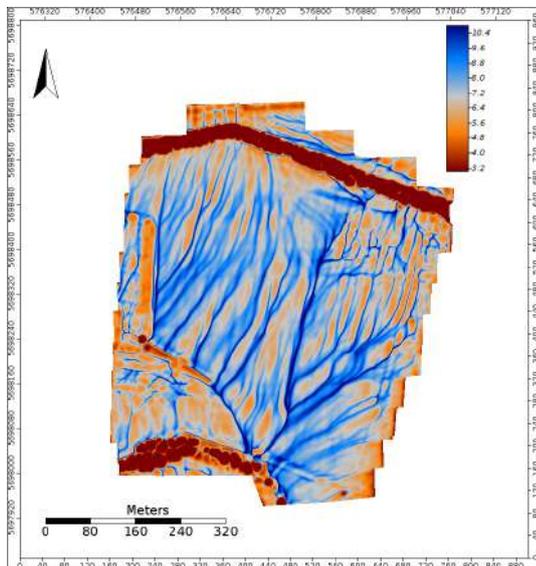


Abbildung 60: TWI Testschlages Lever (Drohnen-
daten Original-Rasterweite 0.1m,
Resample-Filter: Lanczos1 (Filterra-
dius 8m), Erfassungsdatum: 2017-
10) [Eigene Abbildung]

Niederpöllnitz

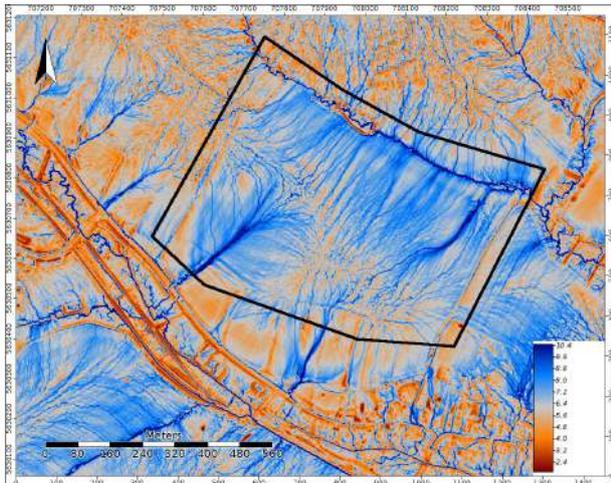


Abbildung 61: TWI des Testschlages Niederpöllnitz (öffentlich verfügbares DGM 2m Rasterweite, Erfassungsdatum: 2011-02) [Eigene Abbildung]

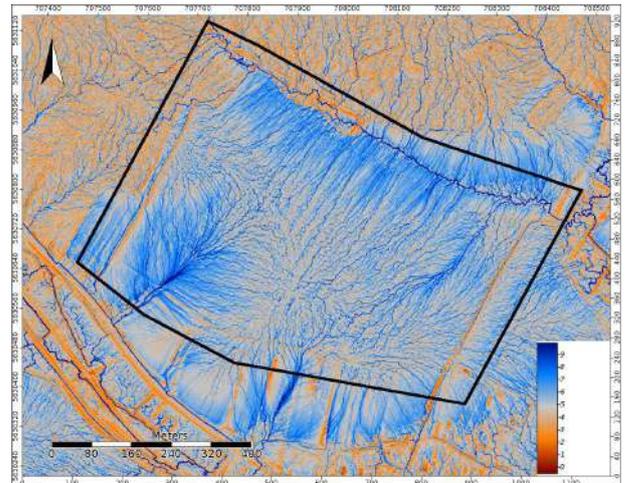


Abbildung 62: TWI des Testschlages Niederpöllnitz (öffentlich verfügbares DGM 2m Rasterweite, Erfassungsdatum: 2014-02) [Eigene Abbildung]

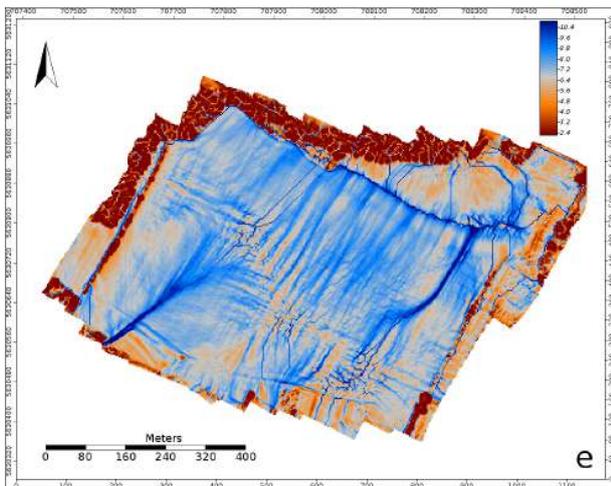


Abbildung 63: TWI des Testschlages Niederpöllnitz (Drohndaten Original-Rasterweite 0.1m, bearbeitete Rasterweite 2m, Erfassungsdatum: 2017-10) [Eigene Abbildung]

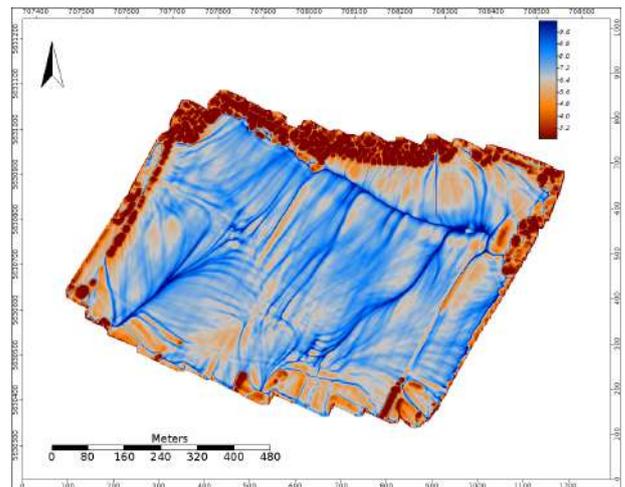


Abbildung 64: TWI des Testschlages Niederpöllnitz (Drohndaten Original-Rasterweite 0.1m, Resample-Filter: Lanczos1 (Filterradius 8m), Erfassungsdatum: 2017-10) [Eigene Abbildung]

Weissensee

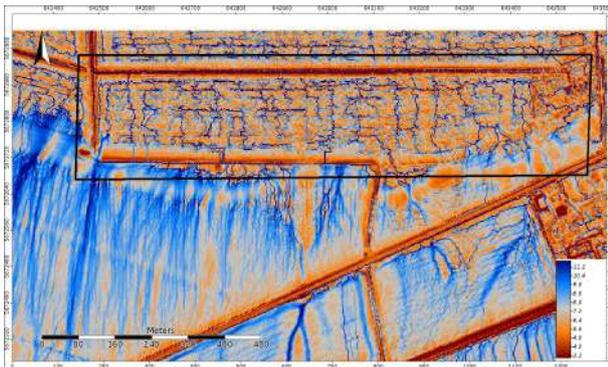


Abbildung 65: TWI des Testschlages Weissensee (öffentlich verfügbares DGM 2m Rasterweite, Erfassungsdatum: 2011-03) [Eigene Abbildung]

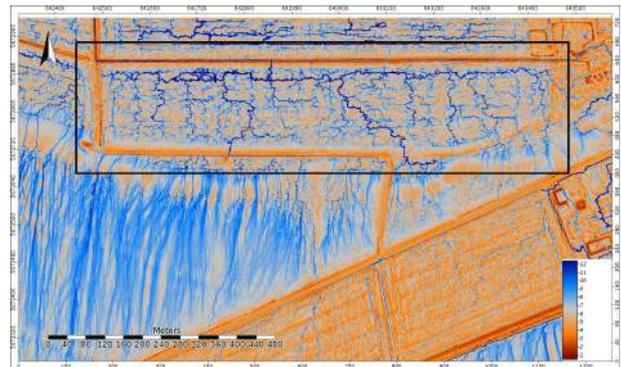


Abbildung 66: TWI des Testschlages Weissensee (öffentlich verfügbares DGM 1m Rasterweite, Erfassungsdatum: 2016-04) [Eigene Abbildung]

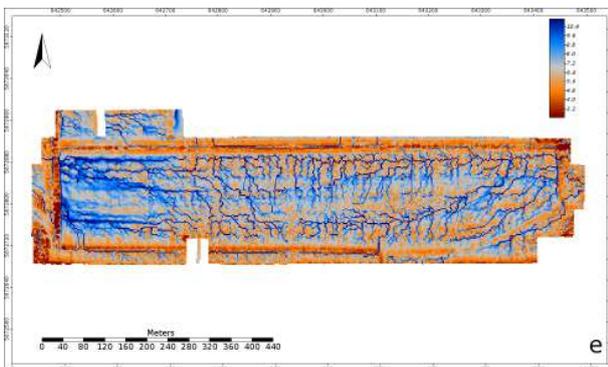


Abbildung 67: TWI des Testschlages Weissensee (Drohnen Daten Original-Rasterweite 0.1m, bearbeitete Rasterweite 2m, Erfassungsdatum: 2018-01) [Eigene Abbildung]

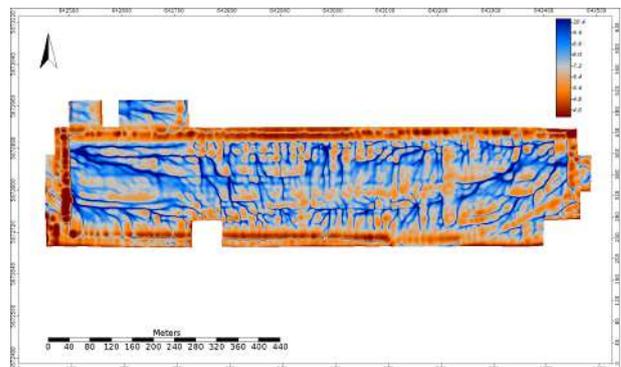


Abbildung 68: TWI des Testschlages Lever (Drohnen Daten Original-Rasterweite 0.1m, Resample-Filter: Lanczos1 (Filterradius 8m), Erfassungsdatum: 2018-01) [Eigene Abbildung]

3.3.5 Dränagedetektion durch Leitfähigkeitsmessung

Verfahrensbeschreibung

Der Versuch zur Leitfähigkeitsmessung wurde am 28.09.2017 mit dem Topsoilmapper (TSM) (vgl. Abbildung 69) von Geoprospector durchgeführt. Die Leistung wurde über die Firma AIS – Agrar-Innovation-Service GmbH bezogen. Ziel dieser Messreihe war es herauszubekommen ob dieses Verfahren geeignet ist Dränagen zu detektieren. Der TSM ist ein Messgerät zur GPS-unterstützten Messung der bodennahen elektromagnetischen Leitfähigkeit mittels elektromagnetischer Induktion.

Der Boden ist ein heterogenes Medium, bestehend aus festen, flüssigen und gasförmigen Phasen. Die festen und flüssigen Phasen spielen eine wesentliche Rolle bei den zu beobachtenden elektrischen Bodenphänomenen oder beim Verhalten elektrischer Felder, die im Boden künstlich erzeugt werden. Das Gerät umfasst ein Multispulen Array, bestehend aus einer Sendespule (Tx) und vier Empfangsspulen (Rx). Der

Sender erzeugt ein elektromagnetisches Feld, während von den Sendern das induzierte Sekundärfeld, mit einer vordefinierten Samplingfrequenz gemessen wird [Geo].



Abbildung 69: TSM - berührungslose autonome Leitfähigkeitsmessung [Quelle: Geoprospectors]

Bei der Montage des TSM 30 cm über der GOK empfangen die Spulen Werte der folgenden Messtiefen (Quelle Geoprospectors):

- R1 20cm +/-5cm
- R2 40cm +/-5cm
- R3 60cm +/-5cm
- R4 80cm +/-5cm

Geophysikalische Messmethoden liefern zunächst Informationen über die Volumen-Dichte beweglicher elektrischer Ladungen im Boden. Diese elektromagnetische Leitfähigkeit (ECa - „soil apparent electrical conductivity“) wird in mS/m (milli Siemens per Meter) angegeben. Aus den gewonnenen Rohdaten (R1, R2, R3, R4) kann über die Software Topsoil Data Analyser (TSDA) der Firma Geoprospectors die relative Wassergehaltsverteilung des Bodens in % erzeugt werden (rWTC - „relative water content distribution of soil“). Außerdem liefert die Software d2i-Werte, welche die Tiefe in Metern angeben, in der die Änderung der Leitfähigkeit innerhalb eines Mindestverhaltnisses von 1:2 liegt [Geo].

Mit zunehmender Bodenverdichtung nimmt auch die Dichte der mobilen elektromagnetischen Ladung zu. Die Beweglichkeit elektrischer Ladungen korreliert auch mit dem Wassergehalt des Bodens. Die Variabilität des Wassergehaltes kann unter anderem auf uneinheitliche Bewässerung/ Entwässerung, Bodenart bzw. Veränderung des Grundwasserspiegels zurückgeführt werden. Je höher der Tonanteil desto höher ist die Leitfähigkeit. Neben dem Verdichtungsgrad und Feuchtigkeitsgehalt können beispielsweise der Salzgehalt, Horizontabfolgen/ bzw. Schichtgrenzen, der Steingehalt oder die Grundwassertiefe abgeschätzt werden. Ausgehend hiervon, kann eine Optimierung der Bewirtschaftung geschehen (beispw. Düngung, Aussaat, Pflugtiefe).

Ergebnisse Testfläche Weißensee

Im Rahmen der OG wurden die Untersuchungen auf einem ca. 6 Hektar großen Testschlag der Agrargesellschaft Weißensee durchgeführt (vgl. Abb 70). Alle 0,2 bis 0,27 m wurden ECa-Werte aufgezeichnet. Der Abstand der Fahrspurmitten betrug etwa 10 m.



Abbildung 70: TSM - Testschlag AG Weißensee [Eigene Abbildung]

Im Laufe der Feldarbeit konnte für die Sauger und Sammler eine durchschnittliche Einbautiefe 70 cm unter der Geländeoberkante ermittelt werden (Messtellen: gelbe Punktssignatur vgl. Abbildung 71). Die blaue Punktssignatur stellt eine Dränausmündung dar.

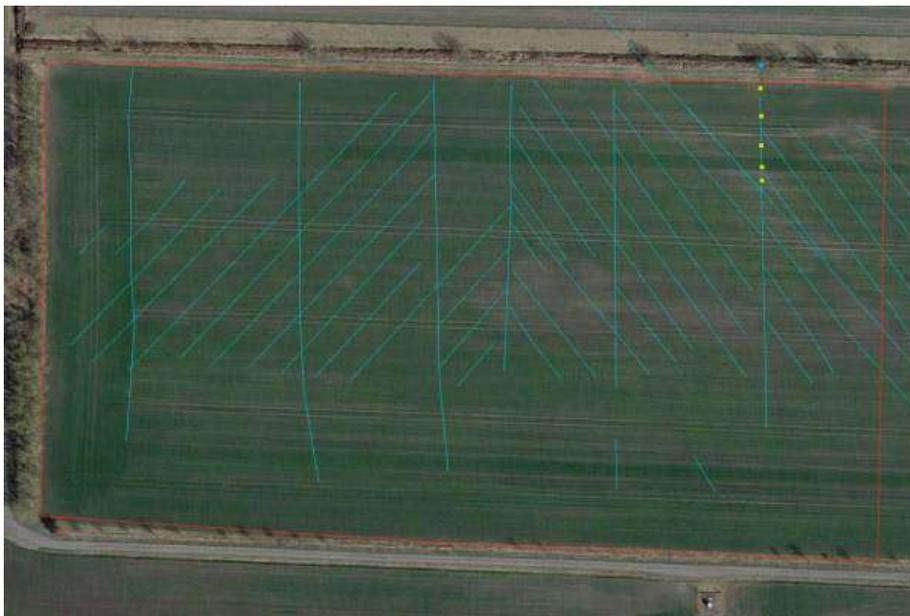


Abbildung 71: Testfläche mit Dränagen - Einbautiefe ca. 70 cm unter Geländeoberkante [Eigene Abbildung]

Anhand der farblichen Klassifikation der ECa-Daten können stellenweise Linearstrukturen ab einer Tiefe von etwa 40 cm (R2, R3, R4) vermutet werden. Abbildung 72 zeigt die ECa-Werte von R2 (40 cm unter GOK). Blaue Bereiche stehen für eine relativ geringe Leitfähigkeit, rote Bereiche stehen für eine relativ hohe Leitfähigkeit. Eine Linearstruktur mit einer erhöhter Leitfähigkeit ist im nordöstlichen Areal des Schlages erkennbar (a). Eine Linearstruktur mit geringer Leitfähigkeit ist im mittleren Bereich des Schlages sichtbar (b).

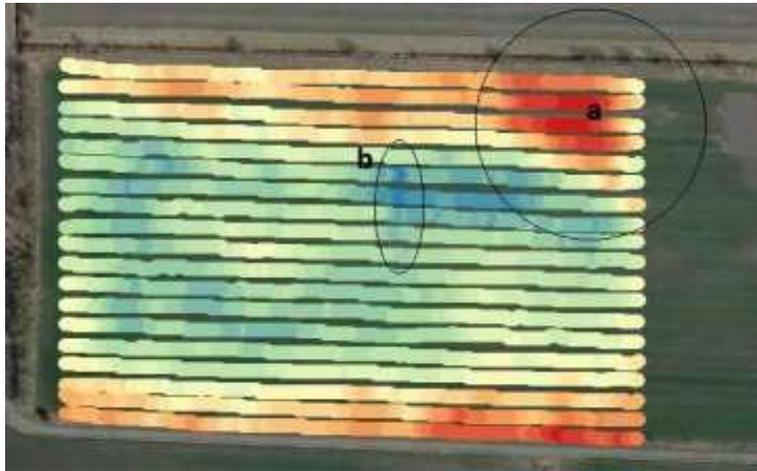


Abbildung 72: ECa-Wert R2 - 40 cm unter Geländeoberkante [Eigene Abbildung]

Mit zunehmender Tiefe nimmt der relative ECa-Unterschied zu umgebenden Messpunkten besonders in den Bereichen a und b zu. Dies könnte auf eine Lage von Leitungen in etwa 80 cm Tiefe hinweisen. Abbildung 73 stellt ECa-Werte (R4) in Kombination mit den vermuteten bzw. bestätigten Dränagen und/oder Leitungen dar. Gelb markiert sind die anhand des TSM vermutlich erkannten Linearstrukturen.

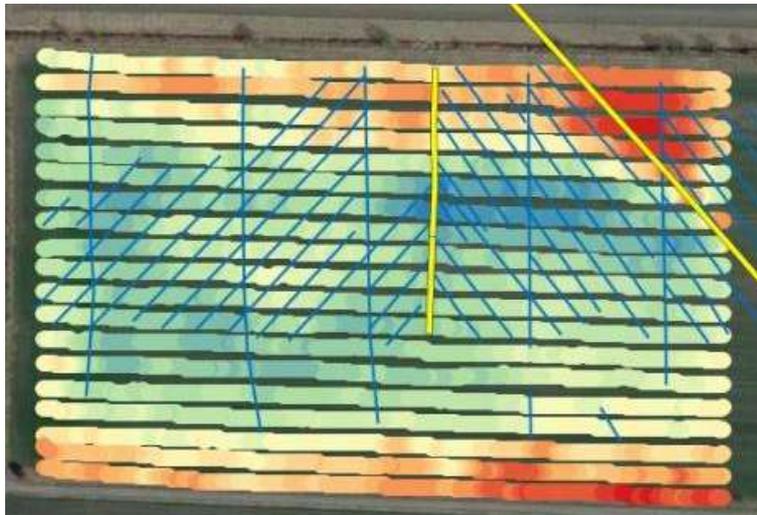


Abbildung 73: ECa-Wert R4 - in Kombination mit Dränagen aus Luftbildern [Eigene Abbildung]

Die Auswertung der Daten hat ergeben, dass mit dem Verfahren der Leitfähigkeitsmessung Dränagen derzeit nicht wirtschaftlich bzw. aussagekräftig detektiert werden können. Die Rasterauflösung ist zu grob,

um auf Dränagen anzusprechen. Linienartige Strukturen lassen sich nur bedingt und mit viel Interpretationsspielraum erkennen.

3.3.6 Neutronendetektor zur Erfassung der Bodenfeuchte

a) Allgemein

Wasserknappheit, Anpassung an Klimaveränderungen, und Gefahrenabschätzungen von Dürren und Fluten sind heutzutage dringende Themen für Forschung und Gesellschaft. Vor allem um die Auswirkungen auf Wetter und Landwirtschaft zu verstehen und vorherzusagen, ist es wichtig, den Wasserkreislauf der Erde zu beobachten und zu simulieren. In diesem System spielt Bodenfeuchte eine Schlüsselrolle, welche den Wasseraustausch zwischen Boden, Luft, und Pflanzen bestimmt. Daher sind ausgeklügelte Messtechnologien erforderlich, welche Bodenfeuchte von kleinen Ackerschlägen bis hin zu großen Gebieten erfassen können.

Die neuartige Methode, Neutronen aus kosmischer Strahlung zu messen (CRNS), ist eine vielversprechende Technologie um die Lücke zwischen Punktmessungen und Fernerkundungen zu schließen, da der Einflussbereich des Sensors bei ca. 30 ha liegen soll. Allerdings ist intensive interdisziplinäre Forschung nötig, um die Beziehung zwischen Neutronen und Bodenfeuchte zu verstehen. In der Arbeit von Martin Schrön wurden erstmals verschiedene Sensoren systematisch miteinander verglichen, und die bisherigen Korrekturen für meteorologische und geomagnetische Einflüsse näher untersucht. Darüber hinaus wurden Simulationen der Neutronenphysik herangezogen, um den Einflussbereich des Sensors genauestens zu charakterisieren. Demnach ist der Sensor je nach Umgebungsfeuchte hauptsächlich in der Fläche von ca. 6-18 ha, sowie besonders im Nahbereich, sensitiv. Diese Resultate konnten durch Experimente nahe Gewässern und Straßen bestätigt werden. Dennoch ist die Methode nachwievor sehr gut in der Lage, die Bodenfeuchte in Ackerflächen, Grasland und auch Wäldern zu erfassen. Zudem wurde gezeigt, dass sich die räumlichen und zeitlichen Neutronen-Daten gut für die hydrologische Modellierung eignen.

Die Dissertation von Martin Schrön untersucht die CRNS-Methode auf verschiedenen Skalen, und verknüpft dabei Beobachtung mit Modellierung. Außerdem verbindet seine Arbeit die verschiedenen Disziplinen der Teilchenphysik, Geophysik, und Bodenhydrologie, um das Potential und die Grenzen der Methode ganzheitlich zu beurteilen.[Sch16]

b) Grundprinzip

Das Verfahren nutzt kosmische Strahlung, die einst bei Sternenexplosionen entstanden ist. Anfänglich sind es Protonen. Wenn diese nun auf die Erdatmosphäre treffen, entstehen Neutronen. Treffen diese Neutronen nun wiederum auf Wasserstoff-Atome werden sie absorbiert. Kommt es zu einer Häufung von Wasserstoff-Atomen z.B. im feuchten Boden, dann werden weniger Neutronen durch den Detektor gezählt. Es ist anhand diesem passiven Verfahrens zur Bodenfeuchtemessung zu untersuchen ob durch konkrete Differenzen der Bodenfeuchte die Lage von Dränagen ableitbar ist.

c) Feldversuch

Am 05.12.2019 wurde in Zusammenarbeit mit Dr. Martin Schrön vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ ein Feldversuch auf dem Feldblock AL48321C06 der Agrargenossenschaft Weißensee e.G. durchgeführt. Hierbei wurde der Neutronendetektor auf den Geländewagen angebracht und mit Schrittgeschwindigkeit im ca. 30m Trassenabstand befahren.



Abbildung 74: Aufbau der Aparatur des Neutronendetektors für den Feldversuch am 05.12.2019 [Eigene Abbildung]

Abbildung 75 zeigt die Messergebnisse über der Versuchsfläche. Insgesamt wurden 627 Messpunkte aufgenommen. Das Feuchtigkeitsspektrum erstreckt sich von 7%-92% mit einer mittleren gemessenen Bodenfeuchte von 31% (Abbildung 76).

d) Auswertung

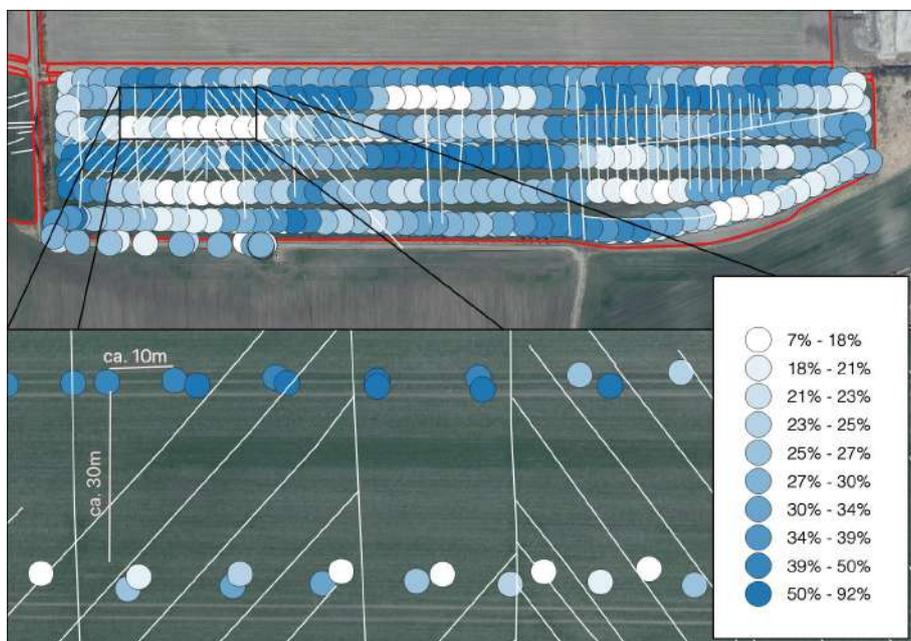


Abbildung 75: Prozentuale volumetrische Bodenfeuchte mit Dränagen aus DOP's [Feldblock AL48321C06 der Agrargenossenschaft Weißensee e.G] [Quelle: Dr. Martin Schrön]

Verschneidet man die Ergebnisse mit den bereits durch die DOP's ermittelten Dränagen können keine signifikanten Korrelationen zwischen Bodenfeuchte und verlegter Rohrdränage festgestellt werden.

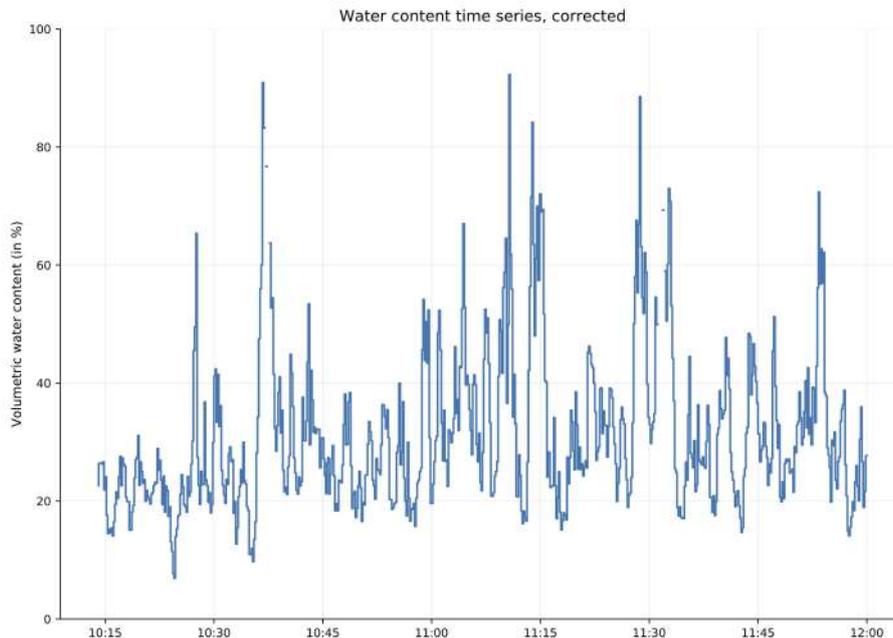


Abbildung 76: Messprotokoll Volumetrische Bodenfeuchte in % [Feldblock AL48321C06 der Agrargenossenschaft Weißensee e.G] [Quelle: Dr. Martin Schrön]

Das Verfahren ist aktuell nicht zur Dränagedetektion geeignet. Die Anwendungsparameter in der Praxis, auch im Bereich Melioration sind sehr vielfältig, so dass hier weitere Messreihen durchgeführt werden sollen.

3.4 Abschlussarbeiten

3.4.1 Konzeption und Implementierung eines GML Application Schemas für das Dränagemanagement (HTW Dresden)

Diese Arbeit wurde von Max-Florian Melde und Hagen Schoenkaese im Rahmen des Pflichtpraktikums im Studiengang Geoinformatik an der HTW Dresden umgesetzt.

Für die Arbeit mit einem Kataster und ein effektives Management von Geodaten ist es notwendig, eine einheitliche Datenstruktur zu entwickeln. Ebenso wichtig ist es, dass die Daten möglichst problemlos zwischen Nutzern ausgetauscht, gelesen und verarbeitet werden können.

Dies wurde durch die Entwicklung eines fachspezifischen Datenmodells und einem GML Anwendungsschema für die wichtigsten Meliorationsobjekte modelliert und bietet eine gute Grundlage für tiefgreifendere Datenstrukturen (vgl. Abbildung 77).

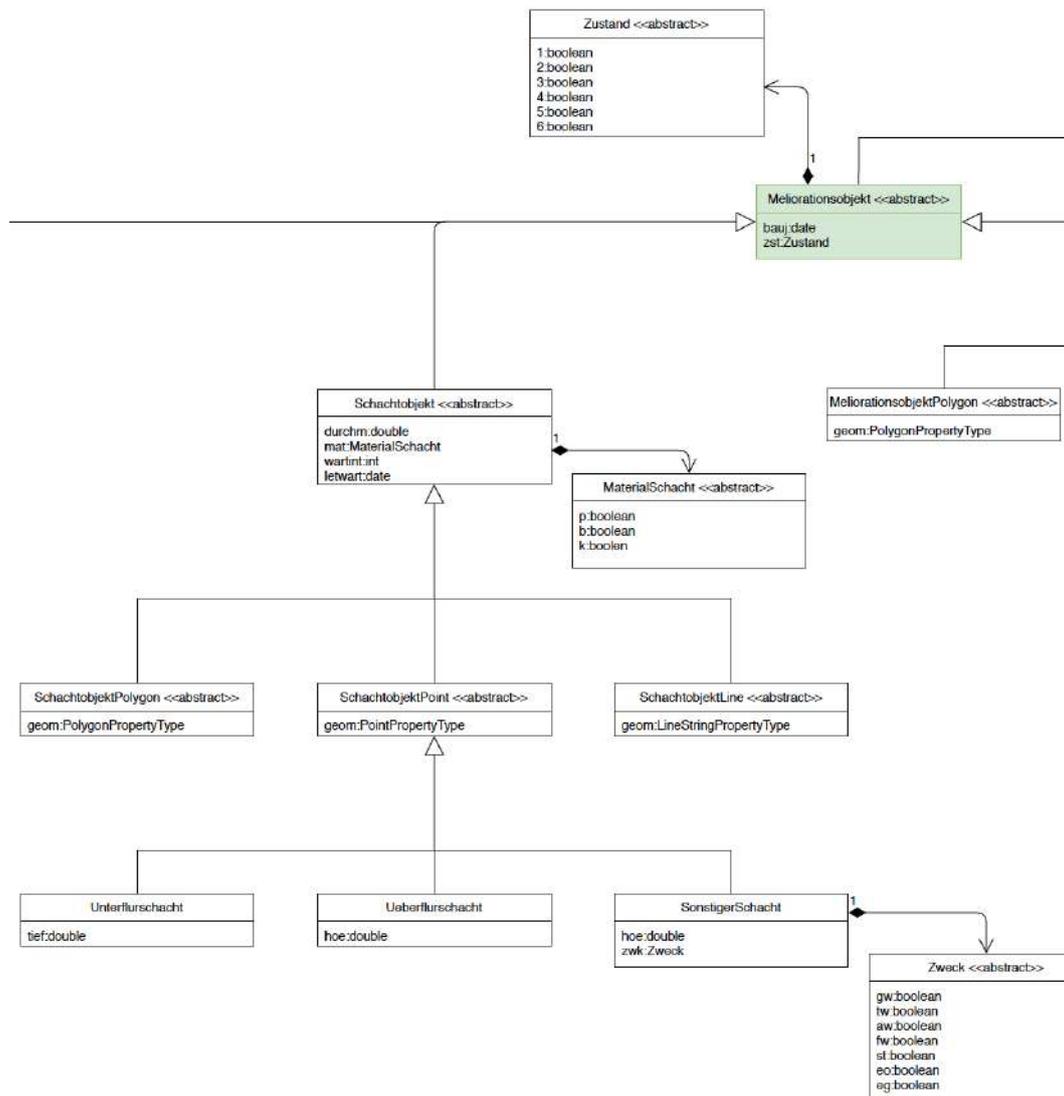


Abbildung 77: Ausschnitt des konzipierten Datenmodells [Eigene Abbildung]

3.4.2 Konzeption und Implementierung eines Objektarten- und Signaturenkataloges für Meliorationsanlagen (HTW Dresden)

Diese Arbeit wurde von Max-Florian Melde und Hagen Schoenkaese im Rahmen des Pflichtpraktikums im Studiengang Geoinformatik an der HTW Dresden umgesetzt.

Ziel der Arbeit ist die Konzeption und Implementierung eines Objektarten- und Signaturenkatalogs als einheitliche Grundlage moderner GIS-Anwendungen am Beispiel von Meliorationsanlagen. Als Grundlage diente die Masterarbeit von Christin Winter aus dem Jahr 2012 mit dem Titel: "Konzeption eines Objektartenkataloges und einer Zeichenvorschrift auf Basis des OGC Standards SLD am Beispiel von Meliorationsanlagen".

Folgende Schwerpunkte wurden beachtet:

- Analyse des Meliorationskatasters der DDR bzw. von Meliorationszeichenvorschriften

- Erkundung von Möglichkeiten der dynamischen Platzierung von Symbolen
- Erläuterung der Herangehensweise für die Erstellung von Stilen in QGIS
- Konzeption eines Objektarten- und Signaturenkatalogs unter Beachtung der vorher durchgeführten Analysen und Untersuchungen

a) Objektartenkatalog

Der Objektartenkatalog dient der Erfassung aller Objekte und ihrer Attribute, welche für das Kataster von Relevanz sind. Es bildet zudem die Grundlage für die Erstellung des Signaturenkatalogs.

Der Katalog gliedert sich in zwei übergeordnete Themenkomplexe, welche Objekte enthalten, die wiederum in Unterkategorien zusammengefasst sind. Bei den beiden großen Themengruppen handelt es sich zum einen um die Objekte, welche zwar eine Wichtigkeit für die Arbeit mit Meliorationsanlagen besitzen, jedoch nur sekundär sind und unter der Überschrift "Topographie" geführt werden. Bei der Erarbeitung dieser Elemente wurde zudem vermehrt auf die ATKIS und ALKIS Objektartenkataloge zurückgegriffen, da diese dort bereits gut beschrieben sind und dies zudem der unproblematischen Eingliederung amtlicher Daten dienlich ist. Die zweite Überkategorie beschreibt alle Objekte, die primäre Bestandteile des der Melioration und somit des Meliorationskatasters sind und trägt den entsprechenden Titel: Melioration. Beispiele dafür sind Rohrdrainagen, Faschinen, Kontrollschächte oder Ausmündungen. Ebenso werden hier Schäden aufgenommen.

Jedes Objekt erhält eine Nummer, welche sich aus der Einordnung in die jeweiligen Gruppen zusammensetzt und einen Geometrietyp. Eine Zusammenstellung grundlegender Eigenschaften wird für jedes Objekt gleichermaßen erhoben. Dabei handelt es sich um wichtige Informationen zur Erhebungsquelle, dem Erhebungsdatum, dem Urheber und der Erfassungsgenauigkeit. Bei der Erfahrungsquelle stehen dem Bearbeiter verschiedene häufig auftretende Quellen zur Verfügung. Quelldatum, Urheber und Erfassungsgenauigkeit sind wiederum Attribute, deren Wertebereich nicht vorgegeben ist. Für jedes Attribut mit numerischen Werten sind Einheiten vorgegeben. Zudem wurde für den Attributwert jeder Eigenschaft ein Datentyp vorgeschlagen, welcher im Hinblick auf deine Datenbankimplementierung sinnvoll erschien. Allgemein wurde bei der Erstellung des Objektartenkataloges versucht, eine möglichst datenbankkonforme Form zu wählen. Alle weiteren Attribute sind objektspezifisch.

Die finale Auswahl der Objekte und derer Eigenschaften kann zu einem späteren Zeitpunkt weiteren Veränderungen unterliegen, da die praktische Erprobung dieses Systems noch nicht ausführlich genug stattgefunden hat um mögliche Schwachstellen und Problemquellen in der alltäglichen Verwendung zu identifizieren.

Es folgt ein beispielhafter Ausschnitt aus dem Objektartenkatalog.

Fläche		in ha		double
1400	Sonstige			
1401	geodät. Festpunkt	Objekttyp	Punkt	string
		Erfassungsquelle		char
		LGP	Lageplan	
		BEP	Bestandsplan	
		FHZ	Freihandzeichnung	
		UAV	UAV Befliegung	
		ULB	UL-Befliegung	
		AGB	Amtl. Geobasisdaten	
		GNR	GNSS-Rover	
		SMT	Smartphone/Tablet	
		TCY	Tachymeter	
		MAB	Maßstab	
	Quelldatum		Erhebungsdatum der Quelle	date
	Urheber			string
	Erfassungsgenauigkeit		in cm	double
	Festpunktart			char
		H	Höhenfestpunkt	
		L	Lagefestpunkt	
		S	Schwerfestpunkt	
2000	Melioration			
2100	Drainverfahren			
2101	Rohdrain	Objekttyp	Linie	string
		Erfassungsquelle		char
		LGP	Lageplan	
		BEP	Bestandsplan	
		FHZ	Freihandzeichnung	
		UAV	UAV Befliegung	
		ULB	UL-Befliegung	
		AGB	Amtl. Geobasisdaten	
		GNR	GNSS-Rover	
		SMT	Smartphone/Tablet	
		TCY	Tachymeter	

Selle 8

Abbildung 78: Ausschnitt des konzipierten Objektartenkatalogs [Eigene Abbildung]

b) Signaturenkatalog

Der Erstellung des Signaturenkatalogs geht eine Analyse vorhandener Darstellungskonzepte voraus. Dabei wurden sowohl die verwendeten Formen als auch Farben begutachtet und für die Anwendung im Umfang des geplanten Katasters bewertet. Da die Implementierung einer WMS-Variante des Katasters für die Nutzer in der Landwirtschaft geplant ist und diese über GeoServer⁹ umgesetzt werden soll muss an die Umsetzbarkeit mit SLD gedacht werden, um eine komplette Neuerstellung der Signaturen zu vermeiden. Zudem sollten die Unterschiede in der Darstellung nicht zu gravierend ausfallen um eine parallele Arbeitsweise mit beiden Systemen zu begünstigen und Missverständnisse zu vermeiden. Da die Haltung des Katasters jedoch in QGIS geschehen soll liegt der Fokus bei der Erstellung der Signaturen auf den Möglichkeiten der QML-Stile.

Die visuelle Darstellung des Katasters ist neben der Datenhaltungskomponente sekundär, entsprechend weniger Fokus sollte dem artistische und ästhetischen Teil der Signaturenerstellung zuteil werden. Die funktionelle Natur des Systems steht im Mittelpunkt.

Da Drainagen und andere Elemente des Meliorationskatasters in der Regel in großen Mengen auf begrenzten Flächen zu finden sind ist es ratsam simple, eindeutig zu identifizierende Signaturen zu wählen um das schnelle und reibungslose Arbeiten zu unterstützen. Insbesondere die Elemente der Gruppe Topographie, welche wie bereits erwähnt von sekundärer Bedeutung sind sollten optische diese auch widerspiegeln und die primären Kartenelemente nicht überlagern oder zu sehr in den Vordergrund treten.

Da nicht alle Eigenschaften eines jeden Objektes in der Signatur sichtbar werden müssen oder können musste eine Lösung für den Umgang mit den komplexen Inhalten gefunden werden. Mit dem Blick auf ein möglichst einheitliches und klar strukturiertes System bot es sich an nach einer Lösung zu suchen, welche auf so viele Objekte wie möglich anwendbar war ohne von spezifischen Eigenschaften der Objekte negativ beeinflusst zu werden. Es wurde also untersucht, welche Eigenschaften für den Bearbeiter des Katasters

⁹<http://geoserver.org/>

am wichtigsten sind und somit durch optische Repräsentation unmittelbar ablesbar sein sollten. Das Ergebnis dieser Untersuchung war, dass die Objektart, die Erfassungsquelle und die Erfassungsgenauigkeit für jedes Objekt aus der Darstellung ableitbar sein sollten. Bei einigen komplexen Objekten wurden zudem einige objektspezifische Eigenschaften als so wichtig erachtet, dass sie ebenfalls aus einer rein optischen Betrachtung der Signatur hervorgehen sollten.

Eine Problematik, welche noch nicht behandelt wurde, sind die Unterschiede zwischen der Darstellung von Signaturen in einem GIS oder WMS und einer gedruckten Karte. Die Signaturen, welche für den Signaturenkatalog erstellt wurden sind für eine Verwendung in digitalen Systemen gedacht, daher sind auch alle Angaben zu Größen in Pixel getroffen. Für den Plot der Informationen müssten diese für die gewählten Maßstäbe angepasst werden. Da dies jedoch keine Neugestaltung der Signaturen, sondern nur eine Veränderung der Größeneinheiten und der entsprechenden Werte nach sich zieht wird es an dieser Stelle nicht weiter behandelt. Jedoch muss eine Anpassung der Farben in wenigen Fällen vorgenommen werden, da die Farbgebung der meisten Symbole explizit auf die Verwendung über einem Luftbild abgestimmt ist und sich dort die Farbe Weiß als Kontrastfarbe anbietet. Sollte ein Plot der Daten angestrebt werden so sollte in der Regel Weiß durch Schwarz ersetzt oder mit einem schwarzen Rand versehen werden. Im Signaturenkatalog sind dafür Vorschläge hinterlegt. Abbildung 79 zeigt einen beispielhaften Auszug aus dem Signaturenkatalog.

	Sammler aus Luftbild (UAV,ULB,AGB) Linie - Farbe: #ffffff - Breite: 4px - Strichstil: gestrichelt - Länge: 10px - Zwischenraum: 5px - Verbindungsstil: abgerundet - Endstil: flach
	Sauger aus Luftbild (UAV,ULB,AGB) Linie - Farbe: #ffffff - Breite: 2px - Strichstil: gestrichelt - Länge: 10px - Zwischenraum: 5px - Verbindungsstil: abgerundet - Endstil: flach
	Sauger aus Plan (LGP,BEP,FHZ) Marker – Linie - Farbe: #ffffff - Breite: 4px - Strichstil: gestrichelt - Länge: 10px - Zwischenraum: 10px - Verbindungsstil: abgerundet - Endstil: flach - Marker: - Form: Kreis - Breite: 4px - Farbe: #ffffff - keine Umrisslinie - Intervall: 10px - Versatz entlang der Linie: 5px

Abbildung 79: Ausschnitt des konzipierten Signaturenkatalogs [Eigene Abbildung]

3.4.3 Untersuchungen zum Bodenfeuchteindex(TWI) zur Dränagedetektion (TU Dresden)

Diese Arbeit wurde von Clara Brandes (Masterstudentin der Hydrologie an der TU Dresden) durchgeführt. Die Ergebnisse sind in das Kapitel 3.3.4 eingeflossen.

3.4.4 Bodenuntersuchung (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg)

Das Thema wurde nicht bearbeitet (vgl. Kapitel 3.2). Als Alternative dazu wurden zur Ermittlung der Bodenfeuchte Messungen mit einem Neutronendetektor des Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig unter Federführung von Dr. Martin Schrön durchgeführt (vgl. Kapitel 3.3.6).

3.5 Zusammenfassung

3.5.1 Allgemein

Im Rahmen der OG „Verfahrensentwicklung Detektion Dränage“ wurde versucht auf die agrarpolitische Herausforderungen im Bereich der Melioration einzugehen. Es konnten zahlreiche Tools und Verfahren zur Detektion von Dränagen erfolgreich erprobt, optimiert und getestet werden.

3.5.2 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Neben den breites beschrieben Ergebnisse auf den Gebieten Luftbilddauswertung, Bodenfeuchteindex etc. wurden noch weitere Tools entwickelt, um den voranschreitenden Wissensverlust im Fachgebiet Melioration (vgl. Kapitel 2.2.5) etwas entgegenzusetzen.

a) Schulung Melioration / Grundlagen rechtliche Situation

Im Rahmen des Projektes wurden umfangreichen Schulungsunterlagen für das Fachgebiet der Melioration mit folgenden Schwerpunkten erstellt.

- Geschichte Melioration
- Grundlagen Melioration
- Aktuelle Probleme Melioration
- Lösungen Melioration
- Praktische Hinweise zum Erhalt und zur Sanierung von Dränanlagen
- Aktuelle rechtliche Belange Melioration
- Melioration und Digitalisierung
- Führen eines betriebseigenen digitalen Meliorationskatasters

b) Lösungen Problematik Vorflut

Die bekannten Probleme welche in Zusammenhang zwischen Sohlerhöhung in Vorflutern und Dränagen auftreten konnten im Projektverlauf bestätigt werden (vgl. Kapitel 3.3.1). Das Schadensbild verlagert sich von der Dränausmündung in die Sauger und Sammler. Aus einem punktuellen Schaden entsteht nach und nach ein flächenhaftes Schadbild das für die Bewirtschafter hohe Kosten nach sich zieht. Folgende nachteiligen Wirkungen entstehen dadurch u.a. auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.

- Ertragsverluste von bis zu 100% mit entsprechenden nachteiligen betriebswirtschaftlichen Auswirkungen
- Bodenverdichtung
- Schädigung der Dränanlagen - bis hin zum Totalausfall
- Hohe Kosten durch mögliche Neudränierung von bis zu 3.000 Euro pro Hektar
- Höherer Krankheitsdruck in den Kulturen
- Kulturen sind gegen Trockenheit weniger Widerstandsfähig
- Agrotechnische Termine können nicht eingehalten werden, mit entsprechenden negativen Konsequenzen für die Kulturen
- Verlust von Kulturland

Oft liegt hier ein Konflikt zwischen Politik, Naturschutz und Landwirtschaft sowie weiteren beteiligten zugrunde. Die bessere gegenseitige Kenntnis über die jeweiligen Belange könnte hier dazu beitragen Lösungen zu finden. Wichtig ist hier die Aufgabe von gegenseitigen Schuldzuweisungen und einseitigen Forderungen, denn so entsteht ein Kreislauf der zu keiner Lösung führt (vgl. Abbildung 80). Oft ist es möglich mit nur kleinen Anpassungen den jeweiligen belangen gerecht zu werden und in der Summe mehr zu erreichen. Um hier Lösungen zu entwickeln bedarf es gemeinsamer Anstrengungen aus Politik, Umwelt- Naturschutz, Landwirtschaft und Bevölkerung.

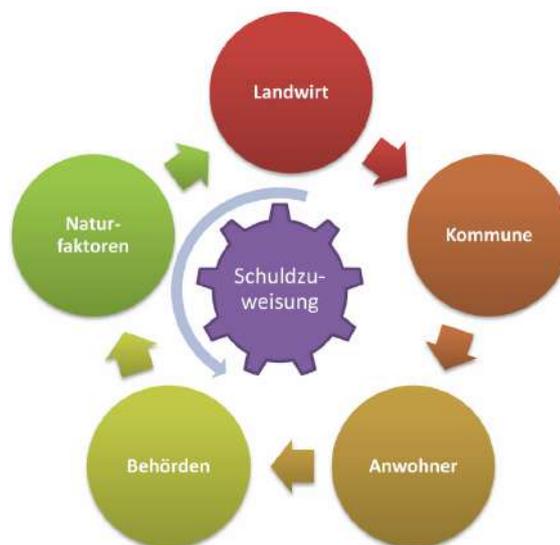


Abbildung 80: Schaubild Schuldzuweisungen [Quelle: Roland Bischof, TLLLR 2015]

Die Ergebnisse des Projektes können für zukünftige Fachgespräche zwischen den Beteiligten eine fundierte Datenbasis für den Bereich Melioration liefern.

c) Ertragsausfallberechnung

Ein Ziel des Projektes war es eine webbasiertes Tool zur Ertragsausfallberechnung zu entwickeln. Es wurde in Zusammenarbeit mit Stephan Wehner - Fachinformatiker in Ausbildung am Beruflichen Trainingszentren Dresden entwickelt und wird zukünftig kostenfrei auf der Webseite von Apus Systems „www.apus-systems.com“ im Login Bereich zur Verfügung gestellt. Nach einmaliger Anmeldung steht das Tool neben weiteren Materialien für Bereiche Melioration und Geoinformatik kostenfrei zur Verfügung.

d) Bereitstellung digitales Meliorationskataster für beteiligte Betriebe

Ein wichtiges Ziel des Projektes war es, in den beteiligten Praxisbetrieben ein mobilfähiges digitales Meliorationskataster zu implementieren. Nach eingehender Analyse der Daten und Strukturen wurde jedem Betrieb ein webbasiertes Kataster zur Verfügung gestellt, das alle im Projekt gewonnen Dränageinformationen enthält. Abbildung 81 zeigt Beispielhaft für die Agrargesellschaft Niederpöllnitz e.G. einen Auszug aus dem webbasierten digitalen Kataster. Diese Anwendung erlaubt das gleichzeitige Verwalten und Analysieren der Anlagen im Feld und im Büro und ermöglicht es über Koordinatensuche mit dem Smartphone oder einer GNSS-Antenne Objekte im Feld zu suchen.



Abbildung 81: Auszug digitales webbasiertes Meliorationskataster Agrargesellschaft Niederpöllnitz e.G. [Eigene Abbildung]

4 Ausblick

4.1 Geplante Verwertung, Öffentlichkeitsarbeit

4.1.1 Verwertung und Öffentlichkeitsarbeit in der Projektphase

Die ersten Ergebnisse des Projektes wurden am 23.03.2018 beim 4. Fachsymposium Landwirtschaftliche Melioration unter Schirmherrschaft vom Sächsischen Staatsminister für Umwelt und Landwirtschaft Thomas Schmidt einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt und diskutiert. Diese Fachveranstaltung die von Apus Systems in Zusammenarbeit mit der HTW Dresden, simul+, der Wirtschaftsförderung Sachsen, und der Volksbank Dresden-Bautzen eG organisiert wurde ist im deutschsprachigen Raum einmalig und hatte mit über 180 Besuchern einen würdigen Rahmen um die ersten Meilensteine des Projektes vorzustellen (vgl. Abbildung 82).



Abbildung 82: 4. Fachsymposium landwirtschaftliche Melioration - 23.03.2018 Nossen [Karla Mohr]

Während der Projektphase wurde die erstellten Schulungsunterlagen von Apus Systems in fünf Geschäftsführerseminaren mit Vertretern von über 80 Einzelbetrieben erfolgreich verwendet. Weitere Schulungen inkl. Praxisteil im Feld wurden an den Fachschulen in Großenhain, Zug und Stadtroda mit zusammen über 90 Teilnehmern von Apus Systems durchgeführt.

4.1.2 Verwertung und Öffentlichkeitsarbeit nach der Projektphase

Folgende Termine zur Verwertung und Öffentlichkeitsarbeit sind nach Projektende vorgesehen

- Fachvorträge - 5. Fachsymposium Melioration 2020
- Messestand - Grüne Tage Thüringen 2020
- Fachvorträge - DLG-Feldtage 2020
- Schulungen, Seminare (Fachschulen, Hochschulen, betriebliche Weiterbildung)

4.2 wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Aus den Ergebnissen des Projektes und den internen und externen Diskussionen ist deutlich geworden, dass Dränagen auch weiter von grundlegender Bedeutung für die Landwirtschaft sind. Mit dem vorliegenden Projekt konnten wichtige Schritte unternommen werden, um das Thema der Melioration in das Zeitalter der Digitalisierung zu überführen. Durch die lange Vernachlässigung des Themas in Deutschland ist jedoch noch immer ein großes Wissen- und Handlungsdefizit vorhanden. Deshalb muss es Ziel weiterer Untersuchungen sein neue wissenschaftliche Erkenntnisse in diesem Fachgebiet zu generieren, um die Herausforderungen der Zukunft bewältigen zu können (vgl. Kapitel 1.1). Weitere Forschung ist daher unabdingbar.

4.3 Kommunikations- und Disseminationskonzept

4.3.1 Grundsätzliche Schlussfolgerungen zu EIP

Bürokratie, Antragsstellung

Der bürokratische Aufwand zur Führung und Verwaltung eines EIP Projektes ist beträchtlich und belegt zu einem nicht unwesentlichen Grad die Kapazitäten des Gesamtprojektes. Gerade für kleine Unternehmen ist dieser Aufwand nicht zu vernachlässigen. Dank der guten Zusammenarbeit mit der Thüringer Aufbaubank konnte der Antrag und auch der Mittelabruf trotzdem gut bewältigt werden.

Allgemeinen Schlussfolgerungen EIP

Insgesamt wird die Europäische Innovationspartnerschaft »Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit« (EIP AGRI) als ein sehr gutes Instrument angesehen Projekte zu entwickeln. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit Vorhaben in Kooperation zwischen Praxis, Entwicklung und Forschung mit einem hohen Fördersatz umzusetzen. Hier ist jedoch auch gleichzeitig eine Begrenzung, da es oft lange dauert bis die Fördergelder pro Abrechnung bei den Unternehmen eintreffen und das Geld entsprechend vorfinanziert werden muss, stellt das vor allem kleine Betriebe vor große Herausforderungen..

Die Mitglieder der Operationellen Gruppe ziehen insgesamt ein durchweg positives Fazit des Vorhabens.

5 Danksagung

Im Namen aller Projektpartner bedanken wir uns herzlich beim Freistaat Thüringen insbesondere beim Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum und bei der Thüringer Aufbaubank für die tolle Unterstützung während der gesamten Projektlaufzeit sowie auch für die Förderung im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft »Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit« (EIP AGRI).

Durch ihre Unterstützung konnte die Grundlage für eine nachhaltige Zukunftsinitiative auf dem Gebiet der Melioration gelegt werden.

Dresden, 30. März 2020

Dipl. Geogr. Mario Hehne, Dipl. Ing.(FH) Fabian Naumann

Abkürzungen

- AGL** In der Luftfahrt werden Höhenangaben mit dem Zusatz AGL versehen, wenn es sich um eine Höhe über Grund handelt.. 20
- DGM** repräsentiert die Erdoberfläche ohne Vegetation und Bauwerke. 50, 51, 58, 63, 64, 65, 66
- DOM** repräsentiert die Erdoberfläche (Grenzschicht Pedosphäre – Atmosphäre) samt allen darauf befindlichen Objekten (Bebauung, Straßen, Bewuchs, Gewässer usw.). 48, 50, 51, 52, 58, 60, 63
- DOP** Ist eine verzerrungsfreie und maßstabsgetreue Abbildung der Erdoberfläche, die durch photogrammetrische Verfahren aus Luft- oder Satellitenbildern abgeleitet wird. . 19, 21, 30, 31, 46, 47
- GCP** Auch Passpunkte genannt, für die Bestimmung der Elemente der Orientierung eines Messbildes in der Photogrammetrie. 19, 30, 31, 32
- GIS** Informationssystem zur Erfassung, Bearbeitung, Organisation, Analyse und Präsentation räumlicher Daten..
- GNSS** GNSS ist ein System zur Positionsbestimmung und Navigation auf der Erde und in der Luft und ein Sammelbegriff für verschiedene Systeme wie NAVSTAR GPS, GLONASS, Galileo und andere.
- GPR** Auch Bodenradar genannt - erlaubt eine zerstörungsfreie Charakterisierung des Untergrundes mit hochfrequenten elektromagnetischen Wellen.. 40
- GSD** Die Bodenauflösung bzw. Ground Sampling Distance ist der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden, auf dem Boden gemessenen Pixeln.. 20, 30, 31, 47, 48, 50
- MSI** Das hochauflösende Multispektralinstrument von Sentinel-2 basiert auf dem bewährten Erbe der französischen SPOT-Missionen und der US-Satelliten Landsat. Er ist der fortschrittlichste seiner Art und umfasst drei Bänder im "roten Bereich" um wichtige Informationen über den Zustand der Vegetation zu liefern.. 40
- SAR** Ein Radar mit synthetischer Apertur - gehört zur Klasse der abbildenden Radare und wird als Sensor zur Fernerkundung genutzt. . 40
- SWIR** kurzwelliges Infrarot. 40
- TWI** Der Bodenfeuchteindex ist eine Größe um den Zusammenhang zwischen Topographie und potentieller Vernässung zu quantifizieren. 49, 50, 51, 52, 56, 60
- UAV** Ein unbemanntes Luftfahrzeug ist ein Luftfahrzeug, das ohne eine an Bord befindliche Besatzung autark durch einen Computer oder vom Boden über eine Fernsteuerung betrieben und navigiert werden kann.. 19, 48
- WMS** Ein Web Map Service ist eine Schnittstelle zum Abrufen von Auszügen aus Landkarten über das World Wide Web..

Literatur

- [Ash96] ASHOK, V.: Mapping Subsurface Drainage Systems With Color Infrared Aerial Photographs, Verma, Ashok; Richard Cooke; Leon Wendte. In: *Awra Symposium On Gis And Water Resources* (1996), S. 7
- [B⁺14] BUCHANAN, B. P. u. a.: *Evaluating topographic wetness indices across central New York agricultural landscapes*. S. 3279 : <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/3279/2014/hess-18-3279-2014.pdf>, 2014
- [BME10] BMELV: *Neuabgrenzung benachteiligter Gebiete*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2010. – Bericht an die EU-Kommission Bericht an die EU-Kommission
- [Bun] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT: https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/_Texte/Ernte2018.html,
- [Bus81] BUSCH, Karl-Franz: *Hydromelioration 1. Lehrbrief Bodenentwässerung*. Zentralstelle für das Hochschulstudium des Ministeriumss für Hoch- und Fachschulwesen, Zwickau, 1981
- [Dö86] DÖRTER, K: *Landwirtschaftliche Melioration*. VEB deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 1986
- [D⁺15] DROVER, D. R. u. a.: *Effects of DEM scale on the spatial distribution of the TOPMODEL-topographic wetness index and its correlations to watershed characteristics*. <https://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/12/11817/2015/hessd-12-11817-2015.pdf>, 2015
- [Dit05] DITTRICH, D.: *Erfassung von Unterlagen des Meliorationskatasters der DDR und Vorschläge zu deren Sicherung*. Dittrich, D., Worm, W. Infodienst der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, 10/2005 (S. 15-21) Referat 34 - Ländliche Entwicklung, 2005
- [Duc74] DUCKSTEIN, M.: *Methoden zur Erkundung von Standortgefügen - dargestellt am Beispiel eines Flachhangphysiotops im unteren Osterzgebirge*, Duckstein, M., Fendler, G., Salzmann, S., Schulze, H., Pädagogische Hochschule Dresden, Diplomarbeit, 1974
- [Epp08] EPPERLEIN, J.: Plädoyer für ein Umdenken mit der Ressource Boden. In: *10 Jahre GKB Aktuelle Trends in der Bodenbearbeitung*, 2008
- [esaa] https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Facts_and_figures,
- [esab] https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Facts_and_figures,
- [esac] https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-3/Facts_and_figures,
- [esad] https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Facts_and_figures,
- [Geo] GEOPROSPECTORS: TSM - kurze Produktbeschreibung.
- [gra] <https://grass.osgeo.org/grass70/manuals/r.resamp.filter.html>,
- [hom] <https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/gsmooth.htm>,

- [ima] <http://www.imagemagick.org/Usage/filter/#interpolated>,
- [IPP07] IPCC: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York. Cambridge University Press, 2007
- [Kau84] KAULFUSS, Prof.W.: *Arealstrukturanalyse. Beiträge zur Theorie und Anwendung einer geographischen Methode*. Pädagogische Hochschule Dresden, Sonderdruck wissenschaftliche Zeitschrift, S. 89-105, 1984
- [Kra10] KRAMMERER, G.: *Regelung des Bodenwasserhaushaltes*. Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, 2010
- [Kul05] KULHAVY, Z.: Identification of Subsurface Drainage Systems by Air Photographs, Kulhavy, Zbynek, Zaloudík, Jiri Tlapakova, Lenka Buresova, Eichler Josef and Cmelik Milan. In: *ICID 21st European Regional Conference* (2005), S. 1–4
- [lana] <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-7/>,
- [lanb] <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview/>,
- [MfL20] MFLFUN: *TGL 20286 Blatt 1*. Version: März 2020. http://katalog.ub.uni-weimar.de/tgl/TGL_20286-01.pdf. Ministerium für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft, Bereich Landbau und Meliorationsbau. Berlin
- [Naz09] NAZ, B.S.: Detecting subsurface drainage systems and estimating drain spacing in intensively managed agricultural landscape, Naz, B.S., S. Ale and L.C. Bowling. In: *agricultural water management* 96 (2009), S. 627–637
- [Pol91] POLLACK, Dr. P.: *Entwicklung und Stand des Meliorationswesens in den fünf neuen Bundesländern*. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AID) e.V, Bonn, 1991
- [Rua09] RUARK, Matthew D.: Tile Drainage in Wisconsin: Understanding and Locating Tile Drainage Systems, Ruark, Matthew D., John C. Panuska, Eric T. Cooley and Joe Pagel. In: *University of Wisconsin - Extension* (2009), S. 1–4
- [Sch98] SCHEFFER: *Lehrbuch der Bodenkunde*. 14. Aufl. Stuttgart. Scheffer, Schachtschabel, Spektrum Akademischer Verlag, 1998
- [Sch16] SCHRÖN, Martin: *Cosmic-ray neutron sensing and its applications to soil and land surface hydrology*, Universität Potsdam, doctoralthesis, 2016. – 223 S.
- [SMU13] SMUL: *Erosionsminderung*, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/4566.asp>. Version: 2013, Abruf: 05.03.2015
- [Spr95] SPRECKELS, V.: *Erfassung und Auswertung von Dränungen in landwirtschaftlichen Nutzflächen auf der Basis von Fernerkundungsdaten und geographischen Informationssystemen*, Universität Hannover, Diplomarbeit, 1995
- [sta18] *Diskussion zu negativen Werten des TWI*. <https://gis.stackexchange.com/questions/104543/getting-negative-topographic-wetness-index-twi-values-in-saga-gis>, 2018

- [Tet08] TETZLAFF, B.: Ein neues Verfahren zur differenzierten Ableitung von Dranflachenkarten, Tetzlaff, B., Kuhr, P. and Wendland, F. In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 1 (2008), S. 9–18
- [TGL85a] TGL24300: *Aufnahme landwirtschaftlich genutzter Standorte - Nutzung von Luftbildern zur Feststellung von vernässten Ackerflächen und von Bodenwasserregulierungsanlagen*. Amt für Standardisierung der DDR, 1985
- [TGL85b] TGL36873: *Fachbereichstandard Melioration Grabenbau Blätter 1 bis 7*). Amt für Standardisierung der DDR, 1985
- [TGL85c] TGL42812: *Fachbereichstandard Melioration Blätter 1 bis 10*). Amt für Standardisierung der DDR, 1985
- [thg] <https://www.thueringen.de/th9/tlbg/geoinformation/geotopographie/luftbilder/orthophotos/>,
- [Wal02] WALTER, Wolfgang. Prof. a. D. Dr. Ing. h.: *Hydromelioration*. Institut für Grundwasserwirtschaft TU-Dresden : Vorlesungsmaterialien, 2002
- [wika] https://en.wikipedia.org/wiki/Sinc_filter#/media/File:Sinc_function_%28normalized%29.svg,
- [wikb] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mplwp_lanczos-filter1-5.svg,
- [wikc] https://en.wikipedia.org/wiki/Lanczos_resampling#/media/File:Lanczos-windows.svg,
- [wikd] <https://de.wikipedia.org/wiki/Gau%C3%9F-Filter#/media/File:Gauss-Filter-Uebertragungsfunktion.svg>,
- [wike] https://en.wikipedia.org/wiki/Box_blur,
- [wikf] <https://en.wikipedia.org/wiki/Downscaling>,
- [wikg] https://en.wikipedia.org/wiki/Sinc_filter,
- [wikh] https://en.wikipedia.org/wiki/Lanczos_resampling,
- [wiki] https://en.wikipedia.org/wiki/Ringing_artifacts,
- [wikj] <https://de.wikipedia.org/wiki/Gau%C3%9F-Filter>,
- [wikk] https://en.wikipedia.org/wiki/Window_function,
- [Wik20] WIKIPEDIA: *Melioration*. Version: März 2020. <http://de.wikipedia.org/wiki/Melioration>. Wikipedia, Lizenz „Creative Commons Attribution/Share Alike“