

Ingenieurtechnische Begleitung zur Erfolgskontrolle und Prognosefortschreibung der Wirkungsprognosen der Maßnahme 5.1 zur Reduzierung des Sickerwasserstroms durch Bewirtschaftung von Kippenflächen Witznitz (Nachsorgephase 2018-2022)

Jahresbericht 2019



links: Sondermessstelle am Standort 3 (Bauabnahme am 05.06.2019); rechts: Ernte am Kontrollpunkt 4 (Fläche C)

Dresden, den 29.05.2020

Titel Ingenieurtechnische Begleitung zur Erfolgskontrolle und Prognosefortschreibung der Wirkungsprognosen der Maßnahme 5.1 zur Reduzierung des Sickerwasserstroms durch Bewirtschaftung von Kippenflächen Witznitz (Nachsorgephase 2018-2022)
Jahresbericht 2019

Auftraggeber LMBV Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
Walter-Köhn-Straße 2, 04356 Leipzig



Auftragnehmer GFI Grundwasser-Consulting-Institut GmbH Dresden
Meraner Str. 10, 01217 Dresden



Auftragsnummer 45058342 vom 03.12.2018

Bearbeiter Dipl.-Ing. M. Rumpel
Dr.-Ing. R. Giese
Dr. R. Madi
Prof. Dr.-Ing. habil. U. Beims

Mitarbeit Dr.-Ing. H. Mansel IBGW GmbH Leipzig
Dipl.-Hydrol. D. Kriegel IBGW GmbH Leipzig
Dipl.-Hydrol. Anke Winkler BfUL Brandis

Datum Dresden, den 29.05.2020

Dipl.-Ing. M. Rumpel
(Projektleiter)

Dr. F. Bilek
(Geschäftsführer)

Dr. R. Giese
(Geschäftsführer)

Anschrift:
GFI Grundwasser-Consulting-
Institut GmbH Dresden
Meraner Straße 10
01217 Dresden

Fon +49.351.4050660
Fax +49.351.4050669
info@gfi-dresden.de
www.gfi-dresden.de

Bankverbindung:
Deutsche Kreditbank AG
IBAN DE18 1203 0000 1020 0151 43
SWIFT BIC: BYLADEM1001

Handelsregister:
Amtsgericht Dresden
HR B 10748
USt-IdNr. DE 169148266

Geschäftsführer
Dr.-Ing. R. Giese
Dr.-Ing. habil. Th. Luckner
Dr.-Ing. habil. F. Bilek



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	8
Anlagenverzeichnis	9
Abkürzungsverzeichnis	10
1 Veranlassung	11
2 Zusammenstellung der Arbeiten	14
3 Auswertung der Monitoringergebnisse.....	16
3.1 Festlegung der Kontrollflächen	16
3.2 Ernteerträge der Kontrollflächen	17
3.3 Ernteerträge der Lysimeter (BfUL)	18
3.4 Vergleich der Ernteerträge.....	23
3.5 Phänologie.....	26
3.5.1 Wuchshöhen von Luzerne auf den Kontrollflächen.....	26
3.5.2 Wuchshöhen auf den Lysimetern.....	27
3.6 Klima.....	29
3.7 Bodenwasserhaushalt an den Lysimetern	32
4 Sanierungswirksame Umsetzung der Ergebnisse des Pilotversuches.....	39
5 Errichtung Sondermessprofil	42
5.1 Errichtung Grundwassermessstellen 7642 und 7645	42
5.2 Errichtung Bodenwassermessstellen	45
6 Laufendhaltung der Modelle	49
6.1 1D-Wasserhaushaltsmodell.....	49
6.2 Aufbau und Vorkalibrierung des 2D-Modells Witznitz	50
6.2.1 Konzeptionelles Modell	51
6.2.2 Modellaufbau	53
6.2.3 Vorkalibrierung.....	57

6.2.4	Vorläufige Kalibrierungsergebnisse	58
6.2.5	Ausblick.....	60
6.3	Grundwassermodell	60
7	Zusammenfassung.....	64
8	Literatur.....	66

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1	Lage der Versuchsflächen und der Kontrollpunkte K1 bis K8 auf den Bewirtschaftungsflächen A bis E im Südbereich der Kippe (links: bisherige Lage; rechts: neue Lage)	16
Abb. 3-2	Darstellung der Frischmassenerträge von Luzerne, Knautgras bzw. Luzerne/Knautgras auf den Lysimetern in [dt FM/ha] gem.	21
Abb. 3-3	Ernteerträge Knautgras bzw. Knautgras/Luzerne auf den Versuchsflächen und Lysimetern	24
Abb. 3-4	Ernteerträge Luzerne auf den Versuchsflächen und den Lysimetern.....	24
Abb. 3-5	Ernteerträge Luzerne auf den Bewirtschaftungsflächen (K1 bis K8)	25
Abb. 3-6	Wuchshöhe Luzerne auf den Kontrollflächen K1-K6 (Mittelwert) und K7-K8 (Mittelwert)	26
Abb. 3-7	Wuchshöhen für verschiedene Kulturen auf den Lysimetern von 2009 – 2019.	28
Abb. 3-8	Niederschläge in Brandis und Witznitz.....	30
Abb. 3-9	Lufttemperatur in Brandis und Witznitz	30
Abb. 3-10	Potenzielle Verdunstung in Brandis und Witznitz nach Turc-Wendling	31
Abb. 3-11	Klimatische Wasserbilanz in Brandis und Witznitz	32
Abb. 3-12	Darstellung der realen Verdunstung auf den 12er Lysimetern	33
Abb. 3-13	Darstellung der realen Verdunstung auf den 14er Lysimetern	33
Abb. 3-14	Darstellung der Bodenwasserausschöpfung der 12er Lysimeter	35
Abb. 3-15	Darstellung der Bodenwasserausschöpfung der 14er Lysimeter	35
Abb. 3-16	Darstellung der Sickerwassermengen auf den 12er Lysimetern	36
Abb. 3-17	Darstellung der Sickerwassermengen auf den 14er Lysimetern	37
Abb. 4-1	Plan der Luzerneanbaufläche im Südbereich der Kippe (Quelle: LMBV).....	39
Abb. 4-2	Umgesetzte Meliorationsmaßnahmen auf der Grundlage des G.U.B.-Bodengutachtens (2013)	40
Abb. 5-1	Lage der neu errichteten GWM 7642 und 7645 auf der Kippe Witznitz	42
Abb. 5-2	Neu errichtete Sondermessstellen am Standort 2 (GWM 7642) und 3 (GWM 7645) mit Anfahrtschutz und Markierungsstangen am 23.07.2019	45
Abb. 5-3	Standortbezeichnung der Sondermessstellen	46
Abb. 5-4	Bodenspezifische Kalibrierung der Wassergehaltsonden am GFI.....	47
Abb. 5-5	schematischer Aufbau der Messeinrichtung am Standort 1 (GWM 4259).....	48
Abb. 5-6	schematischer Aufbau der Messeinrichtung am Standort 2 (GWM 7642).....	48

Abb. 6-1	Gegenüberstellung der berechneten und der gemessenen kumulierten Sickerwassermengen für das Knaulgras bzw. Knaulgras/Luzerne-Lysimeter 14/2 sowie der korrigierte Niederschlag (Tageswert Station Brandis)	49
Abb. 6-2	Gegenüberstellung der berechneten und der gemessenen kumulierten Sickerwassermengen für das Knaulgras bzw. Luzerne-Lysimeter 14/4 sowie der korrigierte Niederschlag (Tageswert Station Brandis)	50
Abb. 6-3	Lage der alten und neuen errichteten GW-Messstellen und das 2D-Modell Profil auf der Kippe Witznitz	51
Abb. 6-4	Konzeptionelles 2D-Modell der Kippe Witznitz	52
Abb. 6-5	Diskretisierung und Lage der Überwachungspunkte (rot), Maße in Meter.....	53
Abb. 6-6	Darstellung der Randbedingungen des Strömungsmodells (hellgrün: RB Atmosphäre; blau: RB zeitabhängige Druckhöhe; rot: konstante Druckhöhe; weiß: keine Flüsse)	54
Abb. 6-7	Klimatische und hydraulische Eingangsdaten in dem Zeitraum 22.5.2019 bis 29.02.2020.....	54
Abb. 6-8	Penman-Monteith Verdunstung ET_a relative zur Grasreferenzverdunstung ET_0 in Abhängigkeit von Albedo und Höhe der Vegetation	56
Abb. 6-9	Ergebnisse der Vorkalibrierung der pF-Werte im Messzeitraum 07/2019 bis 02/2020 am Standort 1 (4269) und Niederschlag im Messzeitraum (Lysimeterstation Witznitz)	58
Abb. 6-10	Ergebnisse der Vorkalibrierung der pF-Werte und beispielhaft der Bodenfeuchte im Messzeitraum 07/2019 bis 02/2020 am Standort 2 (7642) und Niederschlag im Messzeitraum (Lysimeterstation Witznitz)	59
Abb. 6-11	Ergebnisse der Vorkalibrierung der pF-Werte im Messzeitraum 07/2019 bis 02/2020 am Standort 3 (7645) und Niederschlag im Messzeitraum (Lysimeterstation Witznitz)	59
Abb. 6-12	Berechneter Hydroisohypsenplan für die Jahresscheibe 2019 (1/2019) mit neu errichteten Pegeln 7642 und 7645 sind rot markiert	61
Abb. 6-13	Detaildarstellung, Berechneter Hydroisohypsenplan für die Jahresscheibe 2019 (1/2019), neu errichtete Pegel sind rot markiert.....	62
Abb. 6-14	Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen im Kippengebiet Witznitz; 3641 und 52341 im Südanstrom zur Pleiße, 4661 und 4121 im Nordanstrom zur Pleiße, 7642, 7645 und 42691 auf der Kippe während des Kalibrierungszeitraums.....	63

Abb. 6-15 Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen im Kippengebiet Witznitz; 3641 und 52341 im Südanstrom zur Pleiße, 4661 und 4121 im Nordanstrom zur Pleiße, 7642, 7645 und 42691 auf der Kippe; Kalibrierungs- und Prognosezeitraum bis zur Einstellung stationärer Strömungsverhältnisse 63

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1	Übersicht zur Bewirtschaftung der Lysimeter in Brandis und Witznitz von 2009 bis 2020	14
Tab. 3-1	Ernteerträge bezogen auf Frischmasse 2019 in [dt FM/ha]	17
Tab. 3-2	Ernteerträge bezogen auf Trockenmasse 2019 in [dt TM/ha].....	17
Tab. 3-3	Bewirtschaftung der Lysimeter 12/1 bis 12/3.....	19
Tab. 3-4	Bewirtschaftung der Lysimeter 14/2 und 14/4	19
Tab. 3-5	Ernteerträge Frischmasse FM auf den Lysimetern in dt FM/ha von 2009 bis 2017 (Knautgras, Luzerne bzw. Knautgras/Luzerne)	20
Tab. 3-6	Trockenmassenerträge für Mais im Jahr 2018 (Sorte Katari) und 2019 (neue Sorte Motivi CS) auf den 14er Lysimetern in [dt TM/ha] (Quelle: Lysimeterstation Brandis).....	22
Tab. 3-7	Niederschlagsmengen an den Stationen Brandis und Witznitz im Jahr 2019 sowie die Abweichung der Station Brandis zum langjährigen Mittelwert (1981 – 2010).....	29
Tab. 3-8	Klimatische Wasserbilanz an den Stationen Brandis und Witznitz von 2014 bis 2019.....	32
Tab. 3-9	Reale Verdunstungshöhen auf den Lysimetern für die verschiedenen Anbaukulturen von 2010 bis 2019	34
Tab. 5-1	Bauablauf Errichtung der beiden Grundwassermessstellen 7642 und 7645.....	43
Tab. 5-2	Ergebnisse der bohrlochgeophysikalischen und optischen Ausbaukontrollmessungen im Soll/Ist Vergleich (BBi)	44
Tab. 5-3	Auszug aus den laborativen Mess- und Analyseergebnissen der Erstbeprobung.....	44
Tab. 5-4	Ergebnisse der Einmessung durch die Markscheiderei am 12.06.2019	45
Tab. 5-5	Eingebaute Sonden an den Bodenwassermessstellen.....	46
Tab. 5-6	Auswertung kf-Werte anhand ermittelter Korngrößenverteilung nach Beyer und Kaubisch.....	47
Tab. 6-1	Jahrgang der Interzeption in Prozent von N_{korr}	56

Tab. 6-2	Klassifizierung der Boden nach KA5 [4] für Standorte 2 und 3, Teufe 1 m und 2,5 m.....	57
Tab. 6-3	Vorläufig kalibrierte Van-Genuchten Bodenparameter für die verschiedenen Materialschichten.....	58

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Prüfberichte für die Bestimmung der Ernteerträge
Anlage 2	Bilddokumentation

Abkürzungsverzeichnis

BfUL	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
FM	Frischmasse
GW	Grundwasser
GWN	Grundwasserneubildung
h	Grundwasserspiegellage in m NHN
HGMS	Hydrogeologisches Großraummodell Süd des IBGW
HYDRUS	Bodenwasserhaushaltsmodell
IBGW	Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH
K	Kontrollflächen 1-8 auf den Bewirtschaftungsflächen der Kippe Witznitz
KAS	Kalkammonsalpeter (Stickstoffdünger)
Kg	Knautgras
LMBV	Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
Lu	Luzerne
Lys	Lysimeter
M	Mais
Mg	Magnesium
MIBRAG	Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH
n	Van-Genuchten-Parameter (charakterisiert die Weite der Porengrößenverteilung)
NPK	Stickstoff-Phosphor-Kalium-Dünger
PK	Phosphor-Kalium-Dünger
RB	Randbedingung
SSA	Ammoniumsulfat (reiner Ammoniumdünger)
SW	Sickerwassermenge
TM	Trockenmasse
VF	Versuchsfläche 1-1 bis 1-3 (Knautgras-Luzerne) und 1-4 bis 1-6 (Luzerne)
Wg	Wintergerste
WH	Wasserhaushalt
Wr	Winterraps
Ww	Winterweizen

1 Veranlassung

Im Zeitraum von **2008 bis 2011** wurde im Auftrag der LMBV das Vorhaben

„Durchführung eines Pilotversuches zur Reduzierung der Exfiltration von eisenbelastetem Grundwasser aus den Kippen des ehemaligen Tagebaues Witznitz in die Fließgewässer Pleiße und Wyhra“

in den Bearbeitungsetappen 1 und 2 durchgeführt.

Der Pilotversuch hat gezeigt, dass mit Dauergrünland aus Luzerne, durch eine Verbesserung der Kippenböden mittels Tiefenlockerung und Kalkung sowie mit einer optimalen Bewirtschaftung und Düngung der Bestände eine starke Reduzierung der Grundwasserneubildung und damit der Eisen-, Sulfat- und Aciditätseinträge in Pleiße und Wyhra erreicht werden kann. Die Ergebnisse der umfangreichen Wasserhaushaltsuntersuchungen an den Versuchspartellen auf der Kippe Witznitz und den Lysimetern in der Lysimeterstation Brandis sind im Abschlussbericht vom 31.01.2012 nachvollziehbar dokumentiert worden und bilden damit die Grundlage für die großtechnische Umsetzung der Ergebnisse in der Phase 3.

In der Ergebnisniederschrift des **17. Vorhabensbegleitenden Arbeitskreises** wird dazu ausgeführt (TOP4, E2):

„Es wird empfohlen, Verhandlungen mit dem Grundstückseigentümer zur Ausweitung und langfristigen Sicherstellung des Dauergrünlandbaus auf der Kippe Witznitz aufzunehmen. Der technische Pilotversuch könnte dadurch in einen „Großversuch“ zur Bestätigung und Erweiterung der Grundlagenkenntnisse mit Sanierungswirksamkeit überführt werden.“

Auch auf der **82. Sitzung des Regionalen Sanierungsbeirates Westsachsen/Thüringen** am 26.04.2012 wird das Vorhaben nachdrücklich unterstützt.

„Maßnahmen zur Optimierung der Wasserhaushaltsschicht und Dauergrünlandbau als nachhaltige Sanierungslösung sind nur über die Einbeziehung und Steuerung privatwirtschaftlicher Unternehmen möglich.“

„Es ist daher sinnvoll das Pilotprojekt Kippe Witznitz zwecks Einstieg in die Bearbeitungs-etappe 3 als Großversuch unter Einbeziehung des Flächeneigentümers fortzuführen, da keine Möglichkeiten gesehen werden, über regionalplanerische Instrumente steuernd die Sicherung von Flächen zur Dauergrünlandbewirtschaftung zu erwirken.“

Bereits **ab 2012** wurde in Kooperation mit der **Osterland Agrar GmbH** zur schadlosen Überbrückung der Zeit zwischen dem Ende des Pilotversuches und dem Beginn des großtechnischen Versuches ein minimiertes Versuchs- und Monitoringprogramm zur Gewinnung von Wasserhaushaltsgrößen und pflanzen-physiologischen Parametern sowie zur Erhaltung der Versuchsflächen durchgeführt.

Im **Jahr 2013** wurde das GFI durch die LMBV mit den Leistungen zur ingenieurtechnischen Begleitung und Auswertung des sanierungswirksamen Feldversuchs zur Reduzierung der Grundwasserneubildung auf den Flächen der Kippe Witznitz im Sinne einer Fortführung des o. g. Pilotprojektes beauftragt, um bei den Lysimeteruntersuchungen und der Bewertung der Versuchsfläche 1 einen lückenlosen Anschluss an die im Herbst 2014 begonnene großtechnische Umsetzung zu gewährleisten. Die großtechnische, flächenhafte Umsetzung der Erfahrungen des Pilotversuches beinhaltet den Luzerneanbau auf 225 ha auf dem südlichen Teil der Kippe Witznitz, der ingenieurtechnisch mit den Untersuchungen auf den Feldversuchsflächen und den Lysimetern zu begleiten und auszuwerten ist. Die vorliegenden Berichte vom 04.08.2015, 25.05.2016 und 30.03.2017 dokumentieren die Aktivitäten und wichtigsten Monitoringergebnisse der Jahre 2014, 2015 und 2016.

Im **Jahr 2018** wurde das GFI durch die LMBV mit der Bestellung 45058342 vom 03.12.2018 mit dem Vorhaben „*Ingenieurtechnische Begleitung zur Erfolgskontrolle und Prognosefortschreibung der Wirkungsprognosen der Maßnahme 5.1 zur Reduzierung des Sickerwasserstroms durch Bewirtschaftung von Kippenflächen Witznitz, Nachsorgephase 2018-2022*“ beauftragt. Das Vorhaben umfasst die **Maßnahmen 5.1-1 Erfolgskontrolle und Prognosefortschreibung der Kippenbewirtschaftung Witznitz zur Reduzierung der Eiseneinträge in die Pleiße (2018 – 2022)** mit folgenden Teilleistungen:

- Weiterführung der Felduntersuchungen auf der Kippe Witznitz an den bestehenden Kontrollflächen K1-K8,
- Betrieb der Lysimeter der Station Brandis(Lys 14/2 und 14/4) und Witznitz (13/1),
- Koordination der Nachsorgemaßnahmen,
- Grundwassermodellierung sowie Bodenwasserhaushaltsmodellierung (1D + 3D).

Im Jahr 2019 wurde die **Maßnahme 5.1-2 „Erweitertes Monitoring zur Erfolgskontrolle der Wirkungsprognosen der Minderung der GW-Neubildung“** ergänzt. Hierbei wird die Wirkung des Sickerwassereinflusses auf die GW-Neubildung im Hydrotop 1 (Fläche A) an einem Längsprofil (Sondermessprofil) von der GW-Hochlage im Kippenzentrum zum GW-Übertritt zur Pleiße untersucht. Dazu wurden im Jahr 2019 entlang des Sondermessprofils zwei neue GW-Messstellen (GWM) errichtet und an diesen sowie an der bestehenden GWM WIT42691 Sondermessstellen (Bodenwassermessstellen) mit jeweils zwei Vertikalprofile eingerichtet. In Abhängigkeit des GW-Flurabstandes wurden in 1,0 m und 2,5 m u. GOK Sensoren (Feuchtprofil mit Wassergehalt, Saugspannung, Temperatur) verbracht.

Die Dokumentation zum Sondermessprofil vom 30.10.2019 wurde der LMBV übergeben. Zudem erfolgte der Aufbau eines 2D-Bodenwasserhaushaltsmodells, welches anhand der Messdaten der Sondermessstellen von Juli 2019 bis Februar 2020 vorkalibriert wurde. Eine Feinkalibrierung konnte bisher nur ungenügend erfolgen, da aufgrund der Trockenheit

insbesondere die tiefen Messpunkte keine bzw. nur geringe Messsignale liefern. Daher ist für das Jahr 2020 ein Versickerungsversuch an zwei Standorten geplant, um eine temporäre Durchfeuchtung der ungesättigten Bodenzone bis 2,5 m Tiefe zu ermöglichen. Anhand der Messdaten erfolgt im Anschluss über eine inverse Modellierung die Berechnung der bodenhydraulischen Parameter. Diese Auswertung ist nicht Teil des Jahresberichts 2019.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Aktivitäten und wichtigsten Monitoringergebnisse des Jahres 2019.

2 Zusammenstellung der Arbeiten

Zum besseren Verständnis der Bewirtschaftung aller Lysimeter sind in **Tab. 2-1** die landwirtschaftlichen Kulturen vom Versuchsbeginn 2009 bis 2020 angegeben.

Tab. 2-1 Übersicht zur Bewirtschaftung der Lysimeter in Brandis und Witznitz von 2009 bis 2020

Lysimeter							
Jahr	12_1	12_2	12_3	13_1	13_2	14_2	14_4
LS-Station	Brandis	Brandis	Brandis	Witznitz	Witznitz	Brandis	Brandis
2009	Lu (500t/ha Kompost)	Wr	Lu (125t/ha Kompost)	Ww	Ww	Kg	Kg (125 t/ha Kompost)
2010	Lu	Ww	Lu	Wg	Wg	Kg	Kg
2011	Lu	Wg	Lu	Wr	Wr	Kg	Kg
2012	Lu	Wr	Lu	Lu	Lu	Kg	Kg
2013	Lu (Kompost entfernt; Neuaussaat)	Ww	Kg/Lu (Kompost entfernt; Neuaussaat)	Lu (3 l/m ² Gärreste)	Lu (3 l/m ² Gärreste)	Kg/Lu (80/20)	Lu (Kompost entfernt; Neuaussaat)
2014	M	M	M	Lu (2 l/m ² Gärreste)	Lu (2 l/m ² Gärreste)	Kg/Lu (80/20)	Lu
2015	Ww	Ww	Ww	M (3 l/m ² Gärreste)	M (3 l/m ² Gärreste)	Kg/Lu (60/40)	Lu
2016	Wr	Wr	Wr	Wg	Wg	Kg/Lu (60/40)	Lu
2017	Ww	Ww	Ww	Wr	Wr	Kg/Lu	Lu
2018	M	M	M	Lu	Lu	M	M
2019	Ww	Ww	Ww	Lu	Lu	M	M
2020	Wr	Wr	Wr	Lu	Lu	Lu	Lu

Lu...Luzerne, Wr...Winterraps, Ww...Winterweizen, Wg...Wintergerste, Kg...Knautgras, M...Mais

Die Lysimeter **12/1**, **12/3**, **14/2** und **14/4** gehörten von Anfang an zum Untersuchungsprogramm.

Das Lysimeter **12/2** war bis 2013 Referenzlysimeter, **aber nur bezüglich der Wasserhaushaltsgrößen. Ab 2014** wurden nach der Umrüstung alle drei 12er Lysimeter **12/1**, **12/2** und **12/3** gleich bewirtschaftet.

Die Lysimeter **13/1** und **13/2** auf der **Kippe Witznitz** wurden von Anbeginn an mit den gleichen Kulturen bewirtschaftet wie die umliegende landwirtschaftliche Nutzfläche. Durch die zum Teil hohen Grundwasserstände (eingestaute GW-Lysimeter) lassen sich hier keine Sickerwassermengen ermitteln, sondern nur einige Elemente des Bodenwasserhaushaltes und die Ernteerträge.

Auf den Lysimetern 14/2 und 14/4 wurde aufgrund des schlechten Zustands und des hohen Fremdbewuchses die Luzerne im Frühjahr 2018 entfernt. In den Jahren 2018 und 2019 erfolgte die Bewirtschaftung mit Mais der Sorten Katari und Motivi CS. Für 2020 ist eine erneute Bewirtschaftung mit Luzerne vorgesehen.

Die **Kontrollflächen K1 bis K6** auf den Bewirtschaftungsflächen besitzen seit 2015 wie auch die 2009 errichteten Versuchsflächen **VF1-4 bis VF1-6** einen **reinen Luzernebestand**. Im Jahr 2016 wurden zwei weitere Kontrollpunkte K7 und K8 auf den Bewirtschaftungsflächen ergänzt. Im Zuge der Errichtung des Sondermessstellen erfolgte eine Verschiebung von zwei Kontrollpunkten auf das Sondermessprofil (vgl. Abb. 3-1). Auf den Versuchsflächen **VF1-1 bis VF1-3** befand sich bis 2016 ein **Knautgras-Luzerne-Bestand**. 2017 wurden die Versuchsflächen aufgegeben.

Im **Jahr 2019** wurden folgende wichtige Aktivitäten durchgeführt und Aufgaben gelöst:

- 1) Es wurden insgesamt **9 Vor-Ort-Termine** auf den Kontrollflächen realisiert, an denen unter anderem Frischmassen geerntet wurden.
12.03.2019, 09.04.2019, 06.05.2019, 05.06.2019, 20.06.2019, 02.7.2019, 14.8.2019, 19.08.2019, 15.10.2019
- 2) Es erfolgten **3 Ernten** am 06.05. und 02.07. und am 19.08.2019 auf den Kontrollflächen. Die zweite Ernte auf den Bewirtschaftungsflächen am 23.05.2019 konnte nicht erfolgen, da es hier zur Überschneidung mit der Baumaßnahme zum Sondermessprofil kam. Der Mais auf den 14er Lysimetern wurde am 12.09.2018 geerntet.
- 3) Auf den Lysimetern 12/1, 12/2 und 12/3 wurde entsprechend der landwirtschaftlichen Fruchtfolge Winterweizen angebaut.
- 4) Auf den Referenzlysimetern 13/1 und 13/2 wurde entsprechend der Neubestellung des Kippennordbereiches Luzerne angebaut.
- 5) Mit der Osterland Agrar GmbH wurden die Erntetermine abgestimmt.
- 6) Es erfolgten zwei Beratungen mit der LMBV am 15.01.2019 und am 06.08.2019 sowie eine Abstimmungsberatung zwischen IBGW, JoanniKling (Bohrbetrieb), LfULG und GFI am 12.02.2019.
- 7) Die Errichtung der Sondermessstellen erfolgte vom 08.04. bis 09.05.2019 (Bau Grundwassermessstellen) bzw. vom 20.05. bis 22.05.2019 (Errichtung Bodenwassermessstellen). Die Bauabnahme der Grundwassermessstellen fand am 05.06.2019 statt.
- 8) Im Weiteren erfolgte eine Ertüchtigung der Sondermessstellen hinsichtlich Anfahr- und Wetterschutz am 23.07.2019.
- 9) Im Rahmen der Wasserhaushaltsmodellierung wurden 2019 die Datensätze für Klima, Wasserhaushalt und Aufwuchs aktualisiert.
- 10) Durch das IBGW erfolgte 2019 die Einpflegung aktueller Grundwasserstände, die Aktualisierung des Flutungsszenarios für den Kahnsdorfer See sowie die Ausweisung von berechneten Hydroisohypsen und Grundwasserganglinien.

3 Auswertung der Monitoringergebnisse

3.1 Festlegung der Kontrollflächen

Die Auswahl und Festlegung der Kontrollflächen (K1 bis K8) erfolgte nach folgenden Kriterien bzw. Zielstellungen:

- Abbildung der Verhältnisse der bewirtschafteten Gesamtfläche an repräsentativen Standorten und Nachweis der Wirkung der Bodenmelioration
- Gewährleistung der Erreichbarkeit der Flächen (wegenahe Standorte)
- Bodenbearbeitung
- Kalkung

Die Kontrollflächen K1 bis K8 befinden sich im südlichen Teil der Kippe auf den Bewirtschaftungsflächen A bis E. Im Rahmen der Errichtung des Sondermessprofils wurde in der Zwischenberatung am 06.08.2019 die Verschiebung zweier Kontrollpunkte festgelegt (vgl. **Abb. 3-1**).

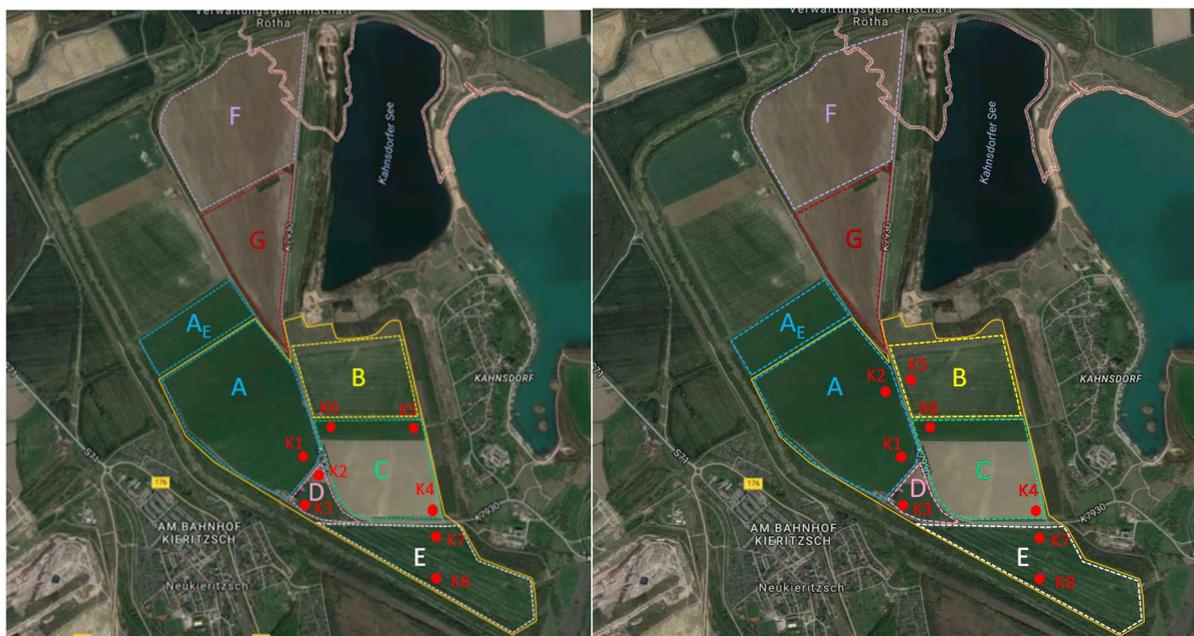


Abb. 3-1 Lage der Versuchsflächen und der Kontrollpunkte K1 bis K8 auf den Bewirtschaftungsflächen A bis E im Südbereich der Kippe (links: bisherige Lage; rechts: neue Lage)

Die Teilflächen A, B, C und D wurden erstmalig 2014 auf einer Fläche von ca. 187 ha mit Luzerne bepflanzt (K1 bis K6). 2015 erfolgte die Aussaat von Luzerne dann auf der Teilfläche E, sodass die Gesamtfläche etwa 224 ha betrug. Im Jahr 2017 wurden zusätzlich noch die Teilflächen F und G mit Luzerne bewirtschaftet, sodass weitere 107 ha Luzerne im Nordbereich dazukamen. Im Jahr 2018 und 2019 wurde die Bewirtschaftung der Kontrollflächen mit Luzerne beibehalten. Der Fruchtwechsel ist nun für die Flächen A, C und D erst im Jahr 2020 geplant. Somit beträgt der Bewirtschaftungszeitraum der Flächen A, C und D mit

Luzernekultur insgesamt 5 Jahre. Ursprünglich waren nur 4 Jahre vorgesehen, um eine Umwandlung der Landwirtschaftsflächen in nicht förderfähiges „Dauergrünland“ zu vermeiden. Die EU-Kommission hat jedoch nach der Agrarreform 2015 festgelegt, was unter Grünland zu verstehen ist. Reinsaaten von Futterleguminosen (z.B. Klee, Luzerne, Luzerne-Klee-Gemische) gelten demnach nicht als Grünfütterpflanzen im Sinne der Definition der Verordnung (EU) Nr. 1307/2013. Flächen mit Reinsaaten dieser Kulturen gelten als Ackerflächen und werden damit auch nicht nach fünf Jahren zu Dauergrünland.

3.2 Ernteerträge der Kontrollflächen

Auf den Kontrollflächen (K1 bis K8) wurden 2018 die in **Tab. 3-1** und **Tab. 3-2** zusammengestellten Erträge in Frischmasse (FM) und Trockenmasse (TM) für Luzerne erzielt.

Tab. 3-1 Ernteerträge bezogen auf Frischmasse 2019 in [dt FM/ha]

	1. Ernte	2. Ernte	3. Ernte	4. Ernte	Summe
K1	213,8	142,6 ^{*)}	81,0	64,0	437,4
K2	222,3	148,2 ^{*)}	61,6	54,6	432,1
K3	195,4	130,3 ^{*)}	89,2	106,2	414,9
K4	225,8	150,5 ^{*)}	114,3	100,4	490,6
K5	233,6	155,7 ^{*)}	85,2	56,6	474,5
K6	218,9	146,0 ^{*)}	69,8	108,3	434,7
K7	223,3	148,9 ^{*)}	55,4	80,6	427,6
K8	307,0	148,9 ^{*)}	36,6	84,1	492,5

^{*)} geschätzt

Tab. 3-2 Ernteerträge bezogen auf Trockenmasse 2019 in [dt TM/ha]

	1. Ernte	2. Ernte	3. Ernte	4. Ernte	Summe
K1	36,8	39,9 ^{*)}	27,4	21,4	125,4
K2	40,0	41,5 ^{*)}	19,6	15,8	116,9
K3	37,1	36,5 ^{*)}	35,1	30,0	138,6
K4	49,9	42,1 ^{*)}	47,4	26,1	165,6
K5	41,6	43,6 ^{*)}	32,9	18,0	136,1
K6	41,8	40,9 ^{*)}	26,2	29,5	138,3
K7	43,3	41,7 ^{*)}	23,1	22,0	130,1
K8	55,3	41,7 ^{*)}	14,5	25,0	136,5

^{*)} geschätzt

Aufgrund der verpassten 2. Ernte Ende Mai wurden anhand von Fotos die Wuchshöhe sowie die Frischmasse geschätzt.

Die vergleichende Auswertung der **Frischmassenerträge** für das Jahr **2019** zeigt mit etwa **durchschnittlich 450 dt FM/ha** einen wiederum geringen Wert, der aber dennoch etwas

höherer Wert ist als im Jahr 2018. Im Vergleich dazu betragen die mittleren Frischmassenerträge

2015	586 dt FM /ha
2016	635 dt FM /ha
2017	792 dt FM/ha
2018	360 dt FM/ha.

Der **Mittelwert** der fünf Vegetationsperioden 2015 bis 2019 beträgt somit **565 dt FM/ha**.

Der **Trockenmasseanteil** im Jahr **2019** schwankte bei den einzelnen Ernten zwischen 17,2 % und 41,7 %. Für die **Kontrollflächen** wurden folgende Ergebnisse erreicht:

1. Ernte	K1 bis K6 Luzerne	18,9 %	K7 bis K8 Luzerne	18,7 %
3. Ernte	K1 bis K6 Luzerne	37,1 %	K7 bis K8 Luzerne	40,7 %
4. Ernte	K1 bis K6 Luzerne	29,3 %	K7 bis K8 Luzerne	28,5 %

Für die 2. Ernte wurde ein Trockenmasseanteil von 28 % geschätzt.

Die ermittelten **Trockenmassen** der vier Ernten in **2019** lagen in Summe zwischen 116,9 und 165,6 dt TM/ha, woraus sich ein Wert von durchschnittlich

135,9 dt TM/ha

ergibt.

Die Werte für die Frischmassenerträge und die Trockenmassen im Jahr 2019 auf den Kontrollflächen liegen damit geringfügig unter den **Erträgen auf den Versuchsflächen VF1-4 bis VF1-6** für die Jahre 2009 bis 2016 mit durchschnittlich

612 dt FM/ha und

138 dt TM/ha.

In **Anlage 1** sind die Prüfberichte der Laboruntersuchungen zusammengestellt.

3.3 Ernteerträge der Lysimeter (BfUL)

Bei der Bewirtschaftung der mit Mais bepflanzten Lysimeter 12/1 und 12/3 wurden 2018 folgende Tätigkeiten durchgeführt:

Auf den Lysimetern 12/1 bis 12/3 wurde im Oktober 2018 Winterweizen gesät und im Juli 2019 geerntet. Die Arbeiten auf den **12er Lysimetern** ist **Tab. 3-3** in für das Jahr 2019 zusammengefasst.

Tab. 3-3 Bewirtschaftung der Lysimeter 12/1 bis 12/3

Datum	Tätigkeiten
14.02.2019	Nmin Bodenproben genommen
21.02.2019	<i>Vegetationsbeginn</i>
21.03.2019	Düngung
01.04.2019	Pflanzenschutz
19.04.2019	Düngung
13.05.2019	Pflanzenschutz
24.05.2019	Düngung
07.06.2019	Pflanzenschutz
30.07.2019	Ernte und Stoppelsturz
22.08.2019	Aussaat Winterraps
12.11.2019	<i>Vegetationsende</i>

Die beiden **14er Lysimeter** wurden in **2019** mit **Mais** betrieben. Die Tage, an denen auf den Lysimetern 14/2 und 14/4 die Düngung und die Ernten erfolgten, sind in **Tab. 3-4** aufgeführt.

Tab. 3-4 Bewirtschaftung der Lysimeter 14/2 und 14/4

Datum	Tätigkeiten
14.02.2019	Nmin Bodenproben genommen
21.02.2019	<i>Vegetationsbeginn</i>
12.04.2019	Phacelia untergegraben
26.04.2019	Gärreste aufgebracht
30.04.2019	Aussaat Mais Sorte Motivi CS
	Unterfußdüngung mit Diammonphosphat
12.09.2019	<i>Ernte Mais</i>
10.10.2019	Aussaat Luzerne

Die **13er Lysimeter** der Station Witznitz wurden **2019** weiterhin mit **Luzerne** bewirtschaftet (siehe auch **Tab. 2-1**).

In **Tab. 3-5** sind die auf den Lysimetern erwirtschafteten Erträge in dt FM/ha für Luzerne, Knaulgras bzw. Knaulgras/Luzerne auf den 14er Lysimetern für die Jahre 2009 bis 2017 und für Luzerne auf den 12er Lysimetern bis 2013 zusammengestellt. Im Oktober 2019 erfolgte die Aussaat von Luzerne auf den 14er Lysimetern, sodass ab 2020 erneut Daten für Frischmassen erhoben werden können.

Tab. 3-5 Ernteerträge Frischmasse FM auf den Lysimetern in dt FM/ha von 2009 bis 2017 (Knautgras, Luzerne bzw. Knautgras/Luzerne)

Datum	14_2 (dt FM/ha)	14_4 (dt FM/ha)	12_1 (dt FM/ha)	12_3 (dt FM/ha)	Bemerkung
16.07.09	149 ¹⁾	160 ¹⁾	24	93	
21.09.09	40 ¹⁾	39 ¹⁾	74	32	sehr vertrocknet
24.11.09	42 ¹⁾	25 ¹⁾	---	---	
21.05.10	237 ¹⁾	140 ¹⁾	402	435	
26.07.10	92 ¹⁾	84 ¹⁾	118	93	
30.09.10	159 ¹⁾	115 ¹⁾	172	155	
18.05.11	101 ¹⁾	66 ¹⁾	126	114	starke Vertrocknungen
10.08.11	85 ¹⁾	77 ¹⁾	108	110	
05.10.11	88 ¹⁾	102 ¹⁾	75	70	
21.05.12	77 ¹⁾	80 ¹⁾	106	111	
01.08.12	32 ¹⁾	32 ¹⁾	19	8	
01.10.12	15 ¹⁾	24 ¹⁾	1	---	
13.06.13	213 ²⁾	---	---	---	Neuaussaat April, außer 14/2
26.07.13	68 ²⁾	113	98	173	
30.09.13	60 ²⁾	68	54	43	
08.05.14	154 ²⁾	17	---	---	12er Lysimeter mit Mais bepflanzt
02.07.14	114 ²⁾	96	---	---	
19.08.14	48 ²⁾	82	---	---	
08.10.14	66 ²⁾	96	---	---	
20.05.15	44 ²⁾	177	---	---	12er Lysimeter mit Winterweizen bepflanzt
17.07.15	63 ²⁾	30	---	---	
02.09.15	143 ²⁾	127	---	---	
13.10.15	35 ²⁾	53	---	---	
18.05.16	209,5 ²⁾	240	---	---	12er Lysimeter mit Winterraps bepflanzt
28.06.16	90,5 ²⁾	96	---	---	
29.08.16	35 ²⁾	23	---	---	
03.11.16	25,5 ²⁾	16	---	---	
16.05.17	197 ²⁾	205	---	---	12er Lysimeter mit Winterweizen bepflanzt
21.06.17	35,2 ²⁾	35	---	---	
02.08.17	38,6 ²⁾	59	---	---	
05.09.17	32,6 ²⁾	44	---	---	

¹⁾ Knautgras

²⁾ Knautgras/Luzerne-Gemisch

Luzerne

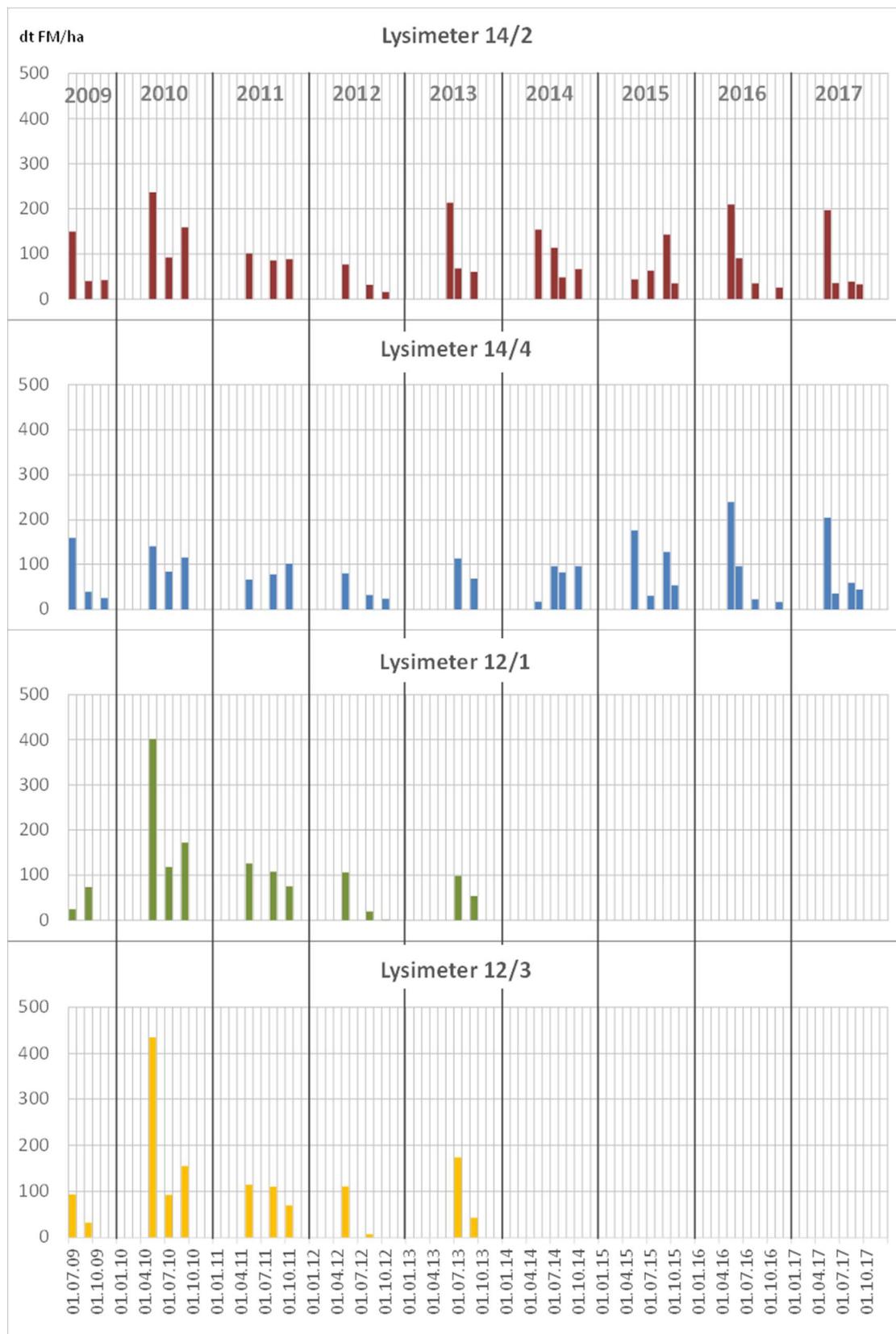


Abb. 3-2 Darstellung der Frischmassenerträge von Luzerne, Knautgras bzw. Luzerne/Knautgras auf den Lysimetern in [dt FM/ha] gem.

In **Abb. 3-2** sind die monatlichen Ernteerträge für Luzerne entsprechend **Tab. 3-5** grafisch dargestellt. Ab 2014 werden dort nur die Ergebnisse der Lysimeter 14/2 und 14/4 dokumentiert, auf denen Luzerne bzw. Knaulgras/Luzerne bewirtschaftet wird. Da in den Jahren 2018 und 2019 auf allen Lysimetern der Station Brandis Mais bzw. Winterweizen gepflanzt wurden, tauchen weder in Tab. 3-5 noch in Abb. 3-2 die Ergebnisse der Frischmassen für die Jahre 2018 und 2019 auf.

Die ermittelten **Trockenmassenerträge** für **Mais** im Jahr 2019 für die Lysimeter 14/2 und 14/4 sind in **Tab. 3-6** dargestellt.

Tab. 3-6 Trockenmassenerträge für Mais im Jahr 2018 (Sorte Katari) und 2019 (neue Sorte Motivi CS) auf den 14er Lysimetern in [dt TM/ha] (Quelle: Lysimeterstation Brandis)

Lysimeter	2018 dt TM/ha	2019 dt TM/ha
14/2	114	130
14/4	111	135

Die in den **Tab. 3-5** bis **Tab. 3-6** dargestellten Ergebnisse wurden durch die Lysimeterstation Brandis übermittelt. Die Untersuchungen wurden im zentralen Labor des LfULG durchgeführt. Laborberichte liegen dem GFI nicht vor.

Die Feuchtmasserträge von **Mais** lagen **2014** bei

- Lysimeter 12/1: 535 dt FM/ha,
- Lysimeter 12/3: 477 dt FM/ha.

Die Feuchtmasserträge von **Luzerne** lagen **2014** bei

- Lysimeter 13/1: 267 dt FM/ha,
- Lysimeter 13/2: 255 dt FM/ha.

Die Feuchtmasserträge von **Winterweizen** lagen **2015** bei

- Lysimeter 12/1: 94 dt FM/ha
- Lysimeter 12/3: 99 dt FM/ha

Die Feuchtmasserträge von **Mais** lagen **2015** bei

- Lysimeter 13/1: 512 dt FM/ha,
- Lysimeter 13/2: 624 dt FM/ha.

Die Feuchtmasserträge von **Winterraps** lagen **2016**

- Lysimeter 12/1: 179 dt FM/ha
- Lysimeter 12/3: 207 dt FM/ha

Die Feuchtmasserträge für **Wintergerste** lagen **2016** bei

- Lysimeter 13/1: 88 dt FM/ha,

- Lysimeter 13/2: 102 dt FM/ha.

Die Feuchtmasserträge von **Winterweizen** lagen **2017** bei

- Lysimeter 12/1: 100 dt FM/ha
- Lysimeter 12/3: 101 dt FM/ha

Die Feuchtmasserträge für **Winterraps** lagen **2017** bei

- Lysimeter 13/1: 116 dt FM/ha,
- Lysimeter 13/2: 116 dt FM/ha.

Die Feuchtmasserträge für **Mais** lagen **2018** bei

- Lysimeter 12/1: 268 dt FM/ha,
- Lysimeter 12/2: 218 dt FM/ha,
- Lysimeter 12/3: 251 dt FM/ha
- Lysimeter 14/2: 287 dt FM/ha
- Lysimeter 14/4: 293 dt FM/ha.

Die Feuchtmasserträge für **Winterweizen** lagen **2019** bei

- Lysimeter 12/1: 100 dt FM/ha,
- Lysimeter 12/2: 89 dt FM/ha,
- Lysimeter 12/3: 102 dt FM/ha

Die Feuchtmasserträge für **Luzerne** lagen **2019** bei

- Lysimeter 13/1: 165 dt FM/ha,
- Lysimeter 13/2: 459 dt FM/ha,

Die Feuchtmasserträge für **Mais** lagen **2019** bei

- Lysimeter 14/2: 334 dt FM/ha,
- Lysimeter 14/4: 336 dt FM/ha,

Vergleichend mit den Feuchtmasserträgen für Mais in den Jahren 2014 und 2015, waren die Erträge in den Jahren 2018 und 2019 deutlich geringer. Als Grund hierfür ist die z. T. extreme Trockenheit in den jeweiligen Sommerhalbjahren zu nennen.

3.4 Vergleich der Ernteerträge

In **Abb. 3-3** sind die Ernteerträge (Trockenmassen) für Knaulgras bzw. für das Knaulgras-Luzerne-Gemisch für die Jahre 2009 bis 2017 auf den Lysimetern und den Versuchspartellen (bis 2016) dargestellt. Ab 2018 stehen keine Daten für die Lysimeter zur Verfügung, da diese weder mit Knaulgras noch mit Knaulgras-Luzerne-Gemisch bewirtschaftet wurden.

In **Abb. 3-4** sind die Ernteerträge (Trockenmassen) für Luzerne für die Jahre 2009 bis 2019 auf den Lysimetern und den Versuchspartellen (bis 2016) dargestellt. 2018 gab es für die

13er-Lysimeter keine Daten, da durch die Trockenheit die Luzerne nicht richtig anwachsen konnte.

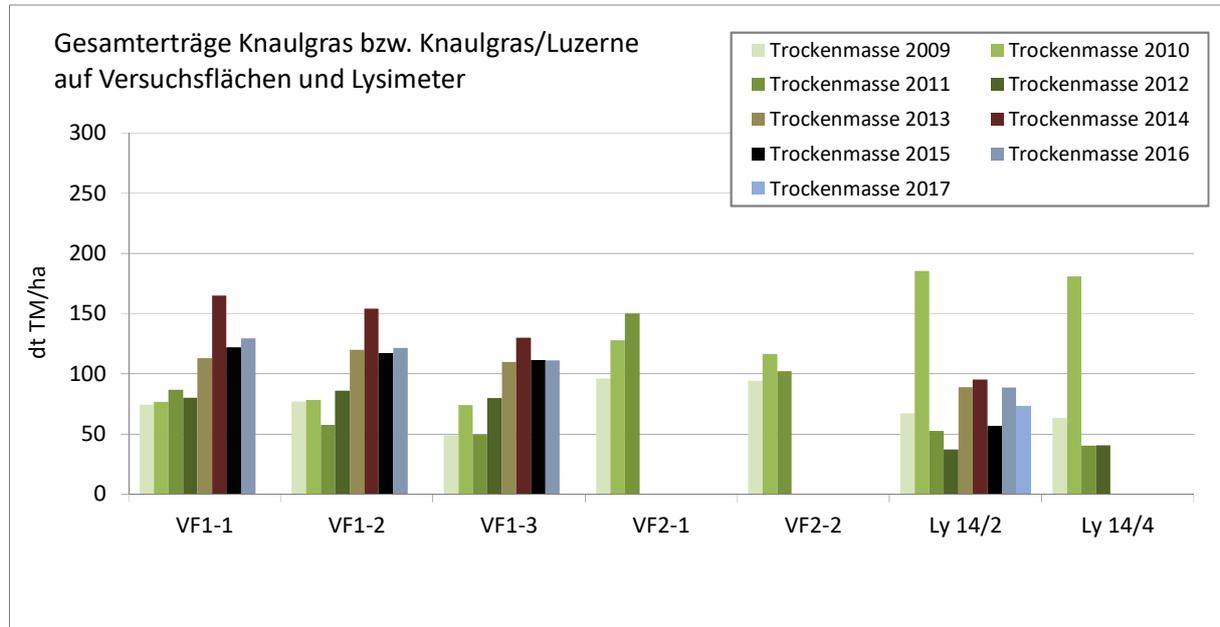


Abb. 3-3 Ernteerträge Knaulgras bzw. Knaulgras/Luzerne auf den Versuchsflächen und Lysimetern

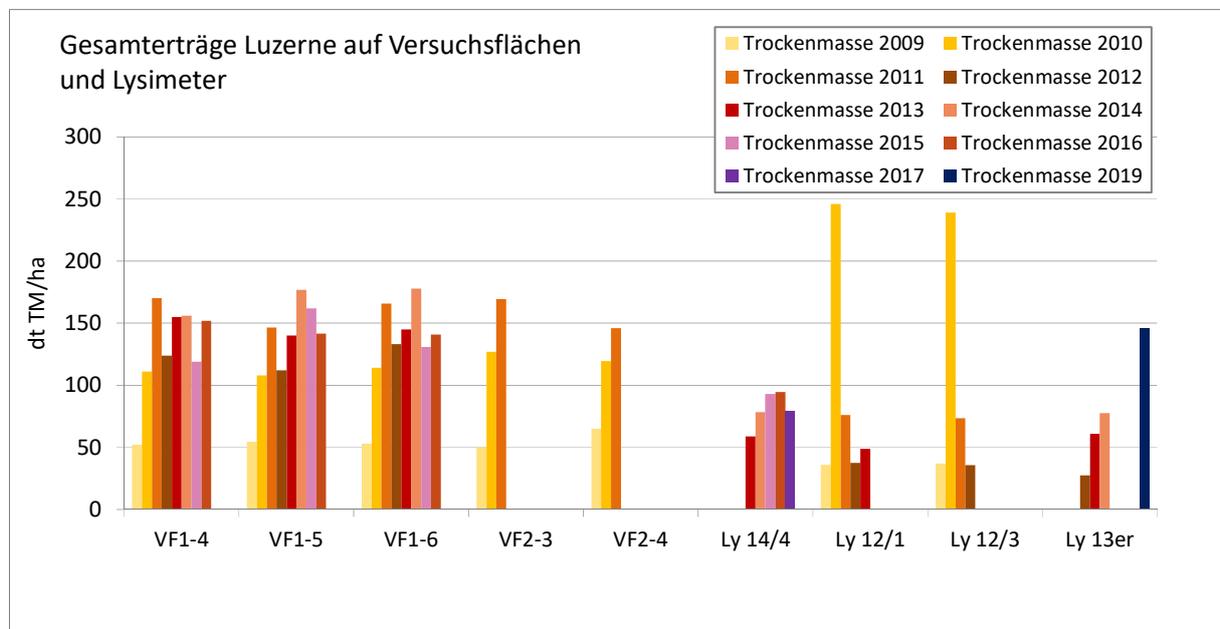


Abb. 3-4 Ernteerträge Luzerne auf den Versuchsflächen und den Lysimetern

Abb. 3-5 zeigt die Ernteerträge (Trockenmassen) für Luzerne auf den Kontrollflächen K1 bis K8 der Landwirtschaftsflächen der Kippe Witznitz von 2015 bis 2019.

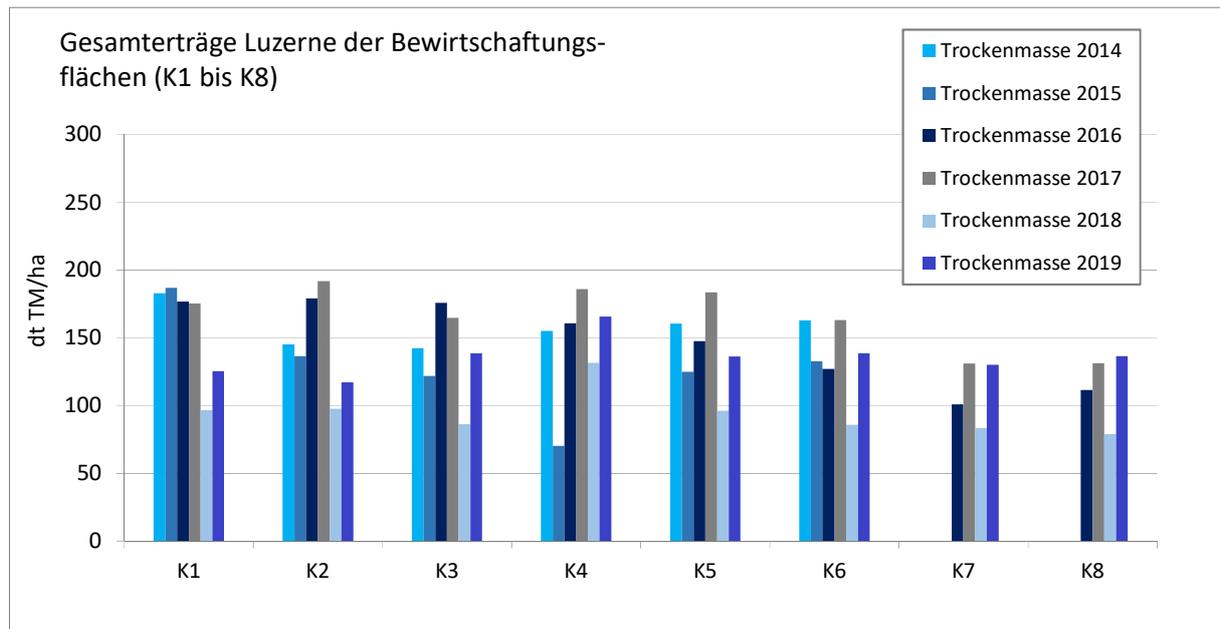


Abb. 3-5 Ernteerträge Luzerne auf den Bewirtschaftungsflächen (K1 bis K8)

Aus den Ergebnissen der Trockenmassen-Erträge an den Kontrollpunkten der Landwirtschaftsflächen zwischen 2014 bis 2018 (s. Abb. 3-5) im Vergleich zu den Ergebnissen auf den Versuchsflächen sowie auf den Lysimetern (Abb. 3-3 und Abb. 3-4) lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Die Trockenmassen-Erträge auf den Kontrollflächen K1 bis K6 waren in den Jahren 2014 bis 2017 und 2019 im Mittel etwa gleich groß
 - 2014 158 dt TM/ha (K1 bis K6)
 - 2015 129 dt TM/ha (K1 bis K6)
 - 2016 161 dt TM/ha (K1 bis K6) 106 dt TM/ha (K7 und K8)
 - 2017 177 dt TM/ha (K1 bis K6) 131 dt TM/ha (K7 und K8)
 - 2018 99 dt TM/ha (K1 bis K6) 81 dt TM/ha (K7 und K8)
 - 2019 137 dt TM/ha (K1 bis K6) 133 dt TM/ha (K7 und K8)
- Im Jahr 2018 wurden mit 99 dt TM/ha (K1 bis K6) bzw. 81 dt TM/ha (K7 und K8) die bisher niedrigsten Erträge gemessen.
- Die TM-Erträge von reiner Luzerne bzw. dem Knaulgras/Luzerne-Gemisch lagen auf den **Lysimetern** jeweils im Mittel mit **82 dt TM/ha** (2009 bis 2017) deutlich unter den mittleren Erträgen auf der **Versuchsfläche VF1** mit **131 dt TM/ha bzw. 99 dt TM/ha** (2009 bis 2016) und der mit Luzerne bewirtschafteten **Kontrollflächen** (K1 bis K8) mit **134 dt TM/ha** (2014 bis 2019).
- Ursachen für die Mindererträge auf den Lysimetern sind ggf.
 - ungünstige Witterungsbedingungen und Trockenschäden,

- bevorzugte Sickerwasserwege an der Lysimeterwandung oder in Schrumpfrissen,
 - Inseleffekt bei freistehenden Lysimetern (höherer Verdunstung),
 - erhöhter Fremdbewuchs.
- Die Erträge auf den Kontrollflächen der Bewirtschaftungsflächen lassen hinsichtlich der 2014 durchgeführten Meliorationsarbeiten keine eindeutigen Schlussfolgerungen zu.
- Die Erträge auf den gekalkten Flächen waren gegenüber den nicht gekalkten Flächen etwas höher. Unterschiede zwischen den tiefengelockerten Bereichen und nicht tiefengelockerten Bereichen war nicht erkennbar.

3.5 Phänologie

3.5.1 Wuchshöhen von Luzerne auf den Kontrollflächen

Im Jahr 2019 wurden insbesondere die Wuchshöhen auf den Kontrollpunkten K1 bis K8 der Bewirtschaftungsflächen erfasst.

Abb. 3-6 zeigt die Wuchshöhen auf den Bewirtschaftungsflächen als Mittelwert an den Kontrollpunkten K1 bis K6 und K7 bis K8, die bei den Befahrungen und unmittelbar vor dem Ernten aufgenommen wurden. Die Wuchshöhe vor der 2. Ernte Mitte Mai wurde anhand von Fotos während des Zeitraums der Errichtung der Sondermessstellen geschätzt.

Die Wuchshöhen zum Erntezeitpunkt korrelieren sehr gut mit den in Abschnitt 3.1 dokumentierten Ernteerträgen.

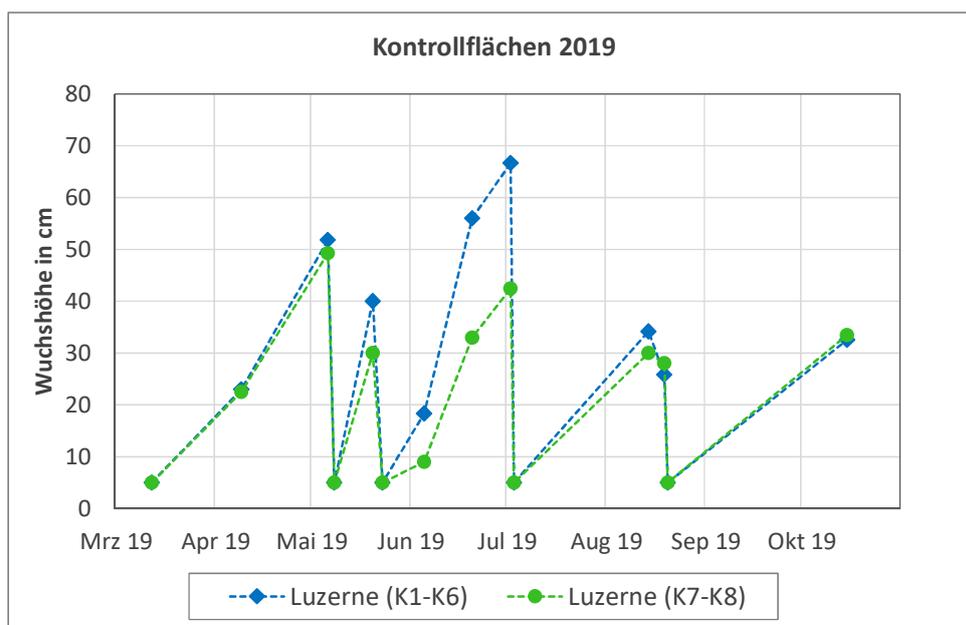


Abb. 3-6 Wuchshöhe Luzerne auf den Kontrollflächen K1-K6 (Mittelwert) und K7-K8 (Mittelwert)

3.5.2 Wuchshöhen auf den Lysimetern

Abb. 3-7 zeigt die Fortschreibung der Wuchshöhen auf den Lysimetern.

Die Wuchshöhe von Mais im Jahr 2018 auf den 12er und 14er Lysimetern war mit maximal 184 cm und im Mittel 168 cm vergleichsweise gering. Die Wuchshöhen von Mais auf den 14er Lysimetern war im Jahr 2019 waren mit 160 cm bzw. 165 cm ebenfalls eher gering. Die Wuchshöhe ist jedoch kein direktes Indiz für den Gesamtertrag. Dies ist insbesondere an den Trockenmasseerträgen in Tab. 3-6 erkennbar.

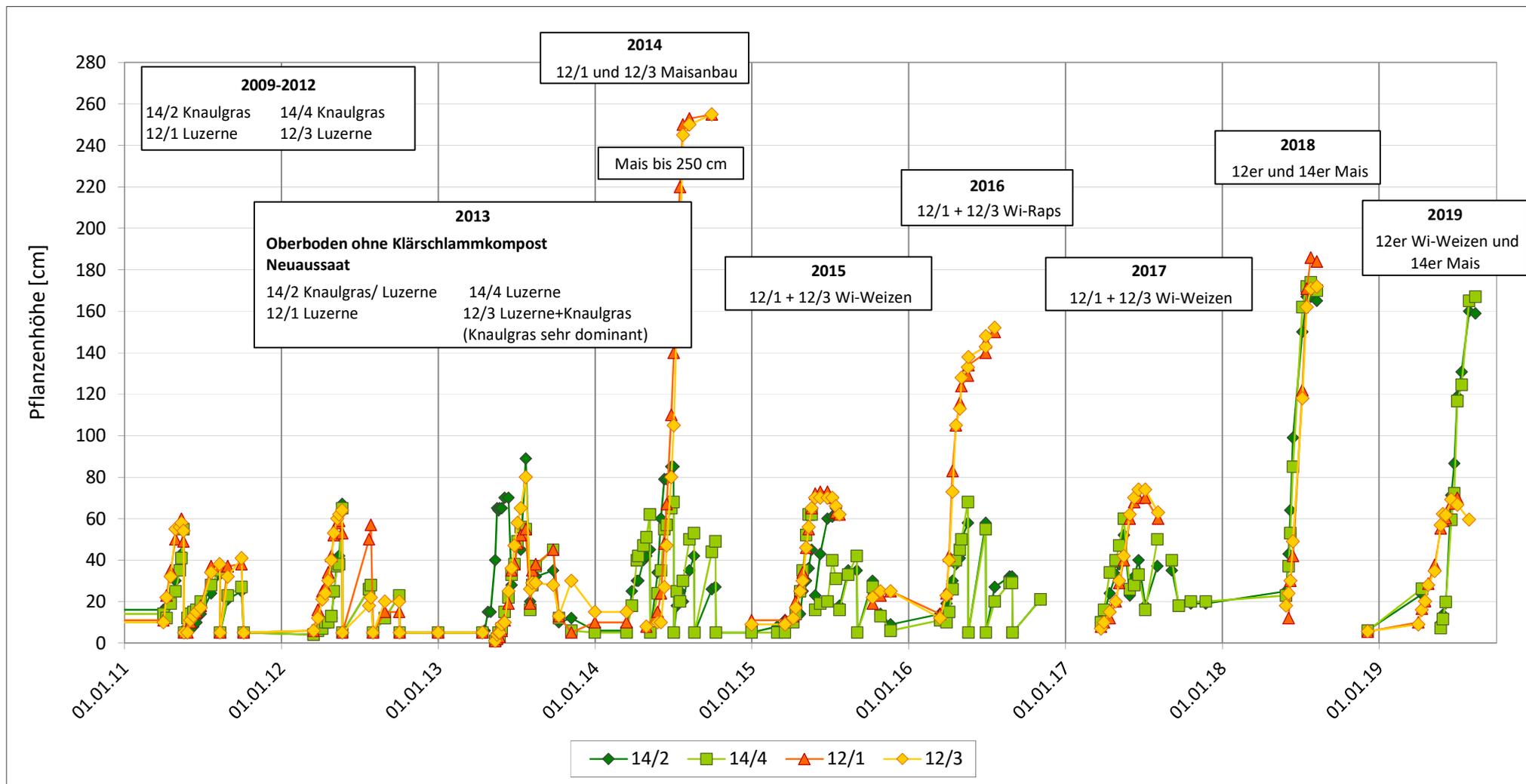


Abb. 3-7 Wuchshöhen für verschiedene Kulturen auf den Lysimetern von 2009 – 2019

3.6 Klima

In den **Abb. 3-8 bis Abb. 3-11** sind die Klimadaten der Stationen Brandis und Witznitz für das Jahr 2019 im Vergleich zu den Jahren ab 2013 dargestellt.

Der korrigierte Niederschlag 2019 betrug in

Brandis	569 mm
Witznitz	529 mm.

Die Station Brandis wies somit etwa 8 % mehr Niederschlag auf, als die landwirtschaftlichen Flächen auf der Kippe Witznitz. Zwischen 2009 und 2019 lagen die Niederschläge in Brandis im Mittel 5 % über denen der Station Witznitz. 2018 fiel sogar 14 % mehr Niederschlag in Brandis.

Die gemessene Niederschlagsmenge 2019 in Brandis sowie in Witznitz lag jedoch auch 2019 deutlich unter dem langjährigen Mittel von 673 mm/a (Station Brandis). In Brandis gingen im Jahr 2019 nur etwa 85 % des langjährigen Niederschlags nieder. Insbesondere die Monate Februar, April, Juli, August sowie Dezember waren sehr trocken. Hingegen waren die Monate Januar und Oktober sehr nass. Vereinzelt sind dabei z. T. sehr große lokale Unterschiede zwischen den beiden Stationen Brandis und Witznitz erkennbar (s. Januar und Juni).

Tab. 3-7 Niederschlagsmengen an den Stationen Brandis und Witznitz im Jahr 2019 sowie die Abweichung der Station Brandis zum langjährigen Mittelwert (1981 – 2010)

	Witznitz	Brandis		lang. Mittel Brandis
	mm	mm	Abw.	1981 - 2010
Jan	76,3	87,7	194 %	45,2
Feb	11,6	15,8	40 %	39,3
Mrz	40,2	46,9	92 %	51,2
Apr	16,6	23,7	48 %	49,8
Mai	43,8	47,0	81 %	58,3
Jun	45,6	67,5	101 %	66,9
Jul	51,9	44,5	55 %	81,2
Aug	34,4	25,6	37 %	69,9
Sep	60,1	64,1	108 %	59,2
Okt	66,3	58,9	146 %	40,4
Nov	46,0	47,6	83 %	57,3
Dez	35,8	39,5	73 %	54,3
Summe	529	569	85 %	673

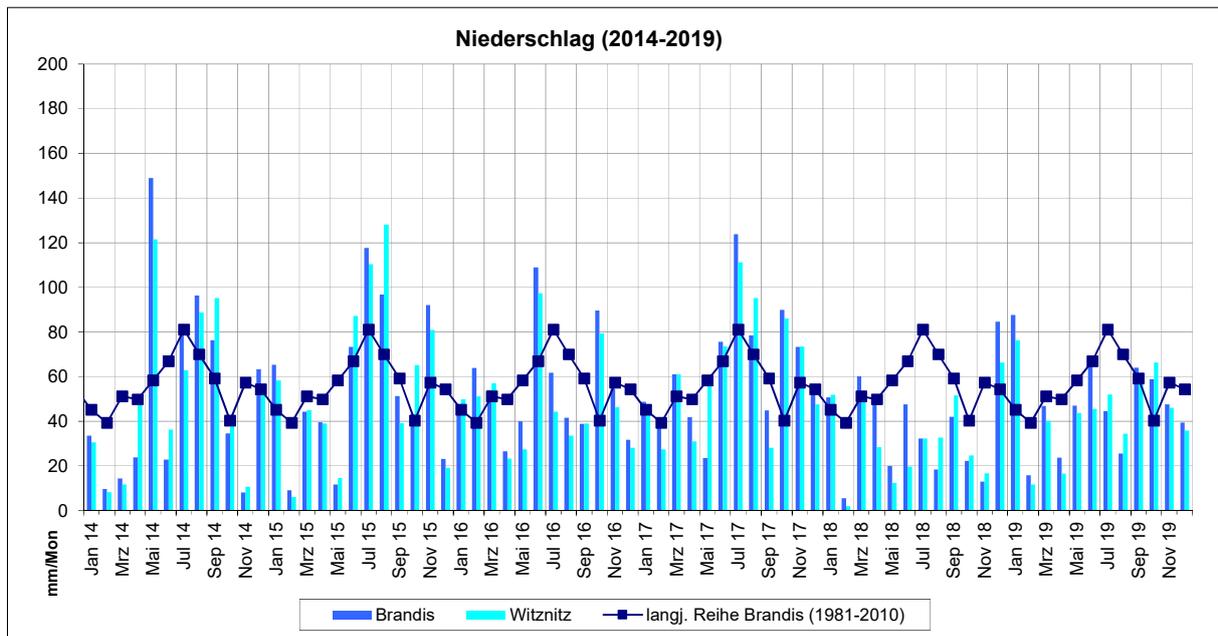


Abb. 3-8 Niederschläge in Brandis und Witznitz

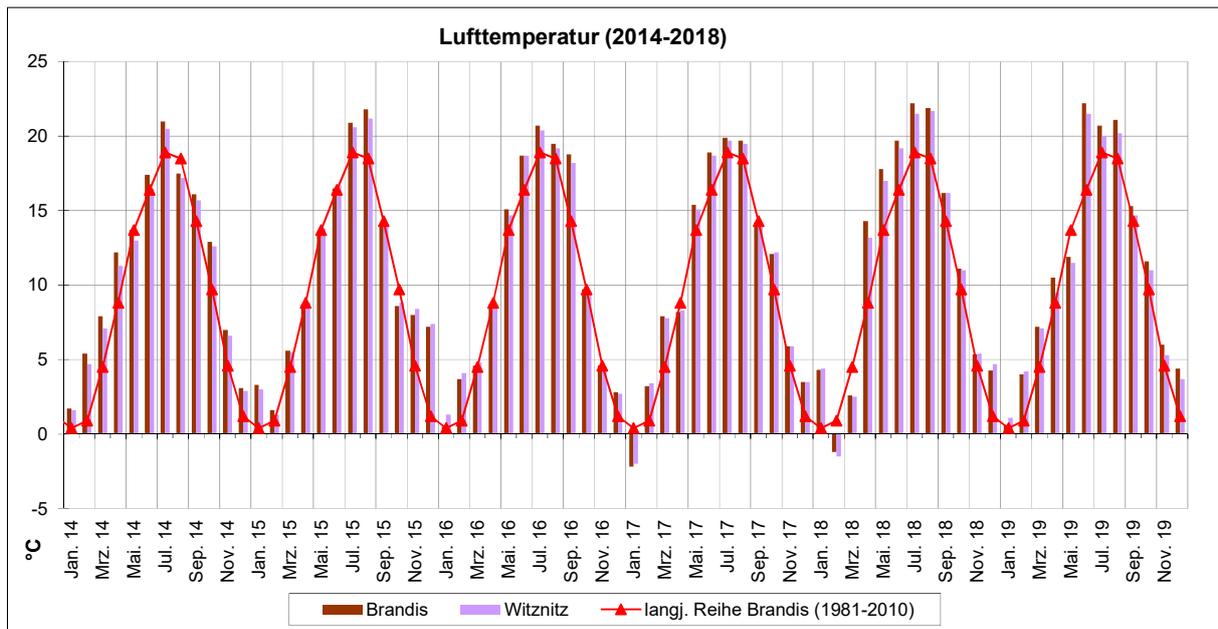


Abb. 3-9 Lufttemperatur in Brandis und Witznitz

Die mittlere **Lufttemperatur** betrug 2019 in

Brandis	11,3 °C
Witznitz	10,8 °C

und lag damit etwa 2,0 °C bzw. 1,5 °C über dem langjährigen Mittelwert von 9,3 °C. Bis auf den Monat Januar und Mai, waren alle Monate zu warm. Der wärmste Monat war der Monat

Juni mit durchschnittlich 22,2 °C (langjähriger Mittelwert 16,4 °C). Der Monat Mai war dagegen 1,8 °C kälter als das langjährige Mittel.

Die **potenzielle Verdunstung** (berechnet nach Turc-Wendling) betrug 2019 in

Brandis	826 mm
Witznitz	796 mm

und lag somit 139 mm bzw. 108 mm über dem langjährigen Mittelwert von 687 mm/a. Insbesondere in den Monaten April und Juni war die potentielle Verdunstung deutlich höher als die langjährigen Monatsmittelwerte.

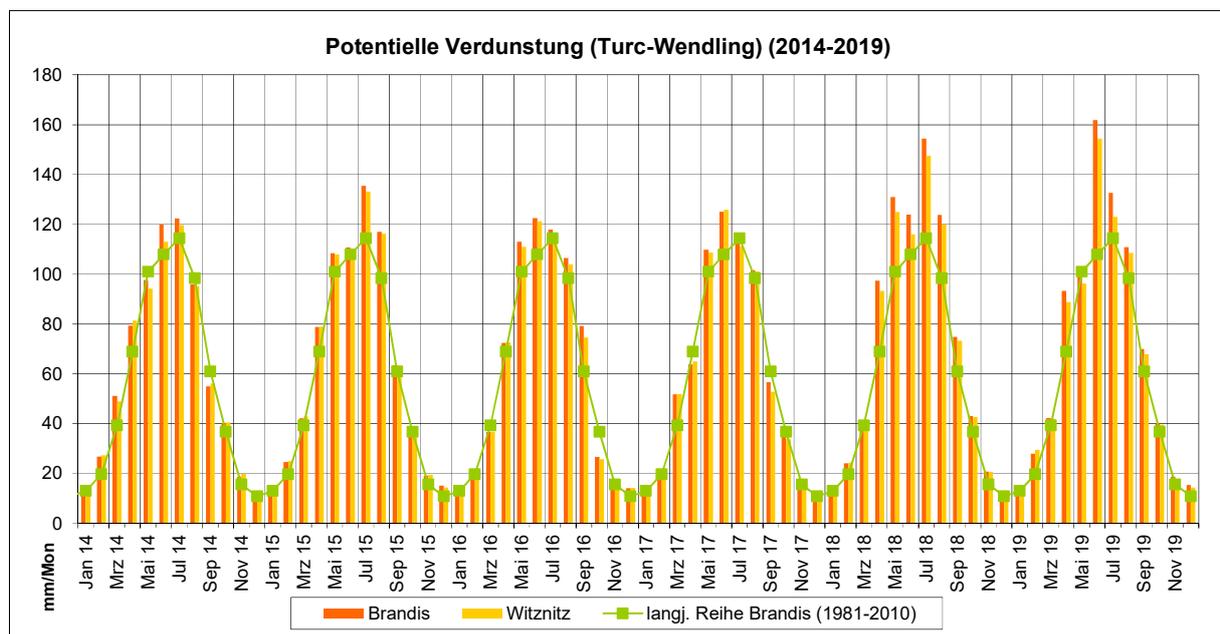


Abb. 3-10 Potenzielle Verdunstung in Brandis und Witznitz nach Turc-Wendling

Die **klimatische Wasserbilanz**, berechnet aus der Potentiellen Verdunstung minus dem korrigierten Niederschlag war 2019 negativ, was zu einer geringen Grundwasserneubildung führte.

Brandis	-258 mm
Witznitz	-267 mm

Der langjährige Mittelwert (1981 bis 2010) ist ebenfalls negativ und beträgt -41,4 mm. In den letzten sechs Jahren war die klimatische Wasserbilanz an beiden Lysimeterstationen Brandis und Witznitz, bis auf das Jahr 2017, stets negativ. Insbesondere in den letzten beiden Jahren 2018 und 2019 waren die Bilanzen das 6 bis 10-fache negativer, als der langjährige Mittelwert (s. Abb. 3-8). Die sehr großen negativen Werte der letzten beiden Jahre resultieren zum einen aus den geringen Niederschlägen und zum anderen aus den hohen potentiellen Verdunstungsmengen, welche etwa 20 % größer waren, als der Normalwert (vgl. auch Abb. 3-10).

Tab. 3-8 Klimatische Wasserbilanz an den Stationen Brandis und Witznitz von 2014 bis 2019

	Witznitz	Brandis
	mm	mm
2014	-109	-112
2015	-64	-94
2016	-150	-82
2017	24	36
2018	-440	-415
2019	-267	-258

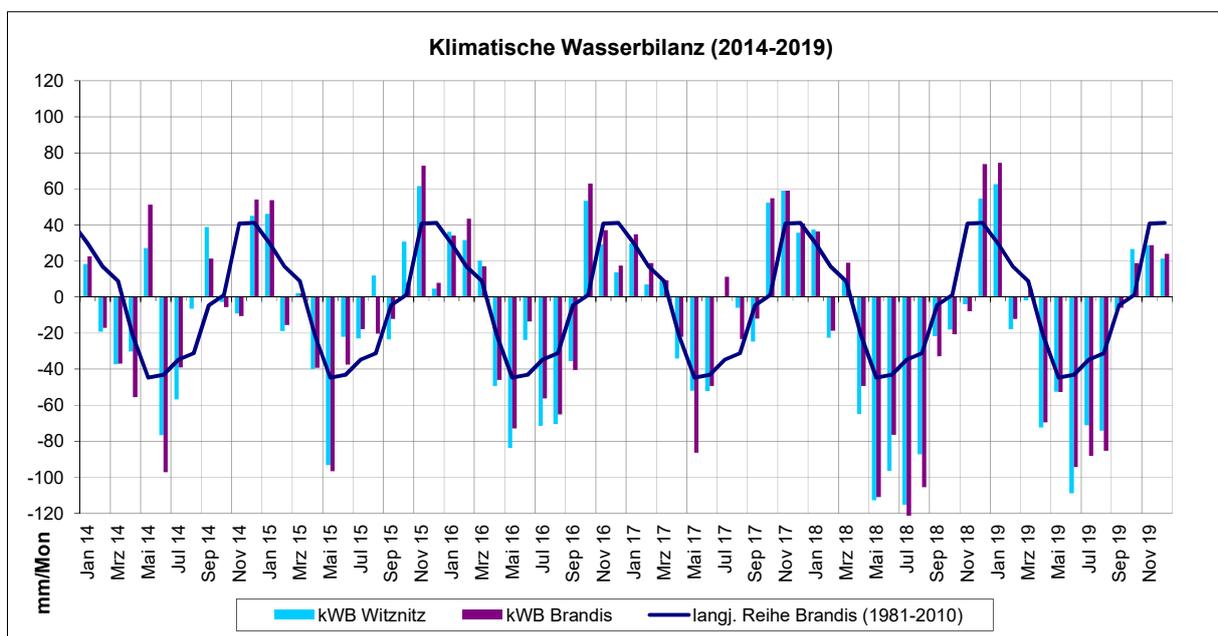


Abb. 3-11 Klimatische Wasserbilanz in Brandis und Witznitz

3.7 Bodenwasserhaushalt an den Lysimetern

In den **Abb. 3-12** bis **Abb. 3-17** sind die Bodenwasserhaushaltsgrößen für 2019

- Verdunstung
- Bodenwasserausschöpfung und
- Sickerwasser

im Vergleich zu den Jahren ab 2012 dargestellt.

Die **reale Verdunstung** lag bei den Lysimetern 12er Lysimetern mit Winterweizen mit durchschnittlich 468 mm etwa 233 mm unter den Verdunstungswerten von 2017 (Winterweizen). Insbesondere in den Monaten Mai und Juni waren die Verdunstungswerte gegenüber den 2017 Werten geringer.

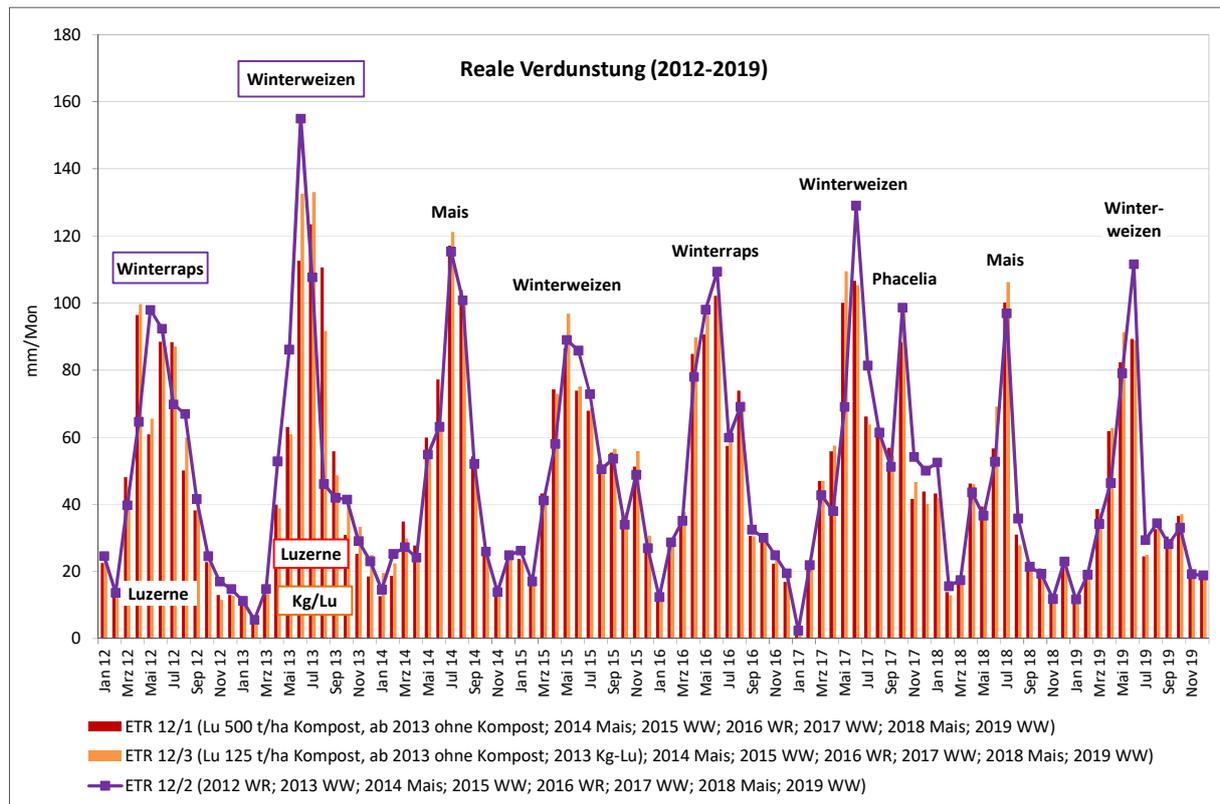


Abb. 3-12 Darstellung der realen Verdunstung auf den 12er Lysimetern

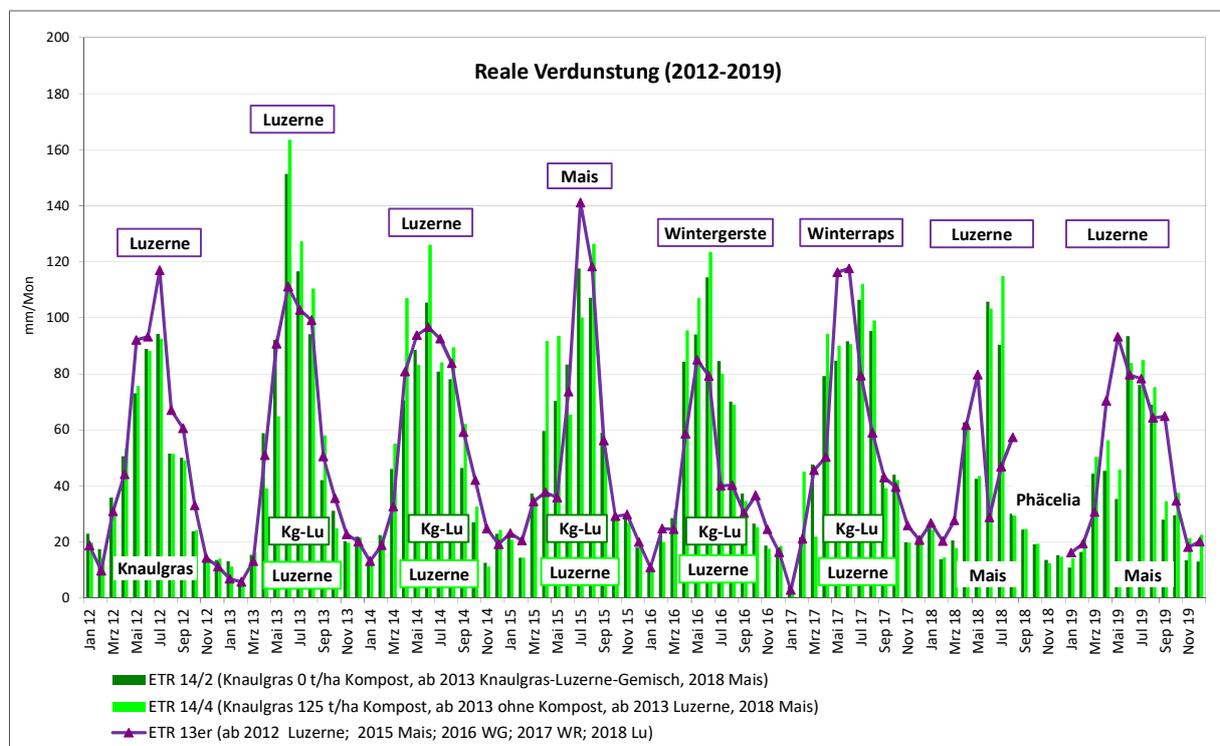


Abb. 3-13 Darstellung der realen Verdunstung auf den 14er Lysimetern

Die reale Verdunstung des Maisbestandes auf den 14er Lysimetern erreichte mit 474 mm (Lys. 14/2) und 547 mm (Lys. 14/4) etwas höhere Verdunstungshöhen (s. **Abb. 3-13**) als im Vorjahr aus.

Die Verdunstungshöhen auf den 13er Vergleichslysimetern der Station Witznitz, die seit 2018 mit Luzerne bewirtschaftet werden, betrug 2019 im Mittel etwa 589 mm.

Vergleicht man einmal die verschiedenen Anbaukulturen untereinander, ergeben sich folgende **durchschnittliche reale Verdunstungshöhen** (Mittelwerte der Einzelwerte aus Tab. 3-9):

Luzerne	662 mm/a
Knautgras-Luzerne	631 mm/a
Winterweizen	626 mm/a
Knautgras	609 mm/a
Winterraps	605 mm/a
Wintergerste	542 mm/a
Mais	508 mm/a.

Tab. 3-9 Reale Verdunstungshöhen auf den Lysimetern für die verschiedenen Anbaukulturen von 2010 bis 2019

Lysimeter	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
14_2	713 <i>Kg</i>	603 <i>Kg</i>	541 <i>Kg</i>	647 <i>Kg/Lu</i>	620 <i>Kg/Lu</i>	634 <i>Kg/Lu</i>	623 <i>Kg/Lu</i>	659 <i>Kg/Lu</i>	465 <i>M</i>	474 <i>M</i>
14_4	668 <i>Kg</i>	600 <i>Kg</i>	530 <i>Kg</i>	648 <i>Lu</i>	716 <i>Lu</i>	661 <i>Lu</i>	645 <i>Lu</i>	678 <i>Lu</i>	482 <i>M</i>	547 <i>M</i>
12_1	833	706	560	593	576	570	628	693	427	464
12_3	822 <i>Lu</i>	715 <i>Lu</i>	582 <i>Lu</i>	601 <i>Lu</i>	574 <i>M</i>	580 <i>Ww</i>	647 <i>Wr</i>	709 <i>Ww</i>	438 <i>M</i>	474 <i>Ww</i>
12_2	595 <i>Ww</i>	544 <i>Wg</i>	577 <i>Wr</i>	595 <i>Ww</i>	556 <i>M</i>	567 <i>Ww</i>	632 <i>Wr</i>	700 <i>Ww</i>	427 <i>M</i>	465 <i>Ww</i>
13er	601 <i>Wg</i>	527 <i>Wr</i>	600 <i>Lu</i>	592 <i>Lu</i>	656 <i>Lu</i>	614 <i>M</i>	480 <i>Wg</i>	621 <i>Wr</i>	---	589 <i>Lu</i>

Lu...Luzerne Kg...Knautgras M...Mais Ww...Winterweizen Wr...Winterraps Wg...Wintergerste

Die **Bodenwasserausschöpfung** war bei den 12er Lysimetern mit Mais im August relativ hoch (vgl. 2014). Erhöhte Niederschläge im September sind an der Verringerung der Bodenwasserausschöpfung zu erkennen (vgl. **Abb. 3-14**).

Die 14er Lysimeter besaßen 2019 mit Mais eine geringfügig größere Bodenwasseraus-schöpfung (s. **Abb. 3-15**) als die 12er Lysimeter mit Winterweizen. Die Luzerne auf den 13er Lysimetern besaß 2019 eine ebenso große Bodenwasseraus-schöpfung, wie bereits 2015 und 2016 auf den 14er Lysimetern. Die Luzerne scheint sich nun, trotz der großen Trockenheit im ersten Wuchsjahr, auf den 13er Lysimetern besser etabliert zu haben.

Des Weiteren ist in Abb. 3-15 erkennbar, dass mit zunehmendem Alter der Luzerne-Pflanzen die Bodenwasseraus-schöpfung ansteigt, was mit der Wurzel-ausdehnung in tiefere Schichten zu begründen ist. Erst 2017 ist eine Abnahme der Ausschöpfung erkennbar.

Die **Sickerwassermengen** der 12er Lysimetern betragen im Jahr 2019 etwa 30 mm bis 53 mm (s. **Abb. 3-16**) und waren damit ähnlich hoch, wie im Extremjahr 2018 und ebenso deutlich geringer als in den Vorjahren 2016 und 2017. Die höchst gemessenen Sickerwassermengen von 16 mm/Monat bis 19 mm/Monat traten hierbei in den Monaten Januar und Februar 2019 auf, was ggf. auf die erhöhten Niederschläge im Januar zurückzuführen ist.

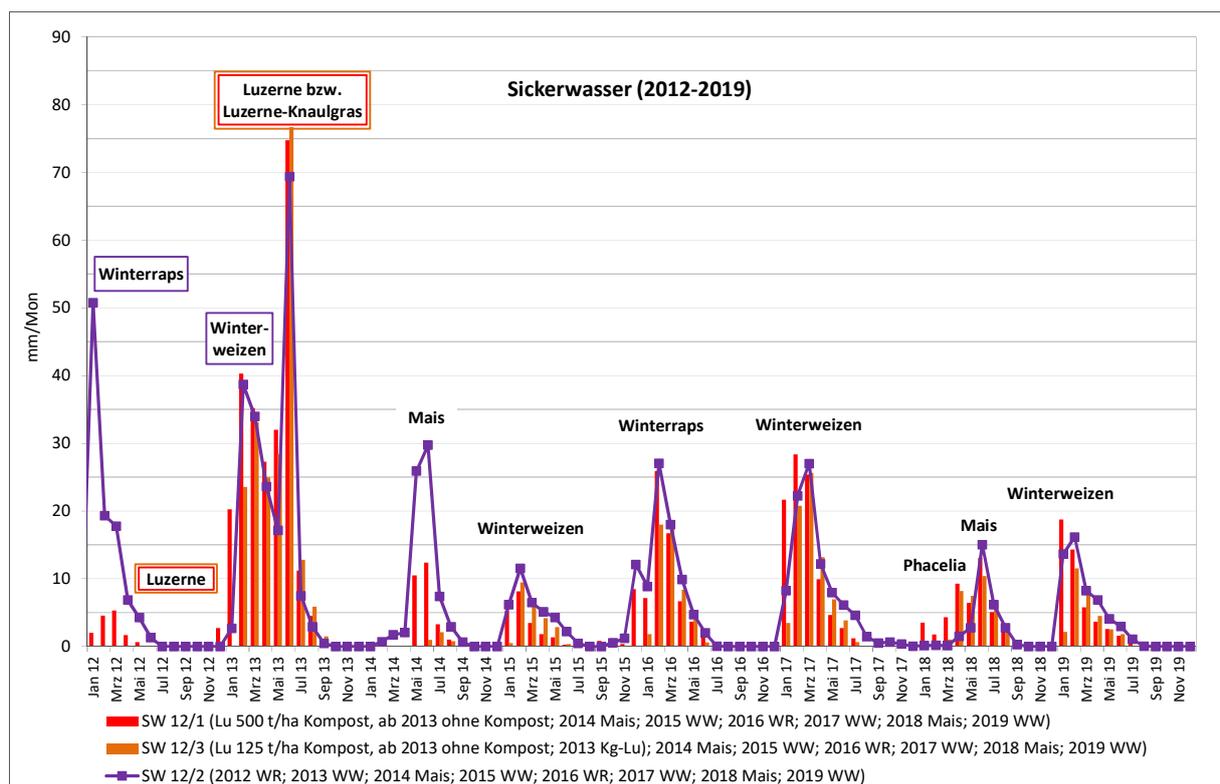


Abb. 3-16 Darstellung der Sickerwassermengen auf den 12er Lysimetern

In **Abb. 3-17** ist die Sickerwasserbildung vom Winter 2012/2013 zu gut zu erkennen, die aus den erhöhten Niederschlägen Ende 2012 resultierte. Aber auch im Frühsommer 2013 wurde relativ viel Sickerwasser gebildet, was aus den hohen Niederschlägen vom Mai und Juni in Verbindung mit dem Bodenaustausch und der Neueinsaat resultierte. 2014 kam es in den 14er

Lysimeter zu keiner Sickerwasserbildung. Im Jahr 2015 wurde insbesondere im Lys. 14/2 mit Knautgras-Luzerne-Gemisch eine höhere Sickerwasserbildung registriert, als im Lys. 14/4 mit reiner Luzerne. 2016 und 2017 kam es dann zu einer etwa gleich großen Sickerwasserbildung in den Wintermonaten.

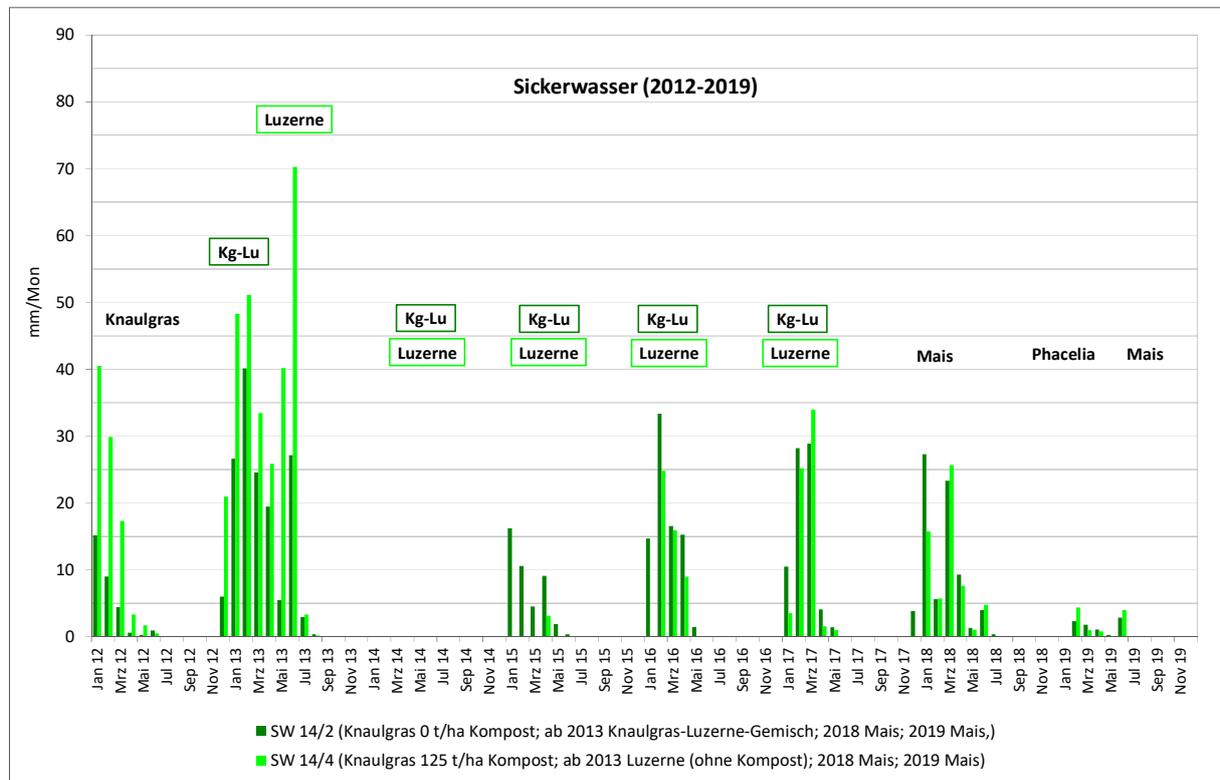


Abb. 3-17 Darstellung der Sickerwassermengen auf den 14er Lysimetern

Im Jahr 2018 war die Sickerwasserbildung etwa vergleichbar zu den Vorjahreswerten 2017 und 2016. Lediglich der Februar-Wert war im Vergleich zu den Vorjahreswerten wesentlich geringer. Die im Frühjahr 2018 gemessenen Sickerwassermengen sind noch auf den Luzerne- bzw. Knautgras-Luzerne-Bewuchs zurückzuführen. Die Aussaat von Mais erfolgte Anfang Mai. Während der gesamten Vegetationsperiode kam es zu keiner weiteren Sickerwasserbildung. Auch im Nachgang der Maisernte und Aussaat von Phacelia trat bis Ende 2018 kein Sickerwasser auf. Dies ist im Wesentlichen auf die sehr geringen Niederschlagsmengen zurückzuführen.

Im Jahr 2019 kam es auf den 14er Lysimetern trotz erhöhter Januar-Niederschläge zu sehr geringen Sickerwassermengen von 8 mm/a bzw. 10 mm/a. Ggf. ist dies auf die Zwischenbegrünung mit Phacelia zurückzuführen.

Auffällig ist, dass die auf den 14er Lysimetern gemessenen Sickerwassermengen im Jahr 2018 trotz höherer Bodenwasserausschöpfung höher waren, als auf den 12er Lysimetern.

Im Jahr 2019 wurden folgende Sickerwassermengen gemessen:

- Lys. 14/4 10,2 mm (Phacelia – Mais – Luzerne)
- Lys. 14/2 8,3 mm (Phacelia – Mais – Luzerne)
- Lys. 12/1 47,1 mm (Winterweizen – Winterraps)
- Lys. 12/2 53,1 mm (Winterweizen – Winterraps)
- Lys. 12/3 30,3 mm (Winterweizen – Winterraps)

4 Sanierungswirksame Umsetzung der Ergebnisse des Pilotversuches

Zur Vorbereitung der großtechnischen Umsetzung des Luzerneanbaus im Südbereich der Kippe Witznitz zur Reduzierung der Eiseneinträge in die Pleiße wurde 2013 eine bodengeologische Kartierung mit einer entsprechenden Meliorationsempfehlung durchgeführt. **Abb. 4-1** zeigt den Plan der Luzerneanbaufläche, wo auf ca. 200 ha insgesamt

- 404 Bodensondierungen,
- 42 Schürfe und
- 28 Penetrometermessungen

durchgeführt wurden.

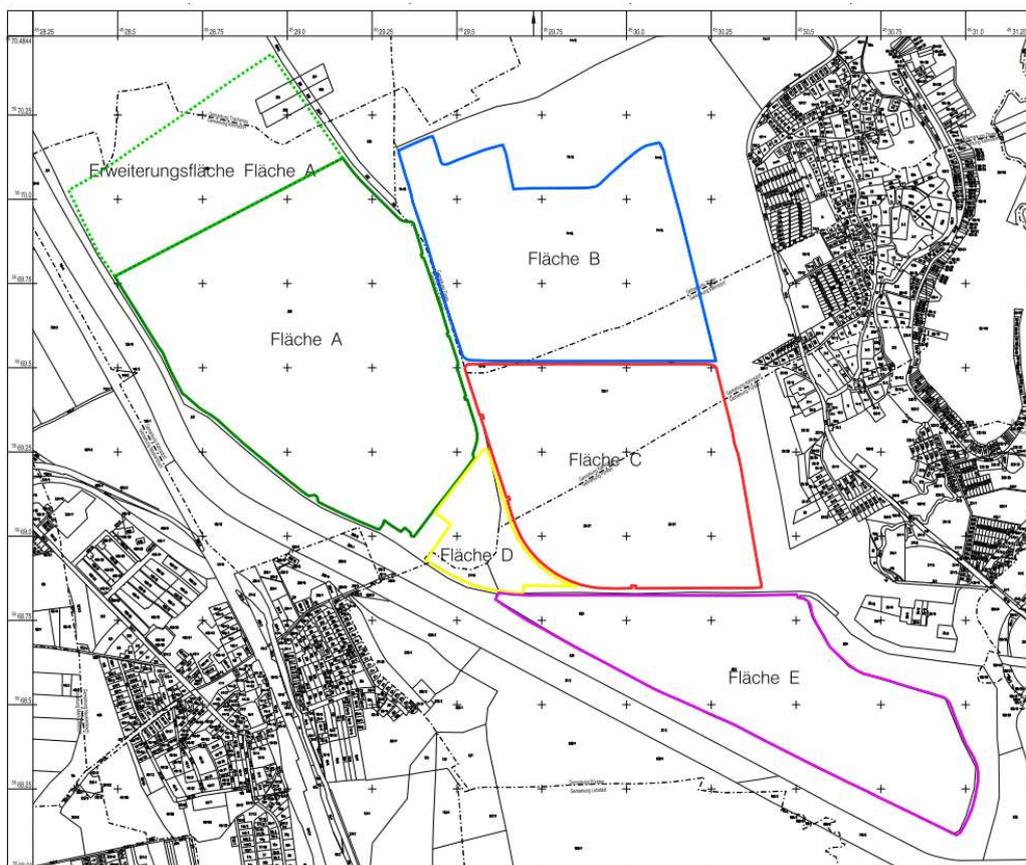


Abb. 4-1 Plan der Luzerneanbaufläche im Südbereich der Kippe (Quelle: LMBV)

Für die so ausgegrenzten substratspezifischen Einheiten wie beispielsweise

- kiesführenden Kipp-Kalknormallehm oder
- kiesführender Kipp-Sandlehm

wurden aus den Parametern

- Lagerungsdichte
- nutzbare Feldkapazität

- Luftkapazität
- Wasserdurchlässigkeit
- pH-Wert
- Sorptionskapazität
- Basenkapazität und Nährstoffgehalt (N, P, K, Mg, Ca)

Meliorationsempfehlungen bezüglich

- Tiefenlockerung
- Kalkung und
- Düngung

abgeleitet.

Im August 2014 begann die Bodenbearbeitung entsprechend den Empfehlungen des Bodengutachtens von 2013 auf zunächst ca. 185 ha (Flächen A, B, C und D).

Von den 185 ha wurden 10 ha mit einem Wippscharlockerer aufgelockert und 33,5 ha gekalkt. Danach wurden die großen Schollen mehrfach durch Tiefgrubbern zerkleinert und eine Startdüngung mit einem Kombidünger vorgenommen (vgl. **Abb. 4-2**).

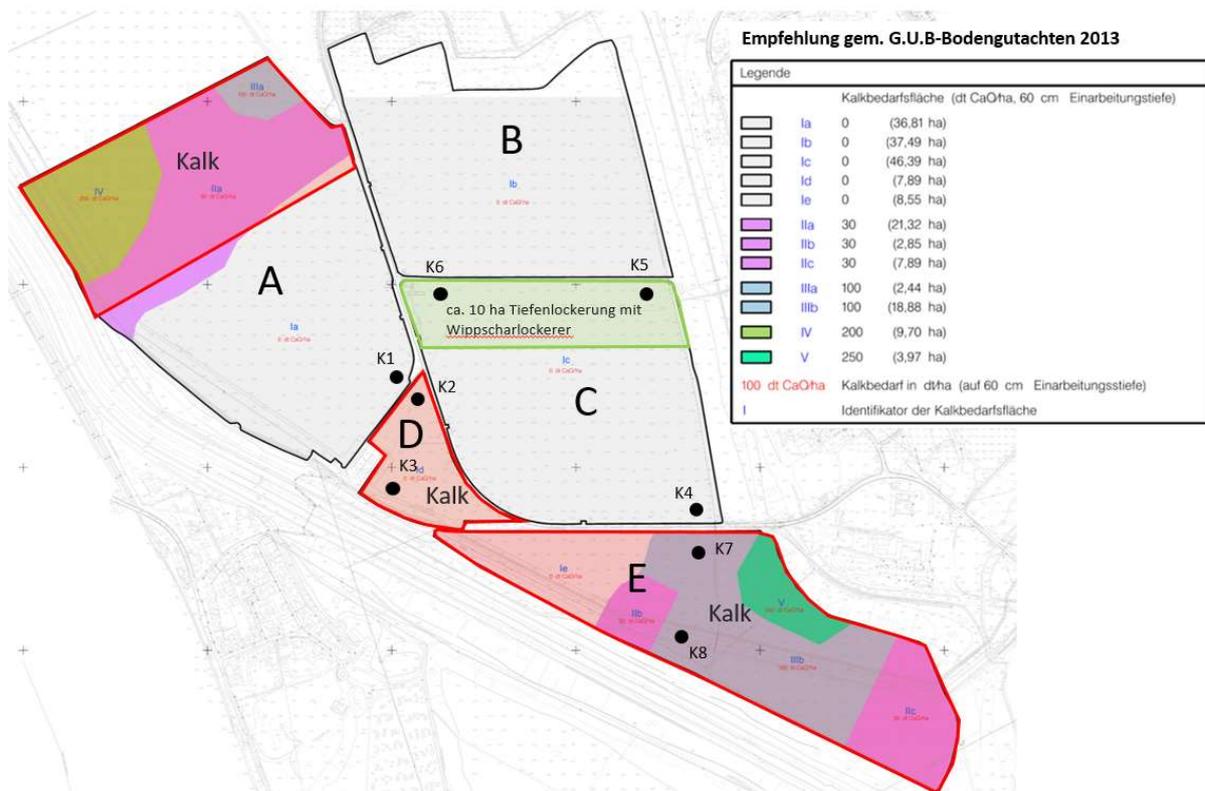


Abb. 4-2 Umgesetzte Meliorationsmaßnahmen auf der Grundlage des G.U.B.-Bodengutachtens (2013)

Die Aussaat der Luzerne erfolgte ab 04.09.2014. Durch die günstigen Witterungsbedingungen ist die Luzerne gut aufgegangen.

Die Fläche E mit ca. 40 ha wurde im August 2015 bearbeitet und eingesät, sodass die Gesamtfläche etwa 225 ha umfasst. Auch dort ist die Luzerne 2016 gut aufgegangen. Im Jahr 2017 erfolgte zusätzlich im Nordbereich der Kippe Witznitz (Fläche F und G) ein Luzerneanbau von ca. 107 ha (s. **Abb. 3-1**).

Nach Aussagen von Herrn Graichen (Osterland GmbH) sind folgende Auswirkungen der Bodenmeliorationen auf die Ernteerträge ersichtlich:

- die Erträge auf den gekalkten Flächen waren gegenüber den nicht gekalkten Flächen höher,
- ein Unterschied zwischen den tiefengelockerten Bereichen und nicht tiefengelockerten Bereichen war nicht erkennbar. Nach mehrmaligem Befahren der Flächen mit schweren Geräten erfolgt eine Verdichtung des Substrats und die Tieferlockerung verliert ihre Wirksamkeit.

Ein Vergleich der Kontrollflächen lässt keine eindeutige Schlussfolgerung zu. Die höchsten Trockenmassen-Erträge wurden demnach im ersten Vegetationsjahr auf den Kontrollflächen K1 und K2 erwirtschaftet, die weder gekalkt noch tiefengelockert wurden. Die Erträge auf den Kontrollflächen K3 bis K6 waren im Mittel der Jahre 2015 bis 2017 etwa gleich groß. Die geringsten Trockenmasse-Erträge wurden an der Kontrollfläche K4 im ersten Vegetationsjahr gemessen (vgl. **Abb. 3-5**). Der Kontrollpunkt K4 liegt im Süden der Fläche C und damit sehr nahe den Bereichen, die durch stark versauerndes Kippensubstrat im Untergrund gekennzeichnet sind.

Die Ernteerträge auf den Kontrollpunkten K7 und K8 lagen bisher deutlich unter den Erträgen der Kontrollflächen K1 bis K6.

5 Errichtung Sondermessprofil

Nachfolgend werden die wichtigsten Informationen zur Errichtung des Sondermessprofils dargestellt. Die vollständige Dokumentation vom 30.10.2019 wurde der LMBV übergeben.

5.1 Errichtung Grundwassermessstellen 7642 und 7645

Im Zeitraum vom 08.04. bis 09.05.2019 erfolgte die Errichtung zweier Grundwassermessstellen (7642 und 7645) auf der Kippe Witznitz (s. Abb. 5-1) als Bestandteile des Sondermessprofils.

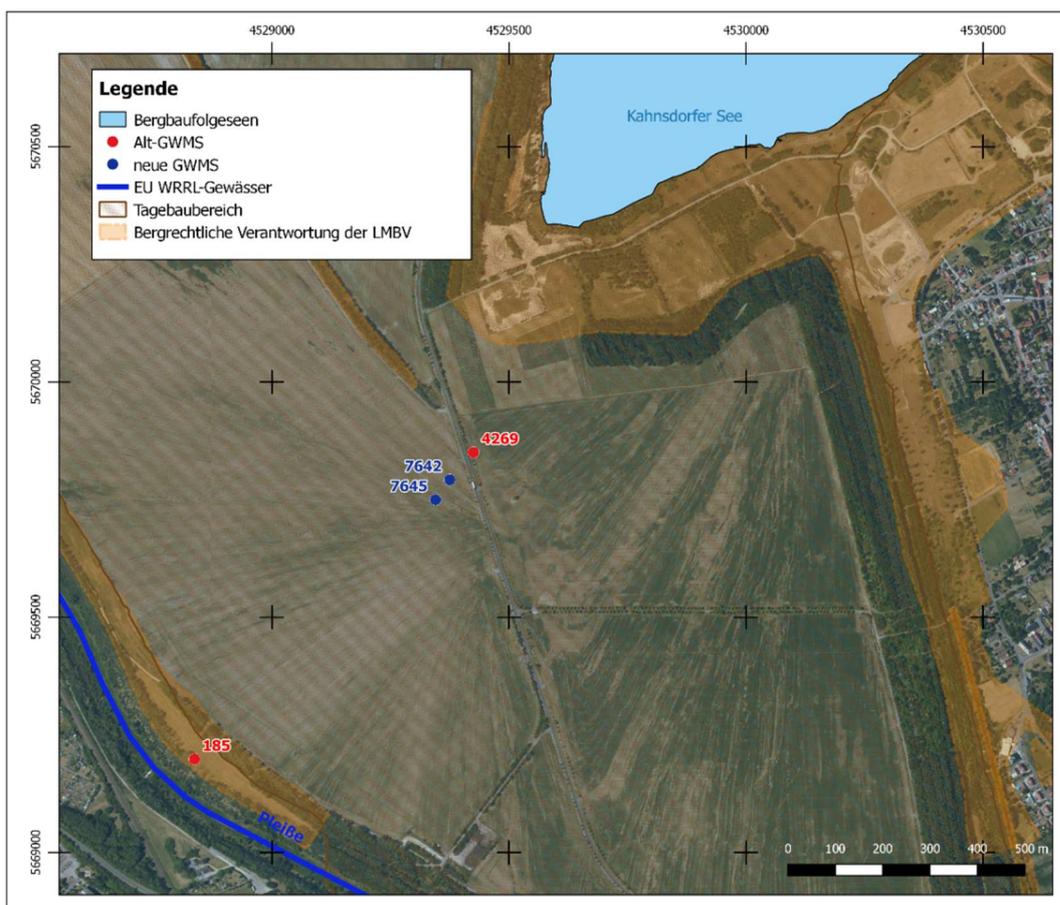


Abb. 5-1 Lage der neu errichteten GWM 7642 und 7645 auf der Kippe Witznitz

Die Standortwahl der beiden Grundwassermessstellen orientierte sich zum einen an zwei bestehenden GWM auf der Kippe (4269) bzw. in Pleißenähe (185), d. h. die vier GWM liegen auf einer Schnittachse. Zum anderen befindet sich der gewählte Standort auf der hiesigen GW-Hochlage, was den Vorteil birgt, dass der Einfluss des Sickerwassers bei langanhaltenden Niederschlagsereignissen auf die Grundwasserstände sensibler zu erkennen ist, als an GW-tieferen (Pleiße-näheren) Standorten. Die ursprüngliche Planung sah vor, dass eine der neu

errichteten GWM näher zur Pleiße errichtet werden sollte. Aufgrund der fehlenden Zuwegung und resultierenden Erschwernissen bei Datenerhebung / Beprobungen sowie einer Kompromissfindung mit der Agrargenossenschaft Osterland wurde die Errichtung jedoch in Straßennähe umgesetzt. Für die Zielstellung der Überwachung der Sickerwassermengen ist die bestehende Lage grundsätzlich geeignet.

Die Errichtung der Bodenwassermessstellen erfolgte an den zwei neuen GWM 7642 und 7645 sowie an der auf der Kippe liegenden GWM 4269. An diesen werden die Sickerwasserbewegungen überwacht. Mithilfe eines 2D-Modells soll dann die Grundwasserneubildung (GWN) abgebildet werden, um die bisher mithilfe der Lysimeter ermittelte GWN zu verifizieren. Die GWM 185 dient der Überwachung der GW-Standsentwicklung in Pleißenähe. Das bisher vierteljährliche montanhydrologische Monitoring zur Überwachung des Grundwassersstands wurde auf ein monatliches Messintervall ausgeweitet, um eine verbesserte Datendichte zu gewährleisten.

Die Dokumentation der Errichtung der beiden GWM erfolgte durch die Firma IBGW. Folgende Nachauftragnehmer wurden für die Errichtung des Sondermessprofils gebunden:

Bohrarbeiten	JoanniKling GmbH
Begleitung Bohrarbeiten/Dokumentation	Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH (IBGW)
Ausbaukontrolle	Brunnen- und Bohrlochinspektion GmbH (BBI)

Die folgende Tabelle stellt den dokumentierten Bauablauf (inkl. Bauabnahme und Einmessung) dar.

Tab. 5-1 Bauablauf Errichtung der beiden Grundwassermessstellen 7642 und 7645

Datum	Maßnahme	Beteiligt
08.04.2019	Beginn Bohrarbeiten an der GWM2 (7645)	JoanniKling
09.04.2019	bei 16 m Bohrstopp (Mantelreibung zu groß, da trockenes Kippensubstrat); ab 16 m allerdings feuchter werdendes Substrat, aber keine wasserführende Schicht (nach 2 Stunden Baustopp, konnte kein Wasser im Bohrloch nachgewiesen werden)	JoanniKling/ IBGW
10.04.2019	bis 22 m gebohrt mit kleinerem Durchmesser (noch immer keine wasserführende Schicht angetroffen); IBGW empfiehlt noch tiefer zu bohren	JoanniKling/ IBGW
11.04.2019	bis 30 m gebohrt und ab 25 m u. GOK wasserführende Schicht (Filterausbau 26 – 28 m)	JoanniKling/ IBGW
12.04.-16.04.	Rückbau Verrohrung und Messstellenausbau (am 16.04. konnte ein WST von 9,35 u. POK gemessen werden).	JoanniKling
16.04.2019	Beginn mit Bau von GWM1 (7642)	JoanniKling

17.04.2019	ab 15 m u. GOK wasserführende Schicht (Filterausbau 15-17 m)	JoanniKling/ IBGW
24.04.2019	Entsandung	JoanniKling
09.05.2019	Klarpumpen	JoanniKling
15.05.2019	Ausbaukontrolle	BBi
24.05.2019	Erstprobenahme	GFI
24./25.05.19	Errichtung Anfahrschutz GWM 1 und GWM 2	JoanniKling
05.06.2019	Bauabnahme (fehlende Pegelnummern werden nachträglich eingestanzt)	LMBV (VT5) /GFI IBGW/JoanniKling
07.06.2019	Pegelnummern eingestanzt	JoanniKling
12.06.2019	Einmessung (Abt. Markscheiderei)	LMBV (VT5)

Die Ausbaukontrolle erfolgt am 15.05.2019 durch den Nachauftragnehmer Brunnen- und Bohrlochinspektion GmbH (BBi).

Die Ergebnisse der Ausbaukontrolle haben folgenden Ausbau nachgewiesen:

Tab. 5-2 Ergebnisse der bohrlochgeophysikalischen und optischen Ausbaukontrollmessungen im Soll/Ist Vergleich (BBi)

GWM	Filter (m)		Tonsperre (m)		WSP (m)	Endteufe (m)		Ausbaumaterial/ Bemerkungen
	Soll	Ist	Soll	Ist		Soll	Ist	
7642/2019	16,0-18,0	16,1-18,1	2,5-5,0* 12,0-15,0*	2,1-5,1* 11,2-14,7*	8,4	19,0	19,1	DN 115, PVC Wickeldraht Überstand = 1,0 m Freigabe gem. MHM kann erfolgen
7645/2019	27,0-29,0	27,0-29,0	2,5-5,0* 5,0-8,0 18,5-22,0*	2,2-4,4* 4,4-8,5 18,0-22,1*	9,4	30,0	30,0	DN 115, PVC Wickeldraht Überstand = 1,0 m Freigabe gem. MHM kann erfolgen

* Tonsperrematerial radioaktiv markiert

Die Grundwasserprobenahme (Erstbeprobung gem. MHM) erfolgte am 24.05.2019 durch das GFI. Die wichtigsten Parameter sind in Tab. 5-3 dargestellt:

Tab. 5-3 Auszug aus den laborativen Mess- und Analyseergebnissen der Erstbeprobung

Parameter	Einheit	GWM 1 (7642)	GWM 2 (7645)
pH	[-]	4,48	5,98
Leitfähigkeit	mS/cm	6,01	4,06
Sulfat	mg/l	6836	3506
Eisen gesamt	mg/l	2355	736
Eisen (II)	mg/l	2119	717
TIC	mg/l	120	113

Die Bauabnahme der beiden GWM erfolgte am 05.06.2019 durch die LMBV. Abb. 5-2 zeigt die neu errichteten GWM 7642 und 7645 am 23.07.2019 mit Anfahrschutz und zusätzlich errichteten Markierungsstangen.



Abb. 5-2 Neu errichtete Sondermessstellen am Standort 2 (GWM 7642) und 3 (GWM 7645) mit Anfahrschutz und Markierungsstangen am 23.07.2019

Die markscheiderische Einmessung erfolgte durch die LMBV (Abteilung VT5) am 12.06.2019. Die Ergebnisse sind in Tab. 5-4 dargestellt.

Tab. 5-4 Ergebnisse der Einmessung durch die Markscheiderei am 12.06.2019

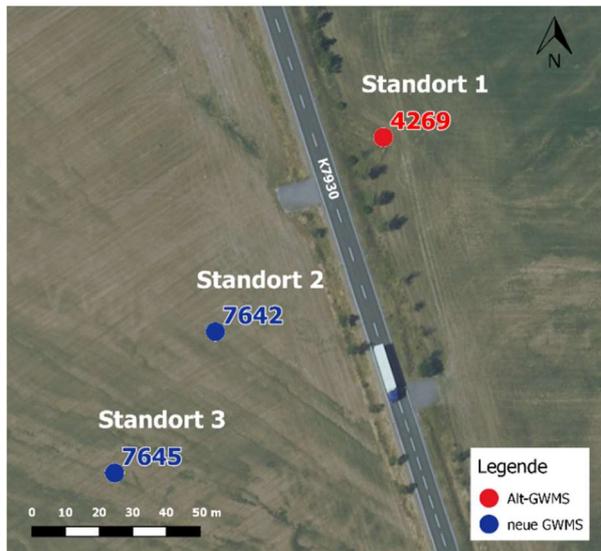
Pegelnummer	Rechtswert (LS110)	Hochwert (LS110)	Gelände m NHN	Höhe m NHN
GWM 7642	4529375,3	5669792,16	143,22	144,206 ^{*)} 143,57 ^{**)}
GWM 7645	4529345,28	5669749,718	144,133	145,113 ^{*)} 144,426 ^{**)}

^{*)} OK Schutzkappe offen

^{**)} OK Schutzrohr

5.2 Errichtung Bodenwassermessstellen

Im Zeitraum vom 20.05. bis 22.05.2019 wurden jeweils vier Bodenwassermessstellen an der bestehenden Alt-GWM 4269 sowie an den zwei neu errichteten GWM 7642 und 7645 installiert. Die so errichteten drei Sondermessstellen bestehen somit jeweils aus einer GWM und den vier um die GWM angeordneten Bodenwassermessstellen.



- Standort 1: bestehenden GWM 4269
- Standort 2: neu errichtete GWM 7642
- Standort 3: neu errichtete GWM 7645

Abb. 5-3 Standortbezeichnung der Sondermessstellen

An jedem Standort wurden

- ✓ 4x Bodenwassergehaltssonden und
- ✓ 4x Tensiometer zur Messung der Saugspannung

in 2x 1,0 m Tiefe und 2x 2,5 m Tiefe sowie jeweils ein Wasserstandsmesser in die GWM eingebaut. Die verwendeten Fabrikate sowie die Herstellerangaben sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tab. 5-5 Eingebaute Sonden an den Bodenwassermessstellen

Sonde	Herstellerangaben
	<ul style="list-style-type: none"> - Tensiomark® der Fa. EcoTech - Sensor deckt kompletten Messbereich (pF 0-7; 1-10.000.000 hPa) ab - Wartungsfrei und frostsicher - uneingeschränkter Messbereich (keine Messlücken im Sommer durch Austrocknung) - Spontane Reaktion auf Feuchteänderungen
	<ul style="list-style-type: none"> - kapazitiver Bodenfeuchtesensor der Firma Delta-T Devices - gibt die Bodenfeuchte als Spannungssignal (0 ... 1,0 V ≈ 0 ... 60 Vol. %) und die Temperatur als Widerstand aus - geringen Sensibilität gegenüber dem Salzgehalt und Temperaturänderung - Messung der relativen Permittivität (Dielektrizitätszahl, ϵ_r) - bodenspezifische Kalibrierung
	<ul style="list-style-type: none"> - Pegelsonde 46X der Fa. Keller - Gehäuse aus rostfreiem Stahl - Messbereich 1 bar

Die bodenspezifische Kalibrierung der Wassergehaltssonden erfolgte für die Standorte 2 und 3 anhand der teufenorientierten Bodenproben aus dem Bohrgut. Für Standort 1, für den keine Bodenproben für die Kalibrierung vorlagen, wurden die Kalibrierungskoeffizienten vom Standort 2 übernommen, da die am Standort 1 angetroffenen Kornfraktionen aus den Rammkernbohrungen dem des Standorts 2 ähnelte.

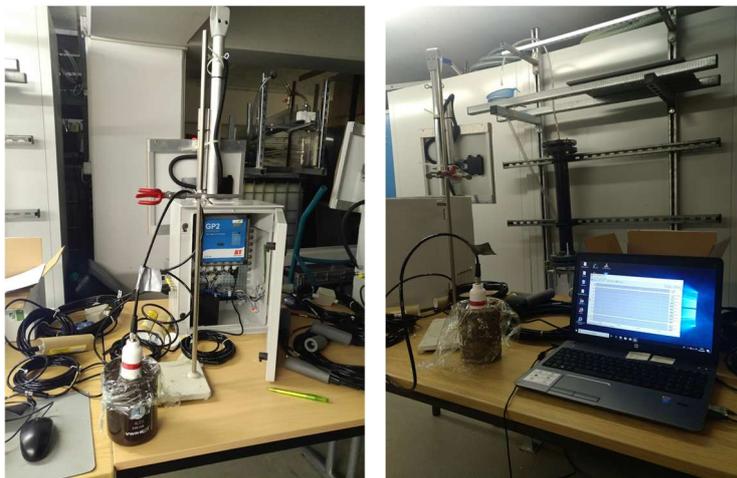


Abb. 5-4 Bodenspezifische Kalibrierung der Wassergehaltssonden am GFI

Tab. 5-6 Auswertung kf-Werte anhand ermittelter Korngrößenverteilung nach Beyer und Kaubisch

GWM	Tiefe	kf (nach Beyer)	kf (mit Korrektur nach Netzker)	kf (nach Kaubisch)
	m u. GOK	m/s	m/s	m/s
Standort 2				
GWM 7642	0,5-1,5	7,1E-04	1,8E-04	n. e.
GWM 7642	2,0-3,0	3,6E-04	1,2E-05	3,0E-05
GWM 7642	16,0-18,0 ^{*)}	5,0E-05	1,6E-06	8,6E-06
Standort 3				
GWM 7645	0,5-1,5	6,3E-06	2,0E-07	6,3E-09
GWM 7645	2,0-3,0	4,6E-04	1,1E-04	n. e.
GWM 7645	27,0-29,0 ^{*)}	6,6E-06	2,1E-07	2,6E-06

^{*)} Filterbereich

Die aus den Bohrungen gewonnenen Bodenproben (gestört) wurden im Labor des GFI auf Korngrößenverteilung untersucht. Die Auswertung der kf-Werte ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Für die Auswertung der kf-Wert nach Beyer bzw. bei einem erhöhten Feinkornanteil ($d < 0,06$ mm) von < 10 % mit der Korrektur nach Netzker liegen alle Bodenproben außerhalb

der Gültigkeitsgrenzen (orange hinterlegt). Lediglich für drei Bodenproben (grünhinterlegt) konnte der kf-Wert nach Kaubisch ermittelt werden.

Die folgende Abbildungen Abb. 5-5 und Abb. 5-6 skizziert die Sondenanordnung am Standort 1 (GWM 4269) und Standort 2 (GWM 7642).

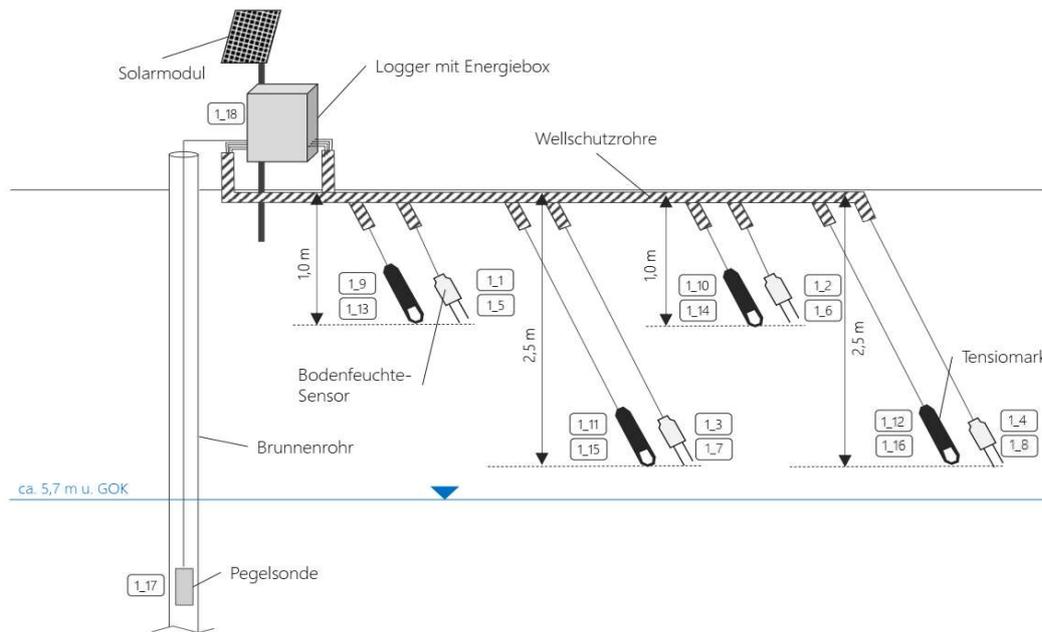


Abb. 5-5 schematischer Aufbau der Messeinrichtung am Standort 1 (GWM 4259)

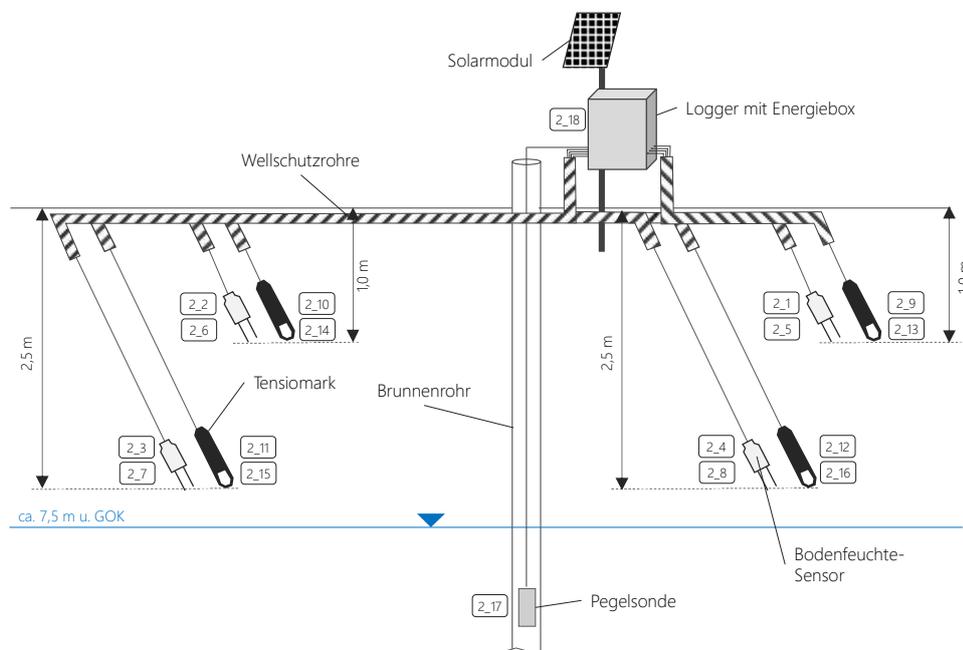


Abb. 5-6 schematischer Aufbau der Messeinrichtung am Standort 2 (GWM 7642)

Der Abstand zwischen der Wassergehaltssonde und dem Tensiomark beträgt etwa 0,5 m. Die Zeitliche Auflösung der Messintervalle beträgt für alle Sonden 15 Minuten.

6 Laufendhaltung der Modelle

6.1 1D-Wasserhaushaltsmodell

Für das Wasserhaushaltsmodell auf der Basis des Programms **HYDRUS-1D** wurde das Strukturmodell zuletzt 2013 präzisiert. Im Jahr 2016 erfolgte eine Neukalibrierung der Hydrus-Modelle für die Lysimeter 14/2 und 14/4 für den Zeitraum 01/2012 bis 12/2015. Hierbei wurde auch der Fruchtfolgewechsel im Jahr 2013 berücksichtigt. In den Folgejahren 2017, 2018 und 2019 erfolgte dann eine Überprüfung der Vorjahress-Messwerte und Anpassung des Wasserhaushaltsmodells.

Das Ergebnis der gemessenen und berechneten kumulativen Sickerwassermengen für die Lysimeter 14/2 und 14/4 zeigt **Abb. 6-1** und **Abb. 6-2**.

Es konnte wiederholt eine gute Abbildung der Sickerwassermengen für das Lysimeter 14/2 erzielt werden. (s. **Abb. 6-1**). Lediglich das Umbruchjahr 2013 wird modelltechnisch über- und das Jahr 2017 unterschätzt.

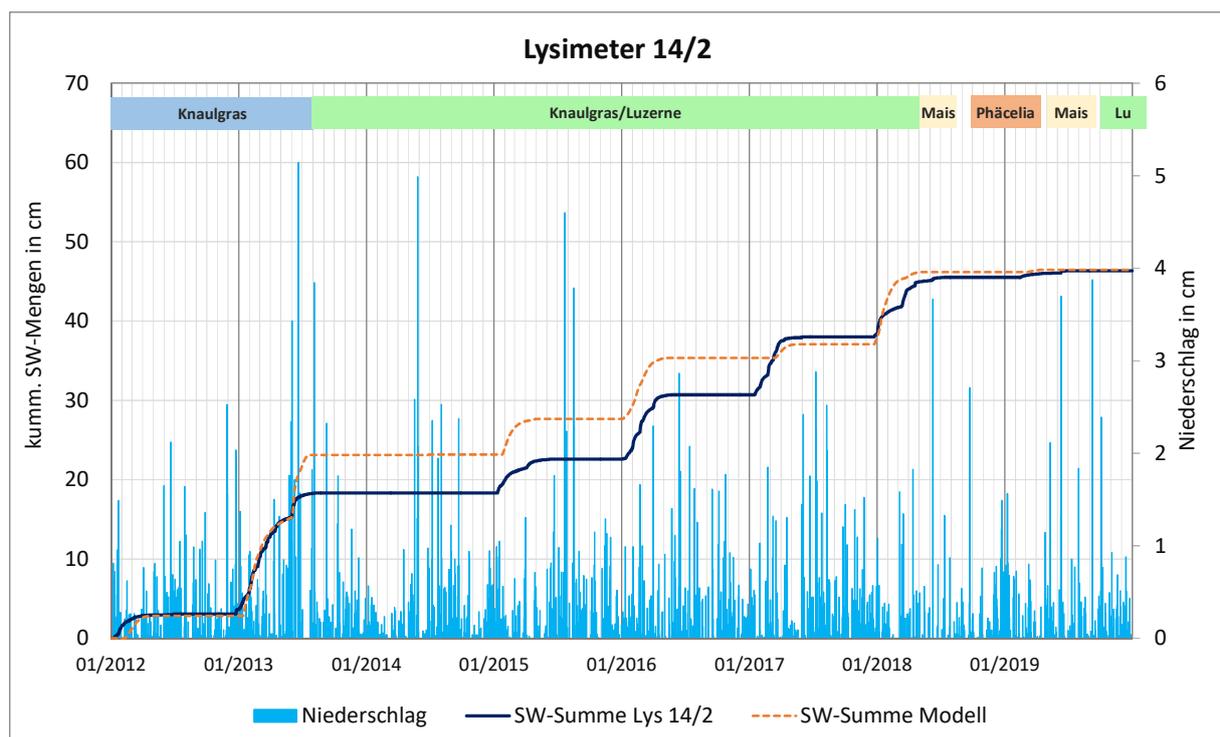


Abb. 6-1 Gegenüberstellung der berechneten und der gemessenen kumulierten Sickerwassermengen für das Knaulgras bzw. Knaulgras/Luzerne-Lysimeter 14/2 sowie der korrigierte Niederschlag (Tageswert Station Brandis)

Eine gute Übereinstimmung der berechneten und gemessenen Sickerwassermengen weist auch weiterhin das kalibrierte Modell für das Lysimeter 14/4 auf (s. **Abb. 6-2**). Die berechneten SW-Mengen zu Beginn des Jahres 2017 unterschätzen die gemessenen SW-Mengen.

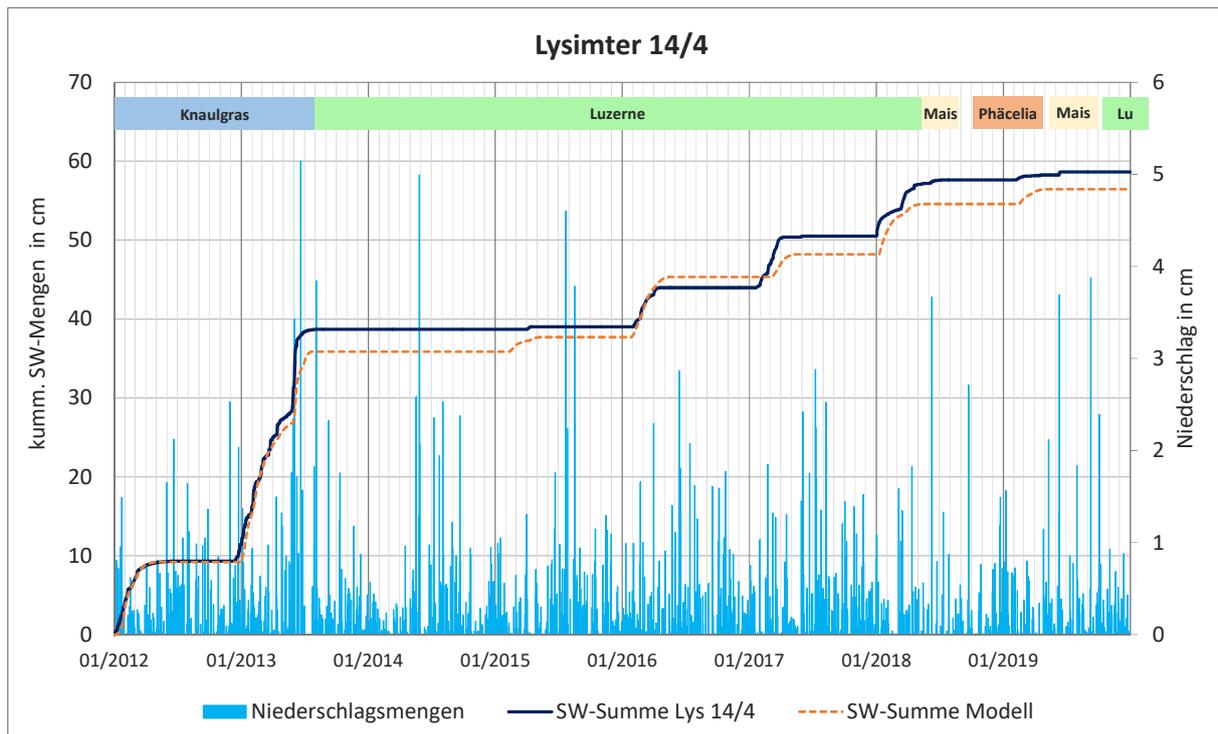


Abb. 6-2 Gegenüberstellung der berechneten und der gemessenen kumulierten Sickerwassermengen für das Knautgras bzw. Luzerne-Lysimeter 14/4 sowie der korrigierte Niederschlag (Tageswert Station Brandis)

6.2 Aufbau und Vorkalibrierung des 2D-Modells Witznitz

Nach Errichtung des Sondermessprofils wurde Ende 2019 ein 2D-Bodenwasserhaushaltsmodell erstellt und vorkalibriert. Seither wird das Modell anhand der Messdaten kontinuierlich verifiziert. Der bisherige Kalibrierungszeitraum umfasst etwa 27 Wochen vom 07.07.2019 bis 29.02.2020. Die für die Kalibrierung erforderlichen Messwerte stammen aus dem Sondermessprofil (s. **Abb. 6-3**), welches im Zeitraum 08.04. bis 22.05.2019 auf der Kippe Witznitz errichtet wurden. Hierfür wurden an drei Sondermessstellen jeweils vier Bodenfeuchte- und pF-Sensoren (2x 1,0 m Tiefe und 2x 2,5 m Tiefe) sowie eine Pegelsonde installiert. Die Messwerte nach der Installation bis zum 07.07.2019 werden für die Kalibrierung nicht verwendet, da die Sonden eine gewisse Einfahrzeit benötigen. Des Weiteren gab es anfänglich noch ein paar technische Probleme (Sondenausfall).

Für die Modellierung der Sickerwasserströmung in der ungesättigten Bodenzone wird das Programmsystem HYDRUS 2D/3D Version 3.02.053 verwendet.

Das Programm HYDRUS ist ein physikalisches Modell [7], das basierend auf der Methodik der Finiten Elemente

- die gesättigte Strömung nach der DARCY-Gleichung und
- die ungesättigte Strömung nach der RICHARDS-Gleichung

erfasst.

Die Schwerpunkte für die weiterführende Modellierung ergeben sich wie folgt:

- (1) Berechnung und Optimierung (Kalibrierung) der berechneten Sickerwassermengen in der Kippe,
- (2) Ertüchtigung und Weiterentwicklung des Modelles als Prognosewerkzeug mit Hilfe der gemessenen Daten aus dem Sondermonitorings Kippe Witznitz und
- (3) konkrete Einschätzung der Grundwasserneubildung in der Kippe Witznitz als wichtige Eingangsgröße für das Grundwasserströmungsmodell.

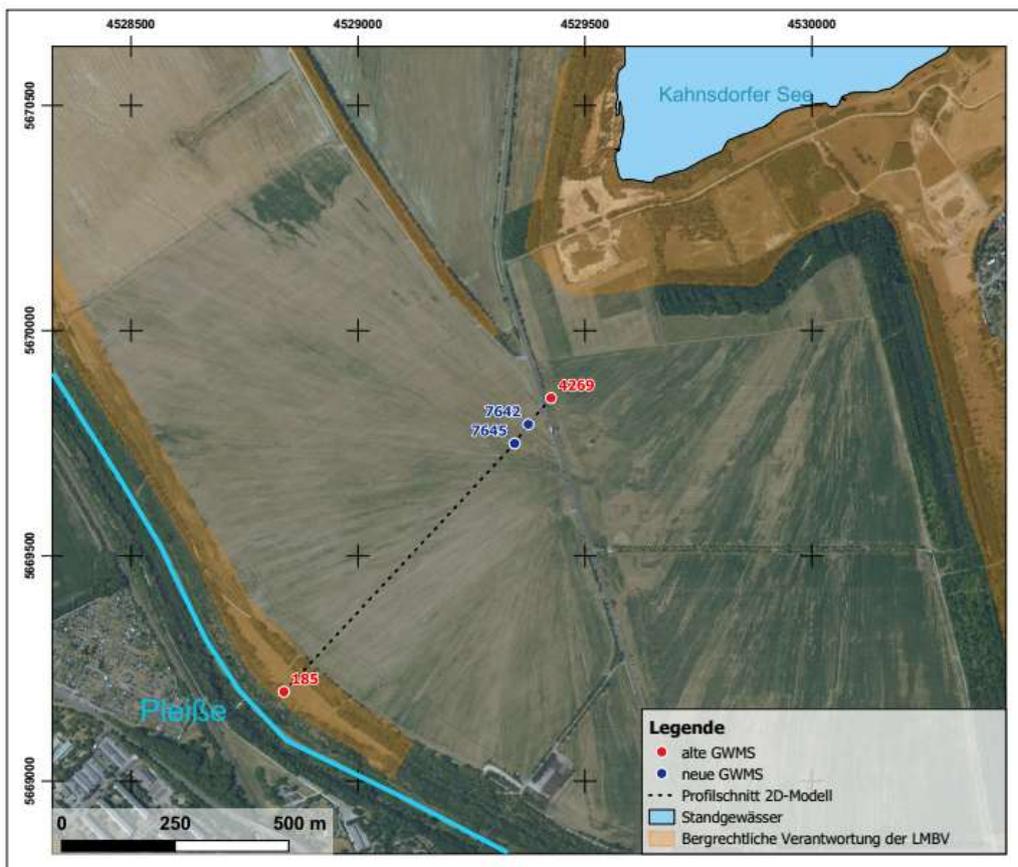


Abb. 6-3 Lage der alten und neuen errichteten GW-Messstellen und das 2D-Modell Profil auf der Kippe Witznitz

6.2.1 Konzeptionelles Modell

Entsprechend der hydrogeologischen und hydrologischen Standortbedingungen ist zur Umsetzung der Aufgabestellung die Bildung von Schichtwasser und dessen Versickerung in den Untergrund der Kippe des ehemaligen Tagebaus Witznitz zu beschreiben und zu berechnen.

Dafür werden im Modell

- die Bildung von Sickerwasser Q_{sw} in Abhängigkeit der zeitvariablen und klimatischen Randbedingungen potentielle Verdunstung E_p , Transpiration T_p und korrigierter Niederschlag N_{kor} ,
- der Austausch von Sickerwasser mit dem anstehenden Grundwasserleiter und
- die Wirkung der geplanten Fruchtfolge auf die Sickerwasser- bzw. GW-Neubildung

berechnet und dargestellt. Das konzeptionelle Modell der Bodenwasserdynamik ist in **Abb. 6-4** dargestellt

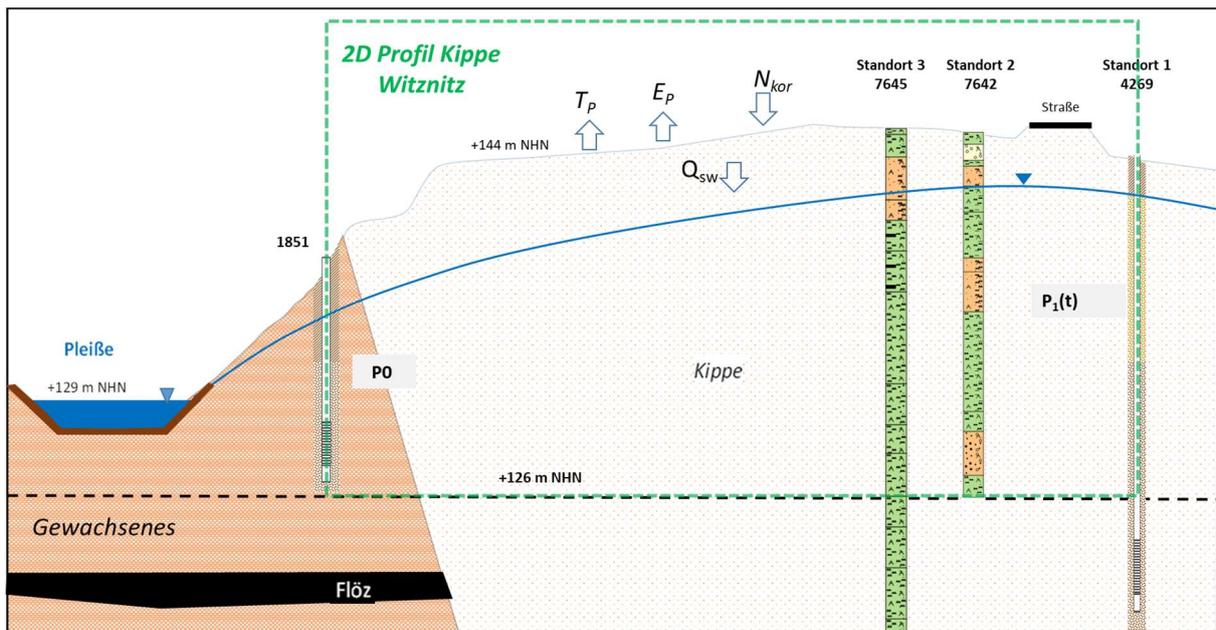


Abb. 6-4 Konzeptionelles 2D-Modell der Kippe Witznitz

Das 2D-Modellprofil verläuft von Nordost (GWM 4269) nach Südwest (GWM 1851). In diesem Profil befinden sich oben auf der Kippenfläche die drei **Sondermessstellen 4269 (Standort 1), 7642 (Standort 2)** sowie **7645 (Standort 3)** und eine pleißenaher GWM 1851, welche auf dem gewachsenen Streifen zwischen Kippe und Pleiße liegt (s. Abb. 6-3).

Die vertikale Ausdehnung des Modelles umfasst die Geländeoberfläche und eine Referenzebene +126 m NHN, die etwa 3 m unter der Pleißesohle liegt.

Die oben liegenden Sondermessstellen befinden sich auf der GW-Hochlage. Für den GW-Volumenstrom und den damit verbundenen potenziellen Massentransport von Eisen und Säure zur Pleiße ist der GW-Potenzialgradient, ausgehend von der GW-Hochlage zur Pleiße als treibende Kraft, bestimmend.

6.2.2 Modellaufbau

Diskretisierung

Die Geländehöhen für das 2D-Profil wurden aus dem digitalen Geländemodell DGM 16 m bezogen und im Netz-Generator des Modells als absolute Höhenwerte eingebaut. Eine horizontale Referenzebene +126 m NHN wurde auch definiert. Das 2D Profil hat die folgenden Maße:

Länge von 879 m und
variable Tiefe von 14 - 19 m.

Die räumliche Diskretisierung sollte dort, wo große hydraulische Gradienten zu erwarten sind (Nähe Bodenoberfläche) relativ gering sein. Im oberflächennahen Bereich bewirken meteorologische und Pflanzenphysiologische Randbedingungen schnelle Änderungen des Bodenwassergehalts und der Potentialhöhen.

In der Modellunterkante ist der Abstand zwischen zwei Knoten etwa 5 m (s. Abb. 6-5).

Die sechs Beobachtungspunkte hinsichtlich der Parameter Bodenfeuchte und Saugspannung aus dem Sondermessprofil wurden im Modell in 1 m und 2,5 m Tiefe definiert. Es wird davon ausgegangen, dass das Sickerwasser, was in 2,5 m Tiefe über die Bodenfeuchte erfasst wird, der GW-Speicher als GW-Neubildung zugeht.

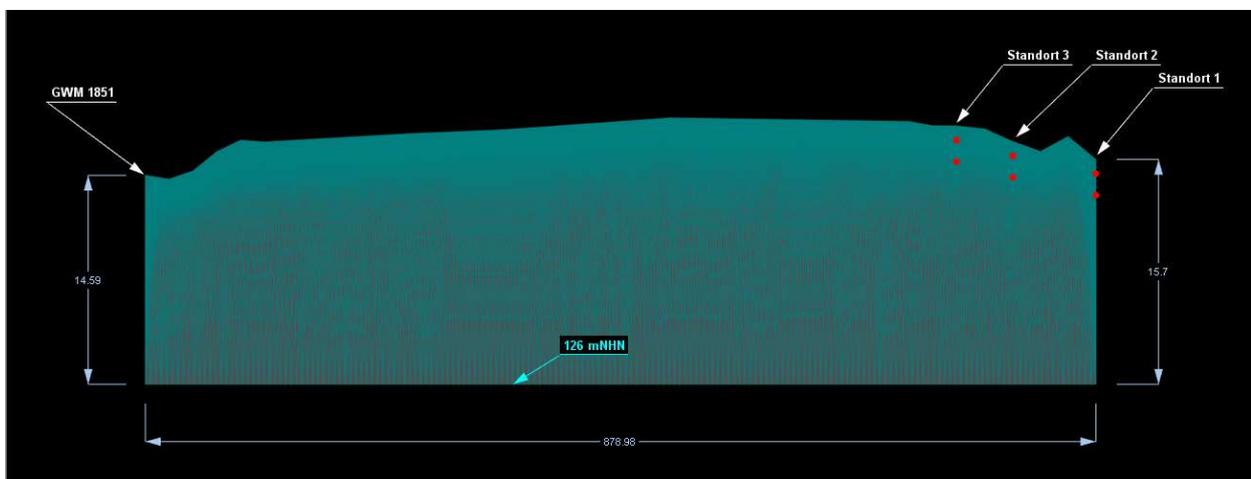


Abb. 6-5 Diskretisierung und Lage der Überwachungspunkte (rot), Maße in Meter

Belegung der Randbedingungen

Als Randbedingungen des Bodenwasserhaushaltsmodells wurden an der Oberkante des 2D-Modells Modells Atmosphärenrandbedingungen, am rechten Rand (Standort 1) die variierende Grundwasserstandshöhe als zeitabhängige Druckhöhe und am linken Rand (GWM 1851)

eine konstante Druckhöhe (durchschnittliche Grundwasserhöhe vom 129 m NHN) festgelegt (s. Abb. 6-6).

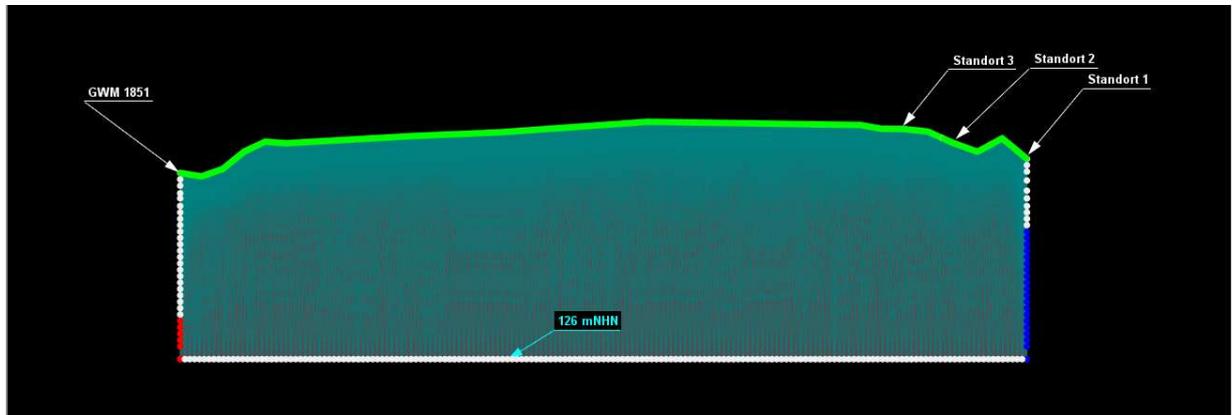


Abb. 6-6 Darstellung der Randbedingungen des Strömungsmodells (hellgrün: RB Atmosphäre; blau: RB zeitabhängige Druckhöhe; rot: konstante Druckhöhe; weiß: keine Flüsse)

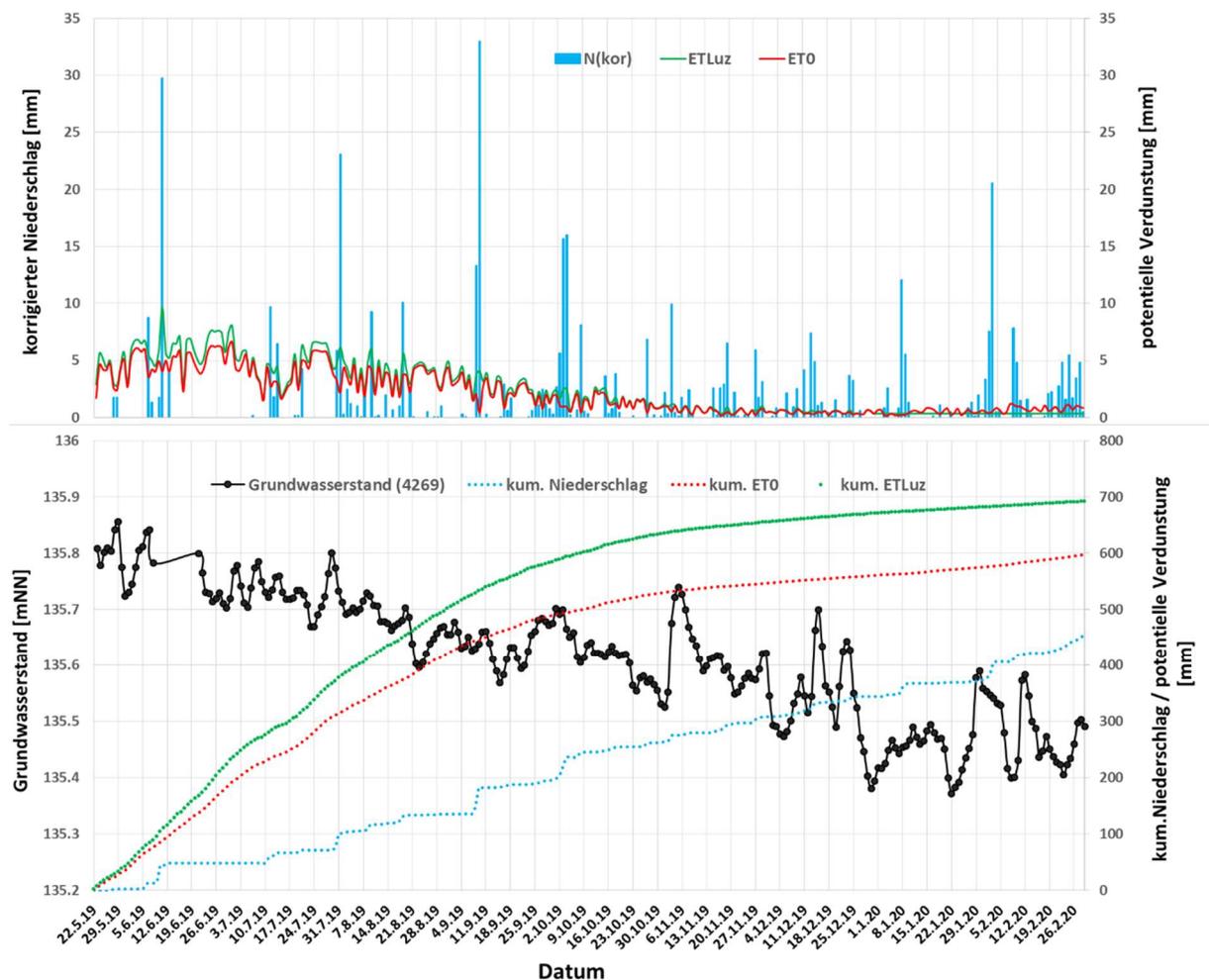


Abb. 6-7 Klimatische und hydraulische Eingangsdaten in dem Zeitraum 22.5.2019 bis 29.02.2020

Die Vorkalibrierung des Strömungsmodells erfolgte unter instationären Randbedingungen anhand der Messdaten aus dem Sondermessprofil im Zeitraum 22.05.2019 bis 29.02.2020. (s. Abb. 6-7). Die zeitabhängigen Randbedingungen wurden als Tageswerte vorgegeben. Am rechten Modellrand wurden die variablen Grundwasserstandshöhen der GWM 4269 angegeben.

Als klimatische Randbedingungen wurden Tageswerte des korrigierten Niederschlags, der potentiellen Verdunstung und der potentiellen Transpiration der Vegetation bzw. Luzerne verwendet. Die korrigierten Niederschläge als auch die potentielle Verdunstung als Grasreferenzverdunstung, die mittels der Näherungsformel nach Turc-Wendling aus den klimatischen Daten und der geodätischen Höhe berechnet wurden, stammen von der Lysimeterstation Witznitz (BfUL).

HYDRUS bietet die Möglichkeit, die bestandsabhängige reale Evapotranspiration in geschlossener Form nach PENMAN-MONTEITH zu berechnen. Dazu werden alle Klimadaten und pflanzenphysiologische Größen direkt in das Programm eingegeben, welches damit alle relevanten Prozesse erfasst. Mit einer größeren Zahl von sogenannten bestandsabhängigen Koeffizienten ist eine Bewertung von einzelnen Wasserhaushaltskomponenten und damit die Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse relativ schwierig.

Deshalb wurde ein Rechenweg gewählt, in dem die einzelnen Wasserhaushaltskomponenten getrennt ausgewiesen und berechnet werden und somit auch besser auf Plausibilität geprüft werden können:

- Berechnung der Gras-Referenzverdunstung als potenzielle Verdunstung ET_0 ,
- Erfassung der bestandsabhängigen potentiellen Verdunstung der bestehenden Vegetation durch Multiplikation von ET_0 mit einem Bestandsfaktor f [2],
- Berechnung des Interzeptionsanteils aus den korrigierten Niederschlägen
- Trennung der potentiellen Verdunstung und der potentiellen Transpiration
- Berechnung des saugspannungsabhängigen Bodenwasserentzuges durch die Pflanzenwurzeln entsprechend dem in HYDRUS implementierten Verfahren von FEDDES [6].

Der Bestandsfaktor f erfasst die erhöhte Evapotranspiration ET_a von konkreten Kulturen gegenüber dem Referenzgras:

$$ET_a = f \cdot ET_0$$

Die Datenreihe der Wuchshöhen wurde aus Feldmessungen erzeugt und der relevante Blattflächenindex (LAI) sowie die Albedo-Werte wurden in Anlehnung an das 1D-Modell für Luzerne definiert.

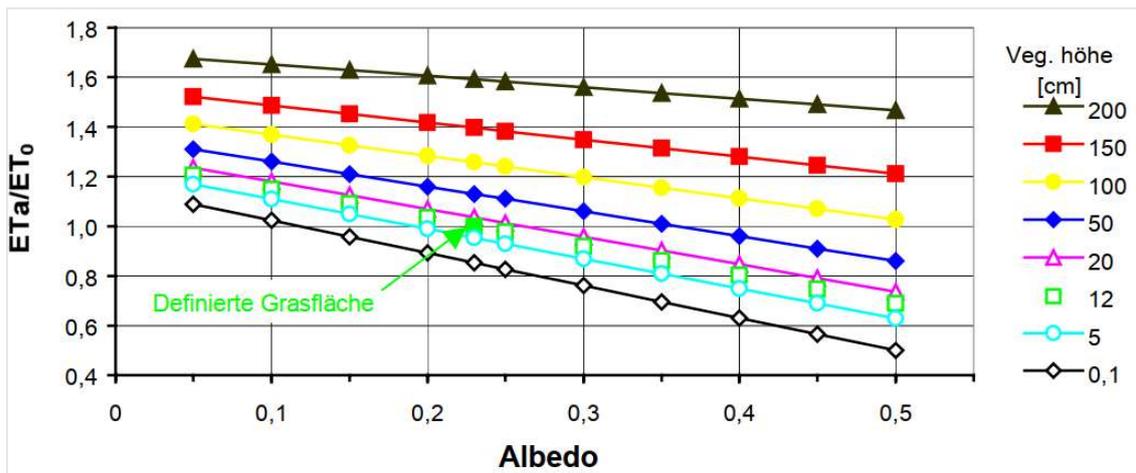


Abb. 6-8 Penman-Monteith Verdunstung ET_a relative zur Grasreferenzverdunstung ET_0 in Abhängigkeit von Albedo und Höhe der Vegetation

ET_{Luz} für das Modell resultiert aus der ET_a nach der Berücksichtigung der Interzeptionsverdunstung aus dem Interzeptionsspeicher, der sich an der Pflanzenoberfläche nach einem Niederschlagsereignis bildet. Die Interzeptionsverdunstung erfolgt unabhängig von der Transpiration durch die Pflanze.

In der Tab. 6-1 ist als Beispiel der Jahrgang der Interzeption in Prozent vom korrigierten Niederschlag für 12 cm hohes Gras mit einem Jahresdurchschnitt von ca. 10% angegeben. Für höheres Gras oder andere Kulturen mit einer hohen Blattfläche kann die Interzeption in Abhängigkeit von der Art der Niederschläge bis auf 30 % bis 40 % ansteigen.

Tab. 6-1 Jahrgang der Interzeption in Prozent von N_{korr}

Monat	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Interzeption %	3	4	6	11	15	17	16	14	11	9	6	4

Die Aufteilung der potentiellen Transpiration T_p und der potentiellen Verdunstung E_p erfolgte nach RITCHIE [5] und basierte auf dem Anteil der einfallenden Strahlung, der nicht von der Vegetation „Luzerne“ abgefangen wurde.

Die Oberflächenbedeckungsfraction SCF rechnet sich nach RITCHIE wie folgend:

$$SCF = e^{-k \cdot LAI}$$

$$T_p = ET_{Luz} \cdot SCF$$

$$N_p = ET_{Luz} \cdot (1 - SCF)$$

k ist die Extinktionskoeffizient nach RITCHIE [5] und wurde mit 0,398 angenommen.

Um die Anfangsbedingungen im Modell zu erhalten, erfolgte ein Modellvorlauf für die ersten 30 Tage des Überwachungszeitraums. Die Eingangsdaten der Bodenwasserdrückhöhe [m] stammen von den pF-Sensoren und den Pegel-Sonden des Sondermessprofils. Der Modellvorlauf ermöglicht eine gute Verteilung der anfänglichen Drückhöhen im Bodenprofil.

6.2.3 Vorkalibrierung

Für den Aufbau des geologischen Strukturmodells erfolgte die Klassifizierung der Bodenarten nach KA5 [4]. Dazu wurden alle Siebanalysen der aus den Bohrungen gewonnenen Bodenproben am Standort 2 und 3 ausgewertet. Die Ergebnisse der Klassifizierung sind in Tab. 6-2 dargestellt.

Tab. 6-2 Klassifizierung der Boden nach KA5 [4] für Standorte 2 und 3, Teufe 1 m und 2,5 m

Bodenprobe	Bodenart KA5	Erläuterung
Standort 2_1 m	gs	Grobsand, sehr stark kiesig
Standort 2_2.5 m	Su2	Schwach schluffiger Sand, mittel kiesig
Standort 2_(15-17) m ^{*)}	Su2	Schwach schluffiger Sand, mittel kiesig
Standort 3_1 m	Ls2/Uls	Schwach sandiger Lehm, schwach kiesig
Standort 3_2.5 m	mSfs	Feinsandiger Mittelsand, stark kiesig
Standort 3_(26-28) m ^{*)}	St2	Schwach toniger Sand, schwach kiesig

^{*)} Filterbereich

Ein Vergleich der verwendeten Modellschichten im 1D-Modell (Lysimeter) wies auf eine standortbedingt Abweichung der oberen Bodenarten hin. Eine Übertragung der Materialschichten aus dem 1D-Modell auf das 2D-Modell erfolgte daher nicht.

Anhand der geologischen Profile der Standorte 2 und 3 sowie der Bodenklassifizierung nach KA5 aus den Siebanalysen (vgl. Tab. 6-2) erfolgte entsprechend der Modellschichtaufbau im 2D-Modell. Das 2D-Modell wurde vorerst in zwei Modellschichten unterteilt, wobei die zwei Modellschichten am Standort 1 und 2 mit dem Material 1 und 2 belegt wurde, Standort 3 hingegen mit dem Material 3 und 4. Die Höhe der beiden oberen Modellschichten 1 und 3 beträgt 1 m. Die Höhe der 2. Modellschicht (Material 2 und 4) beträgt in Abhängigkeit der Modelloberkante zwischen 13 – 18 m.

Die vorläufig kalibrierten Bodenparameter nach VAN GENUCHTEN [8] für die Bodenmaterialien sind in der Tab. 6-3 dargestellt.

Tab. 6-3 Vorläufig kalibrierte Van-Genuchten Bodenparameter für die verschiedenen Materialschichten

Material	Standort	Θ_r [-]	Θ_s [-]	α [1/m]	n [-]	K_s [m/d]	l []
1	1+2	0,03	0,43	12	2,7	7,1	0,5
2		0,04	0,45	15	1,4	3,5	0,5
3	3	0,05	0,41	7,5	1,9	1,1	0,5
4		0,07	0,43	14,5	2,7	7,1	0,5

6.2.4 Vorläufige Kalibrierungsergebnisse

Die Feinkalibrierung des Modells bedarf besonders in 2,5 m Tiefe einer detaillierten Analyse und Plausibilitätsprüfung der Messwerte (Bodenfeuchte und pF-Werte). Dies konnte aufgrund der begrenzten Messwertreihe und insbesondere der klimatischen Bedingungen (wenige Regenereignisse) nur vorläufig erfolgen.

Die ersten Kalibrierungsergebnissen an den tiefer liegenden Beobachtungspunkten (2,5 m Tiefe) zeigen an allen drei Standorten eine gute Übereinstimmung der Modellwerte mit den Messwerten (vgl. Abb. 6-11). Aufgrund der klimatischen Bedingungen der letzten Monate ist jedoch davon auszugehen, dass kaum GWN stattgefunden hat, d. h. das Durchlaufen einer Feuchtefront ist bisher nicht gut zu erkennen. Die Kalibrierung ist somit noch nicht abgeschlossen.

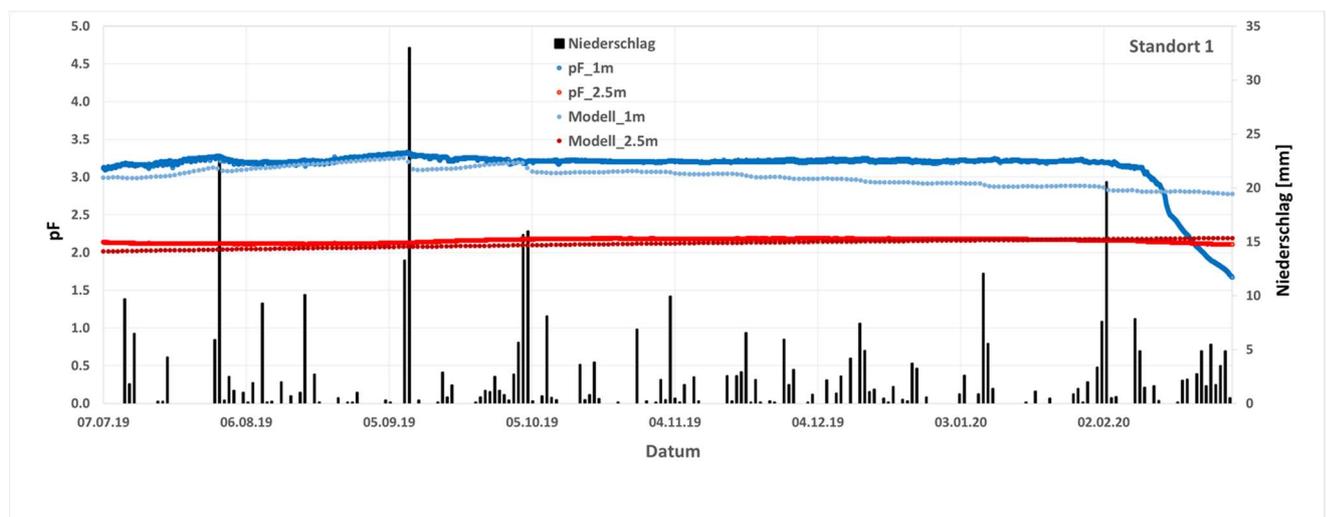


Abb. 6-9 Ergebnisse der Vorkalibrierung der pF-Werte im Messzeitraum 07/2019 bis 02/2020 am Standort 1 (4269) und Niederschlag im Messzeitraum (Lysimeterstation Witznitz)

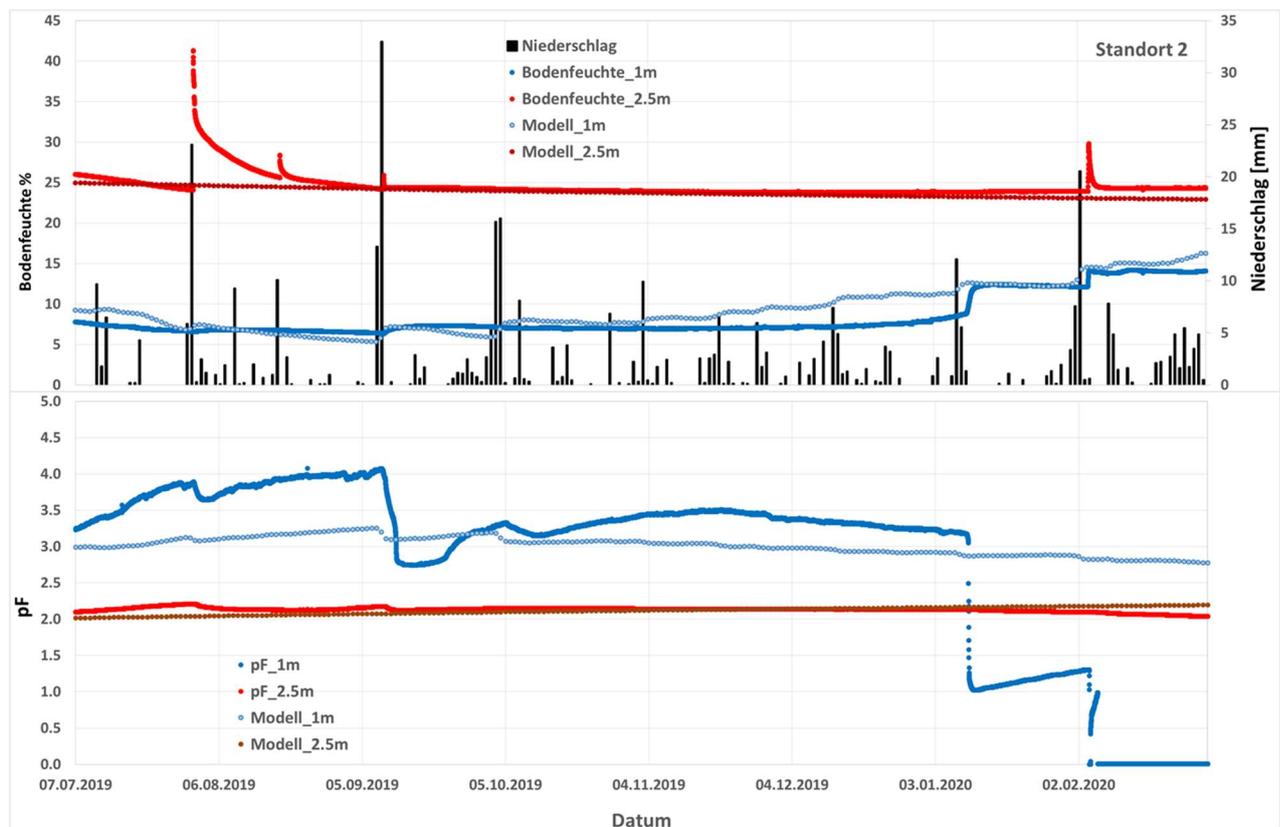


Abb. 6-10 Ergebnisse der Vorkalibrierung der pF-Werte und beispielhaft der Bodenfeuchte im Messzeitraum 07/2019 bis 02/2020 am Standort 2 (7642) und Niederschlag im Messzeitraum (Lysimeterstation Witznitz)

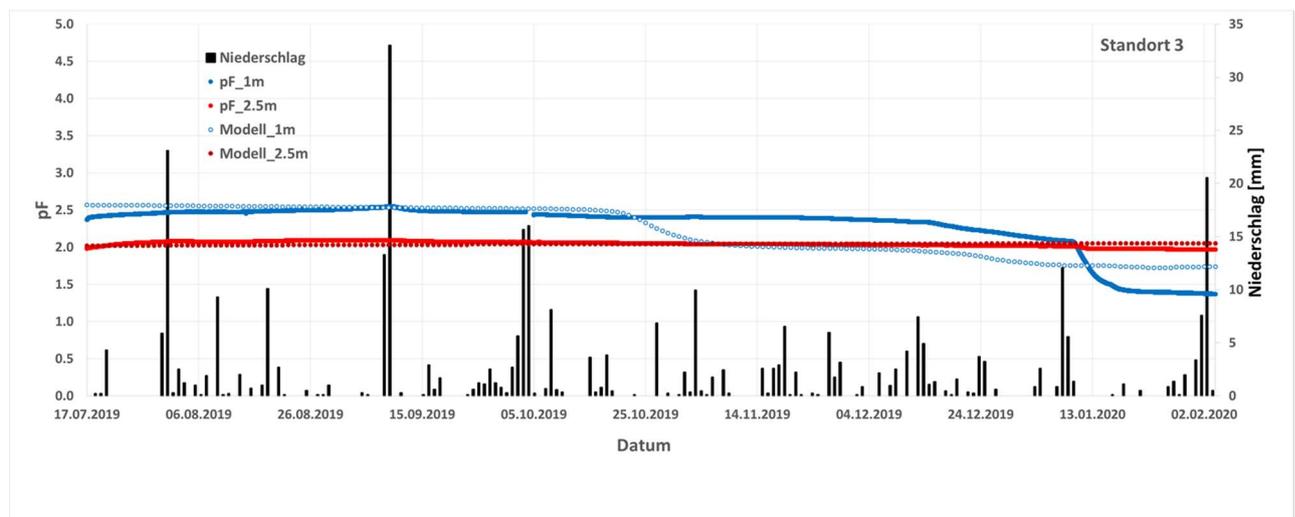


Abb. 6-11 Ergebnisse der Vorkalibrierung der pF-Werte im Messzeitraum 07/2019 bis 02/2020 am Standort 3 (7645) und Niederschlag im Messzeitraum (Lysimeterstation Witznitz)

Die Kalibrierungsergebnisse am oberen Beobachtungspunkt zeigen eine weniger gute Übereinstimmung der Messwerte mit den Modellwerten. Grund hierfür ist die hohe Interaktion

zwischen meteorologischen und pflanzenphysiologischen Bedingungen (Wasseraufnahme der Pflanzen über die Wurzeln). Zudem ist eine längere Datenreihe erforderlich, insbesondere außerhalb der Vegetationsperiode. Ggf. ist die obere Bodenmodellschicht weiter zu unterteilen. Einige Bodenfeuchte-Sensoren weisen ein zu schnelles Signal bei starken Regenereignisse auf. Dies ist ggf. auf bevorzugte Sickerwege innerhalb des Sondenkanals zurückzuführen. Die lange Trockenheit während und nach der Einbauphase führte ggf. noch zu keiner vollständigen Quellung der Tonabdichtung.

6.2.5 Ausblick

Zur Verbesserung der Kalibrierungsergebnisse sind In-Situ-Infiltrationsversuche an zwei der drei Standorte in der Planungsphase und werden in Mai/Juni 2020 durchgeführt.

Die Feinkalibrierung wird anhand der Ergebnisse der geplanten Infiltrationsversuche fortgeführt.

6.3 Grundwassermodell

Im Rahmen „Ingenieurtechnischen Begleitung zur Erfolgskontrolle und Prognosefortschreibung der Wirkungsprognosen der Maßnahme 5.1 zur Reduzierung des Sickerwasserstroms durch Bewirtschaftung von Kippenflächen“ erfolgte der Vergleich der Prognoserechnungen des geohydraulischen Modells HGMS mit Messwerten bestehender und zweier neu niedergebrachter Pegel. Dies dient der Validierung der Prognoseergebnisse. Die Pegel 7642 und 7645 wurden 2019 errichtet und mit Datenloggern zur Messwertaufzeichnung versehen. Für beide Pegel liegen erste Messwerte in viertelstündlicher Auflösung vor. Grundlage für die Modellierung ist das etablierte Modell HGMS in der Form HGMS18p. Die erhobenen Messwerte wurden mit der Modellprognose verglichen, um die Anpassungsgüte des Modells zu bewerten und Aussagen über die Qualität der Prognosen treffen zu können.

Abb. 6-12 sowie **Abb. 6-13** zeigen die Hydroisohypsen für die Jahrescheibe 2019. Diese wurden mit mittleren Grundwasserneubildungsverhältnissen berechnet. Grundsätzlich beschreibt das Modell HGMS die geohydraulischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet hinreichend gut. Nach 2017 kommt es zu größeren Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten, die auf die Verwendung von mittleren Klimadaten zurückzuführen sind, welche insbesondere im Vergleich zu den realen sehr trockenen Verhältnissen der vergangenen Jahre deutliche Unterschiede zwischen den berechneten und gemessenen Wasserständen verursachen. Modellseitig werden für 2019 deshalb meist höhere Werte ausgegeben als gemessen.

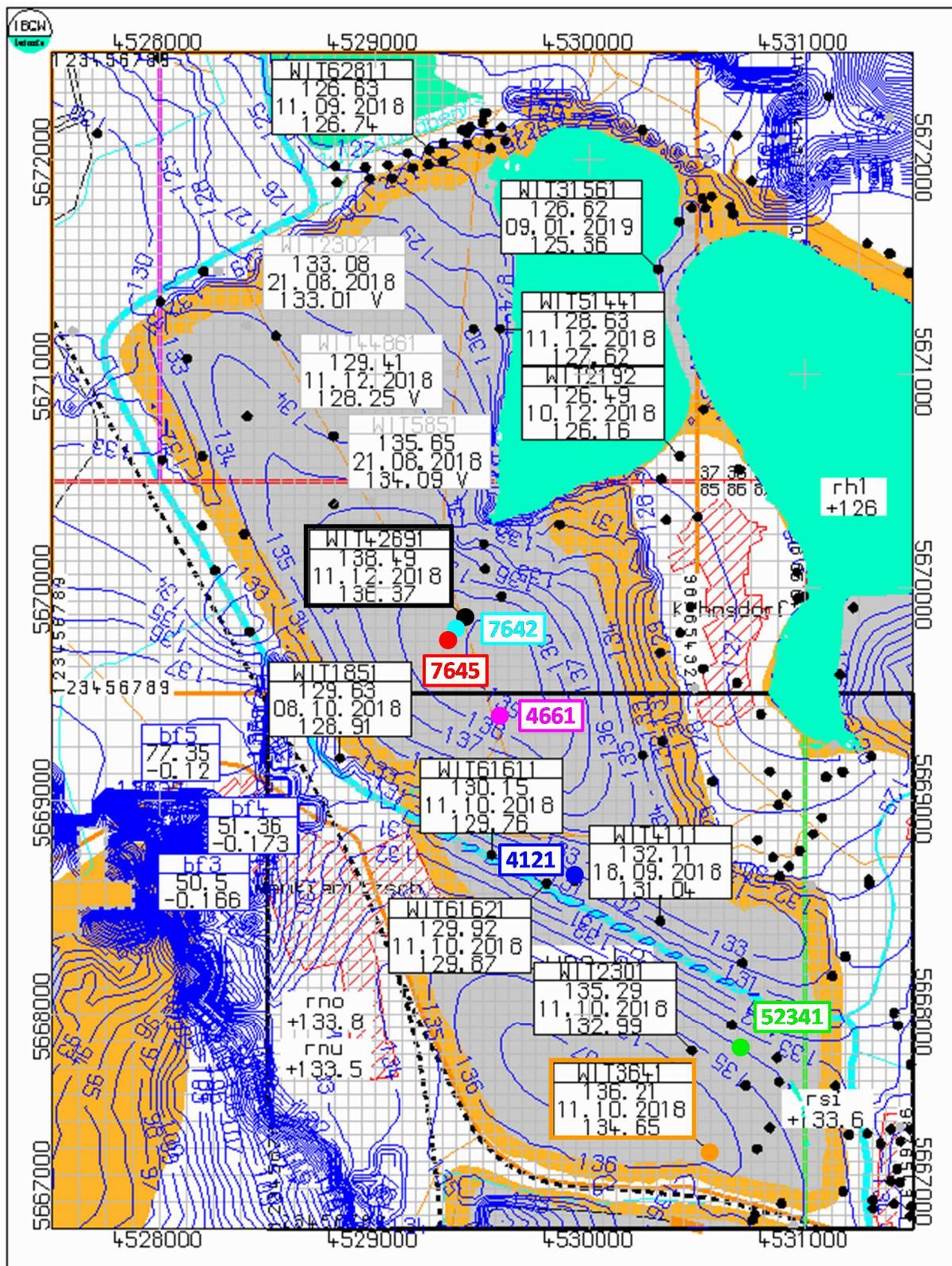


Abb. 6-12 Berechneter Hydroisohypsenplan für die Jahresscheibe 2019 (1/2019) mit neu errichteten Pegeln 7642 und 7645 sind rot markiert

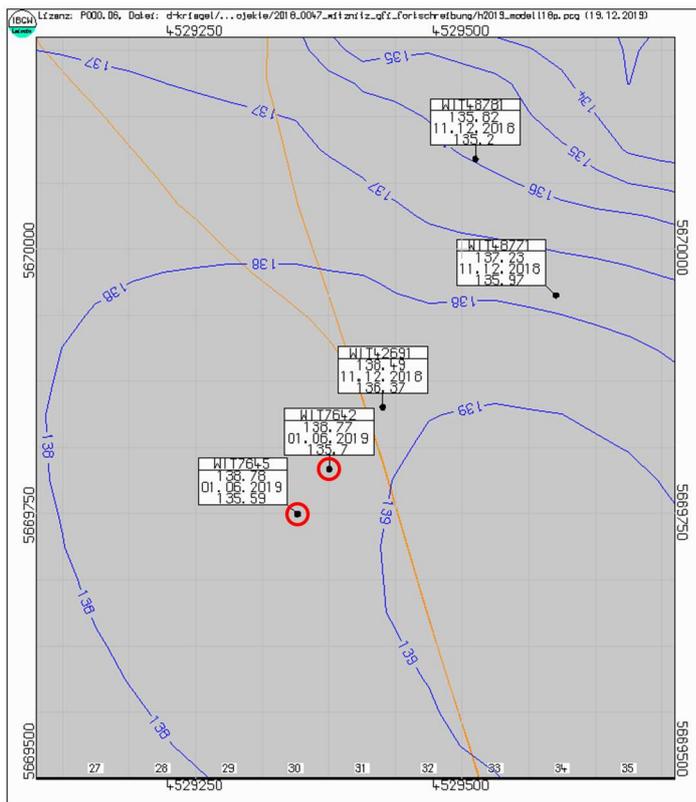


Abb. 6-13 Detaildarstellung, Berechneter Hydroisohypsenplan für die Jahresscheibe 2019 (1/2019), neu errichtete Pegel sind rot markiert

Für die Prognose (**Abb. 6-15**) ergibt sich damit ein unterschiedliches Ausgangsniveau. Die klimatischen Abweichungen der Jahre 2018 und 2019 in Form von geringen Niederschlagsmengen sowie hohen Verdunstungsleistungen schlagen sich besonders deutlich in den Messwerten der neu errichteten Pegel 7642 und 7645 nieder (vgl. **Abb. 6-14**). Hier sind modellseitig Abweichungen von bis zu 3 m zu verzeichnen.

Um eine Präzisierung der Kalibrierung sowie der Prognoseergebnisse zu erreichen, ist eine Kalibrierung mit einer bis 2019 fortgeschriebenen Klimazeitreihe empfehlenswert.

Eine Ganglinienseparation zum Nachweis der Grundwasserneubildungsreduzierung durch eine erhöhte Verdunstungsleistung der Luzerne ist unter dem Einfluss der besonders trockenen Jahre 2018 und 2019 nicht verlässlich. Der Einfluss der Verdunstung durch Luzerne ist von dem des Niederschlagsmangels nicht klar zu trennen.

Eine belastbare Aussage zur Güte der Modellprognosen lässt sich erst nach einer weiteren Fortschreibung der Messreihen treffen.

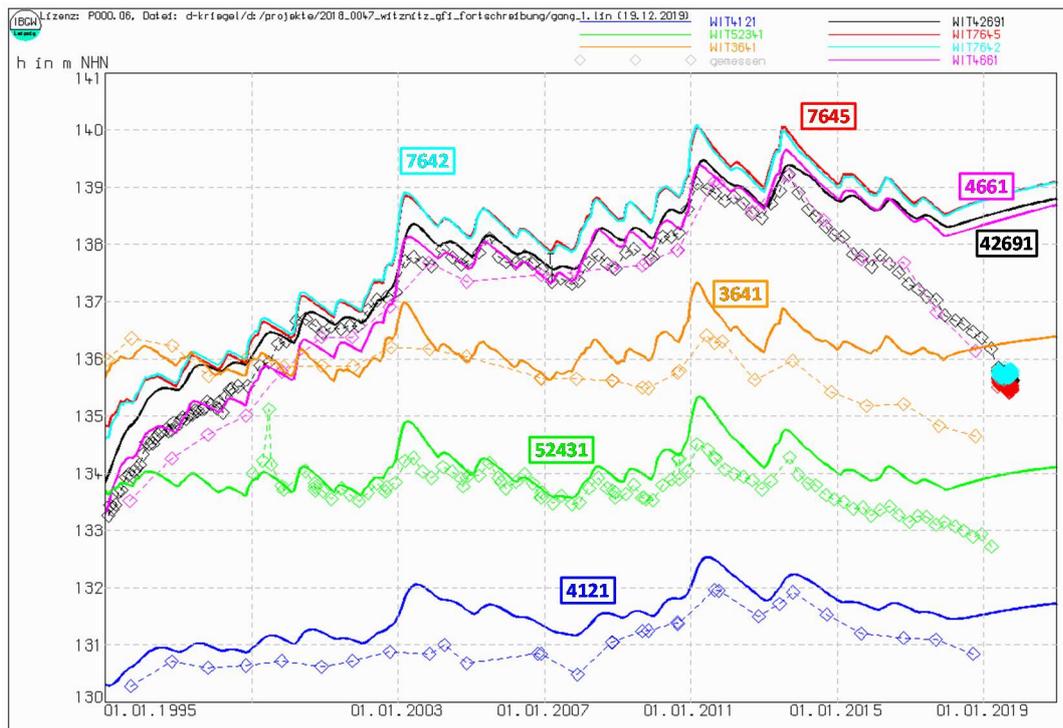


Abb. 6-14 Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen im Kippengebiet Witznitz; 3641 und 52341 im Südanstrom zur Pleiße, 4661 und 4121 im Nordanstrom zur Pleiße, 7642, 7645 und 42691 auf der Kippe während des Kalibrierungszeitraums

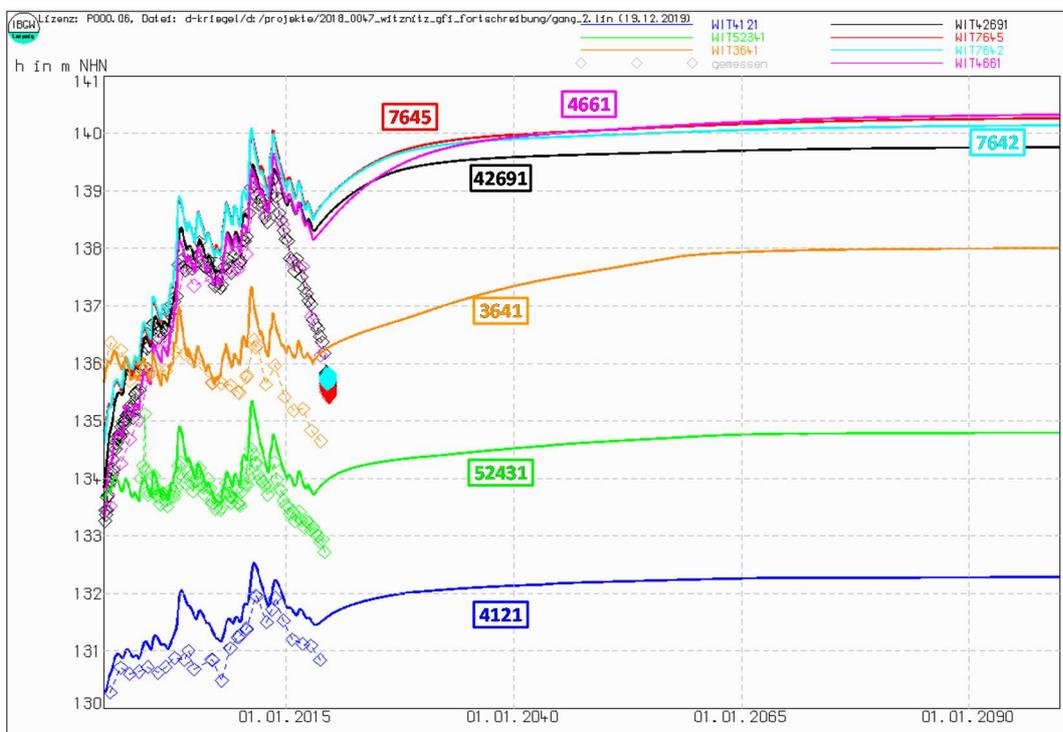


Abb. 6-15 Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen im Kippengebiet Witznitz; 3641 und 52341 im Südanstrom zur Pleiße, 4661 und 4121 im Nordanstrom zur Pleiße, 7642, 7645 und 42691 auf der Kippe; Kalibrierungs- und Prognosezeitraum bis zur Einstellung stationärer Strömungsverhältnisse

7 Zusammenfassung

Die großtechnische Umsetzung der Erfahrungen des Pilotversuches begann 2014 mit der Luzerneaussaat auf den Teilflächen A bis D und 2015 auf der Teilfläche E. Somit stehen für die Bewertung fünf volle Vegetationsperioden zur Verfügung. Auf der Lysimeterstation Brandis wurden parallel die Lysimeter 14/2 und 14/4 mit Luzerne/Knautgras bzw. reiner Luzerne betrieben. Im Jahr 2018 erfolgt dann aufgrund des schlechten Bestandes eine Umwidmung zu Mais. Die 12er und 13er Lysimeter dienen als Referenzlysimeter.

Auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche wurden 8 Kontrollpunkte in das Untersuchungsprogramm einbezogen. Die Versuchsfläche VF1 wird seit 2017 nicht mehr bewertet.

Auf der **landwirtschaftlichen Nutzfläche** wurden 2019 insgesamt 4 Ernten durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen lassen sich folgende Kernaussagen treffen:

- Die Erntemenge war mit durchschnittlich 450 dt FM/ha der zweitniedrigste Wert seit Beginn des Großversuchs.
- Im Vergleich dazu lagen die höchsten Erträge 2017 bei 792,3 dt FM/ha (5 Ernten).
- Grund für die geringen Erträge war wiederum das trockene Jahr 2019, in welchem nur etwa 85 % (Brandis) des langjährigen mittleren Niederschlags gefallen sind.
- Die Trockenmassen-Erträge auf den Kontrollflächen K7 und K8 (133 dt TM/ha) lagen 2019 geringfügig den Werten der Kontrollflächen K1 bis K6 (137 dt TM/ha).
- Die mittleren TM-Erträge von reiner Luzerne auf den bewirtschafteten Nutzflächen (K1 bis K8) beträgt für den Zeitraum 2014 – 2019 etwa 134 dt TM/ha und entspricht etwa der Erträgen auf der früheren Versuchsfläche (2009 – 2016) mit etwa 131 dt TM/ha.
- Die Erträge auf den Kontrollflächen der Bewirtschaftungsflächen lassen hinsichtlich der 2014 durchgeführten Meliorationsarbeiten keine eindeutigen Schlussfolgerungen zu.
- Die Erträge auf den gekalkten Flächen waren gegenüber der nicht gekalkten Flächen etwas höher. Unterschiede zwischen den tiefengelockerten Bereichen und nicht tiefengelockerten Bereichen war nicht erkennbar.

Auf den **Lysimetern** wurde im April 2019 der die Zwischenbegrünung Phacelia entfernt und Mais gesät. Die Ernte erfolgte im September. Im Oktober 2019 wurden erneut Luzerne ausgesät. Die an den Lysimetern gemessenen Sickerwassermengen betragen im Jahr 2019

- Lys. 14/4 10,2 mm (Phacelia – Mais – Luzerne)
- Lys. 14/2 8,3 mm (Phacelia – Mais – Luzerne)
- Lys. 12/1 47,1 mm (Winterweizen - Winterraps)
- Lys. 12/2 53,1 mm (Winterweizen - Winterraps)
- Lys. 12/3 30,3 mm (Winterweizen - Winterraps)

Die Ergebnisse der letzten acht Jahre zeigen, dass nicht zuletzt die stark differenzierten Erträge auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche und den Lysimetern (letztere wurden mit dem Jahresbericht 2016 zur modellgestützten Wirkungsprognose der Maßnahme am Schutzgut Pleiße verwendet) eine Quantifizierung der effektiven Minderung der GW-Neubildung im Kippenkörper erschweren. Vergleicht man die seit Juli 2013 bis Dezember 2018 gemessenen Sickerwassermengen der mit Luzerne bzw. Knautgras-Luzerne bewirtschafteten 14er Lysimeter und der konventionell betriebenen 12er Lysimeter, so ergeben summarisch folgende Mengen:

14/2	275,4 mm (Knautgras-Luzerne)
14/4	182,2 mm (Luzerne)
12er	226 mm (Mittelwert).

Die Sickerwassermengen der Luzerne-Lysimeter unterscheiden sich kaum zu den konventionell betriebenen Lysimetern. Die Gründe dafür sind u. a.

- ungünstige Witterungsbedingungen und Trockenschäden,
- bevorzugte Sickerwasserwege an der Lysimeterwandung oder in Schrumpfrissen,
- erhöhter Fremdbewuchs,
- begrenzte Durchwurzelungstiefen.

Eine angestrebte Minderung der Sickerwassermenge auf 25 % gegenüber Getreide ist somit aus den vorliegenden Lysimeter-Ergebnissen bisher noch nicht ersichtlich. Der Vergleich der seit 2009 ermittelten TM-Erträge zeigt jedoch, dass die Erträge auf den Kontrollflächen im Mittel mit 134 dt TM/ha mehr als 60 % höher sind, als auf den Lysimetern mit nur 82 dt TM/ha. Es ist davon auszugehen, dass die Aufwuchsbedingungen auf den Kippenflächen besser sind, so dass es dort zu einer höheren Evapotranspiration, d. h. einem höheren Sickerwasserrückhalt kommt. Daher wurde 2019 ein Sondermessprofil auf der Kippe errichtet, an welchem die Wirkung des Sickerwassereinflusses auf die GW-Neubildung untersucht wird. Hierbei wird an drei Standorten die Bodenfeuchte und Saugspannung in 1,0 m und 2,5 m Tiefe gemessen. Nach Errichtung des Sondermessprofils wurde Ende 2019 ein 2D-Bodenwasserhaushaltsmodell erstellt und vorkalibriert. Seither wird das Modell anhand der Messdaten kontinuierlich verifiziert. Aufgrund der anhaltenden Trockenheit konnte die Feinkalibrierung des Modells, insbesondere des tieferen Beobachtungspunktes, nur ungenügend erfolgen. Deshalb im 1. Halbjahr 2020 die Durchführung von In-Situ-Versickerungsversuchen an zwei der drei Standorte geplant. Die Feinkalibrierung wird anhand der Ergebnisse der geplanten Infiltrationsversuche fortgeführt.

8 Literatur

- [1] BfG (2003): BAGLUVA-Wasserhaushaltsverfahren zur Berechnung vieljähriger Mittelwerte der tatsächlichen Verdunstung und des Gesamtabflusses, BfG-1342, 2003
- [2] Merkblatt DWA-M 504-1 (2018): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen – Teil 1: Grundlagen, experimentelle Bestimmung der Landverdunstung, Gewässerverdunstung, Juli 2018
- [3] Merkblatt ATV-DVWK-M 504 (2002): Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden, September 2002
- [4] Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland, 5. Aufl., 438 S., Hannover.
- [5] Ritchie, J. T. (1972): Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resources Research Vol. 8, No. 5, p. 1204-1213, Oktober 1972
- [6] Feddes, R. A.; Kowalik, P.J.; Zaradny, H.: Simulation of Field Water Use and Crop Yield. Wageningen: Centre for agricultural publishing and documentation, 1978
- [7] Simunek, J., Šejna, M., van Genuchten, M. (1999): The HYDRUS-2D software package for simulating water flow and solute transport in two-dimensional variably saturated media, version 2.0. U.S. Salinity Laboratory USDA, ARS, April 1999
- [8] van Genuchten, M. Th. (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, Vol. 44, p. 892-898.

Anlage 1

**Prüfberichte für
die Bestimmung der Ernteerträge**



GFI Grundwasser-Consulting-Institut GmbH Dresden n
im Grundwasser-Zentrum Dresden

Prüfbericht 19-Witz-002
Auftraggeber: Michaela Rumpel
Interne Auftrags-Nr.: 19-Witz-002
Prüfgegenstand: Biomaterial



Ausstellungsdatum: 24.10.19
Seite 1 von 1

Verfahren: Bestimmung des Trockenrückstandes und des Wassergehalts in Schlamm und Sediment nach DIN EN 12880 und in Boden
DIN ISO 11465
Probeneingang: 06.05.2019 Messdatum: von 08.05.2019 bis 08.05.2019 Probenahme: Kunde

Prüfergebnisse:

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die dem Prüflabor vorliegenden Prüfgegenstände. Unsachgemäßer Zustand des Prüfgegenstandes bei der Anlieferung kann zur eingeschränkten Aussagekraft der Prüfergebnisse führen. Die in den Vorschriften angegebenen Messunsicherheiten werden eingehalten. Veröffentlichungen, auch auszugsweise nur mit Zustimmung des Prüflabors.

Parameter	Einheit	Proben-Nr.			
		19/_0364	19/_0365	19/_0366	19/_0367
Trockenmasse	%	1	2	3	4
		17,2	18,0	19,0	22,1
Parameter	Einheit	Proben-Nr.			
		19/_0369	19/_0370	19/_0371	
Trockenmasse	%	6	7	8	
		19,1	19,4	18,0	

Mit freundlichen Grüßen

Dipl.-Chem. Lorina Schmalz
(tech. Laborleiterin, stellvert. QMB)

Legende: n.n. - nicht nachgewiesen (<Nachweisgrenze) k.Probe - keine Probe
<Zahl - nachgewiesen, nicht bestimmbar (<Bestimmungsgrenze) n.a. - nicht analysiert
TM - Trockenmasse
Korngröße für Bodenanalyse < 2 mm



GFI Grundwasser-Consulting-Institut GmbH Dresden n
im Grundwasser-Zentrum Dresden

Prüfbericht 19-Witz-004
Auftraggeber: Michaela Rumpel
Interne Auftrags-Nr.: 19-Witz-004
Prüfgegenstand: Biomaterial



Ausstellungsdatum: 24.10.19
Seite 1 von 1

Verfahren: Bestimmung des Trockenrückstandes und des Wassergehalts in Schlamm und Sediment nach DIN EN 12880 und in Boden
DIN ISO 11465
Probeneingang: 03.07.2019
Messdatum: von 04.07.2019 bis 04.07.2019
Probenahme: Kunde

Prüfergebnisse:

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die dem Prüflabor vorliegenden Prüfgegenstände. Unsachgemäßer Zustand des Prüfgegenstandes bei der Anlieferung kann zur eingeschränkten Aussagekraft der Prüfergebnisse führen. Die in den Vorschriften angegebenen Messunsicherheiten werden eingehalten. Veröffentlichungen, auch auszugsweise nur mit Zustimmung des Prüflabors.

Parameter	Einheit	Proben-Nr.				
		19/0612	19/0613	19/0614	19/0615	19/0616
Trockenmasse	%	K1	K2	K3	K4	K5
		33,8	31,8	39,3	41,5	38,6
Parameter	Einheit	Proben-Nr.				
		19/0617	19/0618	19/0619		
Trockenmasse	%	K6	K7	K8		
		37,5	41,7	39,7		

Mit freundlichen Grüßen

Dipl.-Chem. Lorina Schmalz
(tech. Laborleiterin, stellvert. QMB)

Legende: n.n. - nicht nachgewiesen (<Nachweisgrenze) k.Probe - keine Probe
<Zahl - nachgewiesen, nicht bestimmbar (<Bestimmungsgrenze) n.a. - nicht analysiert
TM - Trockenmasse
Korngröße für Bodenanalyse < 2 mm



Verfahren: Bestimmung des Trockenrückstandes und des Wassergehalts in Schlamm und Sediment nach DIN EN 12880 und in Boden
DIN ISO 11465
Probeneingang: 19.08.2019 Messdatum: von 21.08.2019 bis 21.08.2019 Probenahme: Kunde

Prüfergebnisse:

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die dem Prüflabor vorliegenden Prüfgegenstände. Unsachgemäßer Zustand des Prüfgegenstandes bei der Anlieferung kann zur eingeschränkten Aussagekraft der Prüfergebnisse führen. Die in den Vorschriften angegebenen Messunsicherheiten werden eingehalten. Veröffentlichungen, auch auszugsweise nur mit Zustimmung des Prüflabors.

Parameter	Einheit	Proben-Nr.			
		19/_0845	19/_0846	19/_0847	19/_0848
Trockenmasse	%	K1	K2	K3	K4
		33,4	29,0	28,2	26,0
Parameter	Einheit	Proben-Nr.			
		19/_0850	19/_0851	19/_0852	19/_0849
Trockenmasse	%	K6	K7	K8	K5
		27,2	27,3	29,7	31,9

Mit freundlichen Grüßen

Dipl.-Chem. Lorina Schmalz
(tech. Laborleiterin, stellvert. QMB)

Legende: n.n. - nicht nachgewiesen (<Nachweisgrenze) k.Probe - keine Probe
<Zahl - nachgewiesen, nicht bestimmbar (<Bestimmungsgrenze) n.a. - nicht analysiert
TM - Trockenmasse
Korngröße für Bodenanalyse < 2 mm

Anlage 2

Bilddokumentation 2019



Beginnender Aufwuchs auf der Fläche A am 12.03.2019



Beginnender Aufwuchs auf der Fläche C am 12.03.2019



Beginnender Aufwuchs auf Fläche D am 12.03.2019



Beginnender Aufwuchs auf Fläche E am 12.03.2019



Mäßiger Aufwuchs mit viel Fremdwuchs auf Fläche A am Kontrollpunkt K1 am 09.04.2019



Sehr guter Aufwuchs auf Fläche C am Kontrollpunkt K5 am 09.04.2019



Sehr viel Fremdwuchs auf Fläche D am Kontrollpunkt K2 am 09.04.2019



Sehr guter Aufwuchs auf Fläche E am Kontrollpunkt K8 am 09.04.2019



Viel Fremdwuchs auf Fläche A am Kontrollpunkt K1 am 06.05.2019 (1. Ernte)



Sehr guter Aufwuchs auf Fläche C am Kontrollpunkt K4 am 06.05.2019 (1. Ernte)



Sehr guter Aufwuchs auf Fläche D am Kontrollpunkt K2 am 06.05.2019 (1. Ernte)



Sehr guter Aufwuchs auf Fläche E am Kontrollpunkt K8 am 06.05.2019 (1. Ernte)



Nach 1. Ernte mäßiger Aufwuchs auf Fläche A am Kontrollpunkt K1 am 05.06.2019



Nach 1. Ernte relativ guter Aufwuchs auf Fläche C am Kontrollpunkt K4 am 05.06.2019



Nach 1. Ernte mäßiger Aufwuchs auf Fläche D am Kontrollpunkt K3 am 05.06.2019



Nach 1. Ernte mäßiger Aufwuchs auf Fläche E am Kontrollpunkt K8 am 05.06.2019



Sehr guter Aufwuchs auf Fläche A am Kontrollpunkt K1 am 20.06.2019



Sehr guter Aufwuchs auf Fläche C am Kontrollpunkt K6 am 20.06.2019



Sehr guter Aufwuchs auf Fläche D am Kontrollpunkt K3 am 20.06.2019



Sehr guter Aufwuchs auf Fläche E am Kontrollpunkt K7 am 20.06.2019



Stark vertrocknete Luzerne auf Fläche C am Kontrollpunkt K4 am 02.07.2019 (3. Ernte)



Karger Bewuchs auf Fläche C am Kontrollpunkt K5 am 02.07.2019 (3. Ernte)



Karger Bewuchs auf Fläche D am Kontrollpunkt K3 am 02.07.2019 (3. Ernte)



Karger Bewuchs auf Fläche E am Kontrollpunkt K8 am 02.07.2019 (3. Ernte)



Blühende Luzerne auf der Fläche A am Kontrollpunkt K1 am 14.08.2019



Blühende Luzerne auf der Fläche C am Kontrollpunkt K6 am 14.08.2019



Blühende Luzerne auf der Fläche D am Kontrollpunkt K3 am 14.08.2019



Sehr guter Aufwuchs auf der Fläche E am Kontrollpunkt K7 am 14.08.2019



Fläche A am Kontrollpunkt K1 am 19.08.2019 (4. Ernte)



Fläche C am Kontrollpunkt K4 am 19.08.2019 (4. Ernte)



Fläche D am Kontrollpunkt K3 am 19.08.2019 (4. Ernte)



Fläche E am Kontrollpunkt K7 am 19.08.2019 (4. Ernte)



Guter Aufwuchs auf Fläche A am Kontrollpunkt K1 nach 4. Ernte am 15.10.2019



Guter Aufwuchs auf Fläche C am Kontrollpunkt K4 nach 4. Ernte am 15.10.2019



Guter Aufwuchs auf Fläche D am Kontrollpunkt K3 nach 4. Ernte am 15.10.2019



Guter Aufwuchs auf Fläche E am Kontrollpunkt K8 nach 4. Ernte am 15.10.2019