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

Großtechnische Umsetzung der Erfahrungen des Pilotversuchs Witznitz zur Reduzierung der Eiseneinträge in die Pleiße

Jahresbericht 2017

Luzernekultur auf der Kippe Witznitz im Jahr 2017

Dresden, August 2018

Titel	**Großtechnische Umsetzung der Erfahrungen des Pilotversuchs Witznitz zur Reduzierung der Eiseneinträge in die Pleiße** **Jahresbericht 2017**
Auftraggeber	**LMBV** Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH Knappenstraße 1, 01968 Senftenberg LMBV Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
Auftragnehmer	GFI Grundwasser-Consulting-Institut GmbH Dresden Meraner Str. 10, 01217 Dresden GFI Grundwasser-Consulting-Institut GmbH Dresden im Grundwasser-Zentrum Dresden
Auftragsnummer	40048735 vom 02.12.2013 mit Änderung vom 23.03.2017
Bearbeiter	Dipl.-Ing. M. Rumpel / Dipl.-Ing. S. Raimann Dr.-Ing. R. Giese Prof. Dr.-Ing. habil. U. Beims
Mitarbeit	Dr.-Ing. H. Mansel — IBGW GmbH Leipzig Dipl.-Hydrol. D. Kriegel — IBGW GmbH Leipzig Dr. U. Haferkorn — BfUL Brandis Dipl.-Hydrol. Anke Winkler — BfUL Brandis
Datum	Dresden, August 2018

Dr. R. Giese (Projektleiter)	Dr. F. Bilek (Geschäftsführer)

DGFZ e.V.
Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V.
Meraner Str. 10; 01217 Dresden
Tel.: 0351 / 40506-70; Fax: -79
VR210 Amtsgericht Dresden

GFI GmbH Dresden
GFI Grundwasser-Consulting-Institut GmbH Dresden
Meraner Str. 10; 01217 Dresden
Tel.: 0351 / 4050660; Fax: -69
HRB 10748 Amtsgericht Dresden

GIP GmbH Dresden
GIP Grundwasser-Ingenieurbau-Planung GmbH Dresden
Meraner Str. 10, 01217 Dresden
Tel.: 0351 / 40506-30; Fax: -39
HRB 28040, Amtsgericht Dresden

ARGE Gewässersanierung LMBV
Steuernummer: 203/150/29490
Bankverbindung: Deutsche Kreditbank AG, IBAN: DE08120300001020138416, BIC BYLADEM1001

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis **5**

Tabellenverzeichnis **6**

Anlagenverzeichnis **6**

Abkürzungsverzeichnis **7**

1 Veranlassung **8**

2 Zusammenstellung der Arbeiten **10**

3 Auswertung der Monitoringergebnisse **12**

3.1 Festlegung der Kontrollflächen 12

3.2 Ernteerträge der Kontrollflächen 13

3.3 Ernteerträge der Lysimeter (BfUL) 14

3.4 Vergleich der Ernteerträge 19

3.5 Phänologie 21

3.5.1 Wuchshöhen von Luzerne auf den Kontrollflächen 21

3.5.2 LAI für Luzerne auf den Kontrollflächen 21

3.5.3 Wuchshöhen auf den Lysimetern 21

3.5.4 LAI für Luzerne und Knaulgras auf den Lysimetern 23

3.6 Klima 23

3.7 Bodenwasserhaushalt an den Lysimetern 26

4 Sanierungswirksame Umsetzung der Ergebnisse des Pilotversuches **32**

5 Laufendhaltung der Modelle **35**

5.1 Modellkalibrierung Wasserhaushaltsmodell 35

5.2 Grundwassermodell 36

6 Zusammenfassung **40**

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1 Lage der Kontrollpunkte K1 bis K8 auf den Bewirtschaftungsflächen A bis E im Südbereich sowie F und E im Nordbereich der Kippe 12
Abb. 3-2 Darstellung der Frischmassenerträge von Luzerne, Knaulgras bzw. Luzerne/Knaulgras auf den Lysimetern in [dt FM/ha] gem. Tab. 3-6 17
Abb. 3-3 Ernteerträge Knaulgras bzw. Knaulgras/Luzerne auf den Versuchsflächen und Lysimetern 19
Abb. 3-4 Ernteerträge Luzerne auf den Versuchsflächen und den Lysimetern 19
Abb. 3-5 Ernteerträge Luzerne auf den Bewirtschaftungsflächen (K1 bis K8) 20
Abb. 3-6 Wuchshöhe Luzerne auf den Kontrollflächen K1-K6 (Mittelwert) und K7-K8 (Mittelwert) 21
Abb. 3-7 Wuchshöhen für verschiedene Kulturen auf den Lysimetern von 2009 – 2017 22
Abb. 3-8 LAI - Wert für die 14er Lysimeter 2009 - 2017 23
Abb. 3-9 Niederschläge in Brandis und Witznitz 24
Abb. 3-10 Lufttemperatur in Brandis und Witznitz 24
Abb. 3-11 Potenzielle Verdunstung in Brandis und Witznitz nach Turc-Wendling 25
Abb. 3-12 Klimatische Wasserbilanz in Brandis und Witznitz 25
Abb. 3-13 Darstellung der realen Verdunstung auf den 12er Lysimetern 26
Abb. 3-14 Darstellung der realen Verdunstung auf den 14er Lysimetern 27
Abb. 3-15 Darstellung der Bodenwasserausschöpfung der 12er Lysimeter 28
Abb. 3-16 Darstellung der Bodenwasserausschöpfung der 14er Lysimeter 29
Abb. 3-17 Darstellung der Sickerwassermengen auf den 12er Lysimetern 30
Abb. 3-18 Darstellung der Sickerwassermengen auf den 14er Lysimetern 30
Abb. 4-1 Plan der Luzerneanbaufläche im Südbereich der Kippe (Quelle: LMBV) 32
Abb. 4-2 Umgesetzte Meliorationsmaßnahmen auf der Grundlage des G.U.B.-Bodengutachtens (2013) 33
Abb. 5-1 Gegenüberstellung der berechneten und der gemessenen kumulierten Sickerwassermengen für das Knaulgras bzw. Knaulgras/Luzerne-Lysimeter 14/2 sowie der korrigierte Niederschlag (Tageswert Station Brandis) 35
Abb. 5-2 Gegenüberstellung der berechneten und der gemessenen kumulierten Sickerwassermengen für das Knaulgras bzw. Luzerne-Lysimeter 14/4 sowie der korrigierte Niederschlag (Tageswert Station Brandis) 36
Abb. 5-3 Berechneter Hydroisohypsenplan für die Jahresscheibe 2017 (10/2017) 38
Abb. 5-4 Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen im Kippengebiet Witznitz; 3641 und 52341 im Südanstrom zur Pleiße, 4661 und 4121 im Nordanstrom zur Pleiße (Darstellung bis 10/2017) 39
Abb. 5-5 Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen im Kippengebiet Witznitz; 3641 und 52341 im Südanstrom zur Pleiße, 4661 und 4121 im Nordanstrom zur Pleiße (Darstellung bis 01/2100) 39

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1 Übersicht zur Bewirtschaftung der Lysimeter in Brandis und Witznitz von 2009 bis 2017 10
Tab. 3-1 Ernteerträge bezogen auf Frischmasse 2017 in [dt FM/ha] 13
Tab. 3-2 Ernteerträge bezogen auf Trockenmasse 2017 in [dt TM/ha] 13
Tab. 3-3 Bewirtschaftung der Lysimeter 12/1 bis 12/3 14
Tab. 3-4 Bewirtschaftung der Lysimeter 14/2 und 14/4 15
Tab. 3-5 Ernteerträge Frischmasse FM auf den Lysimetern in dt FM/ha von 2009 bis 2017 (Knaulgras, Knaulgras-Luzerne-Gemisch und Luzerne) 16
Tab. 3-6 Trockenmassenerträge im Jahr 2017 auf den 14er Lysimetern in [dt TM/ha] (Quelle: Lysimeterstation Brandis) 18
Tab. 3-7 Verdunstungshöhen auf den Lysimetern für die verschiedenen Anbaukulturen von 2010 bis 2017 28

Anlagenverzeichnis

Anlage 1 Prüfberichte und Probendurchlaufzettel für die Bestimmung der Ernteerträge

Anlage 2 Bilddokumentation

Anlage 3 Gesprächsnotiz vom 05.10.2017

Anlage 4 Vorschlag für die Erfolgskontrolle und Prognosenfortschreibung der Kippenbewirtschaftung Witznitz zur Reduzierung der Eiseneinträge in die Pleiße

Abkürzungsverzeichnis

α	Van-Genuchten-Parameter (1/α entspricht der kapillaren Steighöhe)
BfUL	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
BW	Bodenwasser
Ca	Calcium
ET_0	Grasreferenzverdunstung
ET_a	reale (aktuelle) Evapotranspiration
ET_P	potentielle Evapotranspiration
f	Bestandsfaktor
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	Knaulgras
LAI	Blattflächenindex (engl. Leaf area index)
LMBV	Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
Lu	Luzerne
Lys	Lysimeter
M	Mais
Mg	Magnesium
MIBRAG	Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH
n	Van-Genuchten-Paramter (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 (Knaulgras-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 Versuchsparzellen 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 Dauergrünlandanbaus 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 Dauergrünlandanbau 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 Bearbeitungsetappe 3 als Großversuch unter Einbeziehung des Flächeneigentümers fortzuführen, da keine Möglichkeiten gesehen werden, über regionalplanerische Instrumente steuernd die Sicherung von Flächen zur Dauergünlandbewirtschaftung 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 2017 wurde das GFI durch die LMBV mit der Bestellung 45048735 und Änderung vom 23.03.2017 mit der Weiterführung des Feldversuchs beauftragt. Der vorliegende Bericht dokumentiert ebenfalls die Aktivitäten und wichtigsten Monitoringergebnisse des Jahres 2017.

2 Zusammenstellung der Arbeiten

Zum besseren Verständnis der Bewirtschaftung aller Lysimeter sind in ***Tab. 2-1*** die landwirtschaftlichen Kulturen vom Versuchsbeginn 2009 bis 2018 angegeben.

Tab. 2-1 Übersicht zur Bewirtschaftung der Lysimeter in Brandis und Witznitz von 2009 bis 2017

	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	Lu *(Kompost entfernt; Neuaussaat)*	Lu *(3 l/m² Gärreste)*	Lu *(3 l/m² Gärreste)*	Kg/Lu (80/20)	Lu *(Kompost entfernt; Neuaussaat)*
2014	M	M	M	Lu *(2 l/m² Gärreste)*	Lu *(2 l/m² Gärreste)*	Kg/Lu (80/20)	Lu
2015	Ww	Ww	Ww	M *(3 l/m² Gärreste)*	M *(3 l/m² 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	Kg/Lu	Lu

Lu…Luzerne, Wr….Winterraps, Ww…Winterweizen, Wg…Wintergerste, Kg…Knaulgras, 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 lassen sich hier keine Sickerwassermengen ermitteln, sondern nur einige Elemente des Bodenwasserhaushaltes und die Ernteerträge.

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. Auf den Versuchsflächen ***VF1-1 bis VF1-3*** befand sich bis 2016 ein ***Knaulgras-Luzerne-Bestand***. 2017 wurden die Versuchsflächen aufgegeben.

Im ***Jahr 2017*** wurden folgende wichtige Aktivitäten durchgeführt und Aufgaben gelöst:

1) Es wurden insgesamt ***13 Vor-Ort-Termine*** auf den Versuchsflächen realisiert, an denen unter anderen Frischmasse geerntet, Wuchsparameter bestimmt und gedüngt wurde. 30.03.2017, 03.05.2017, 05.05.2017, 08.05.2017, 06.06.2017, 15.06.2017, 06.07.2017, 26.07.2017, 31.07.2017, 30.08.2017, 04.09.2017, 11.09.2017, 05.10.2017
2) Es erfolgten ***5 Ernten*** auf den Kontrollflächen und 4 Ernten auf den Lysimetern, wo am 05.10.2017 kein Bewuchs mehr vorhanden war.
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 Winterraps angebaut.
5) Mit der Osterland Agrar GmbH wurden die Erntetermine sowie die Weiterführung des großtechnischen Versuches abgestimmt.
6) Zu den jeweils aktuellen Problemen erfolgten im Rahmen der vor-Ort-Termine und weiterer gesonderter Termine ***9 Beratungen*** mit der

Lysimeterstation Brandis	17.02.2017, 05.05.2017
IBGW Leipzig	13.09.2017, 11.10.2017
Osterland Agrar GmbH	06.06.2017, 26.07.2017, 03.10.2017
LMBV mbH	10.01.2017, 09.10.2017

7) Im Rahmen der Wasserhaushaltsmodellierung wurden 2017 die Datensätze für Klima, Wasserhaushalt und Aufwuchs aktualisiert.
8) Durch das IBGW erfolgte 2017 die Einpflegung aktueller Grundwasserstände, die Aktualisierung des Flutungsszenarios für den Kahnsdorfer See sowie die Ausweisung von berechneten Hydroisohypsen und Grundwasserganglinien.
9) Zusätzlich wurden durch das GFI im Zuge der Aktualisierung der Wasserhaushaltsmodelle (HYDRUS) Fruchtfolgeszenarien berechnet, die den Sickerwassertransfer tiefenabhängig ausweisen.
10) Die Ergebnisse aus der Wasserhaushaltsmodellierung wurden in das GW-Modell implementiert und die Entwicklung der GW-Stände auf der Kippe Witznitz szenarienabhängig berechnet.

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. Die Lage der Kontrollflächen ist in der ***Abb. 3-1*** dargestellt.

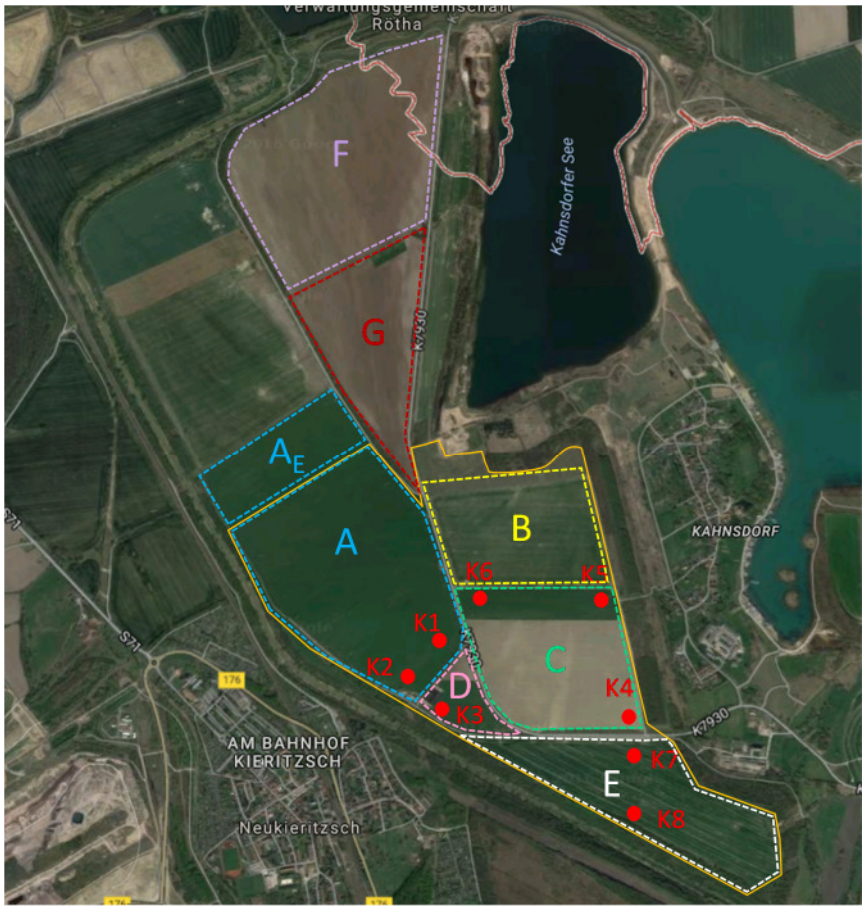

Abb. 3-1 Lage der Kontrollpunkte K1 bis K8 auf den Bewirtschaftungsflächen A bis E im Südbereich sowie F und E im Nordbereich der Kippe

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.

3.2 Ernteerträge der Kontrollflächen

Auf den Kontrollflächen (K) wurden 2017 die in ***Tab. 3-1*** und ***Tab. 3-2*** zusammengestellten Erträge in Frischmasse (FM) und Trockenmasse (TM) erzielt.

Tab. 3-1 Ernteerträge bezogen auf Frischmasse 2017 in [dt FM/ha]

	1. Ernte	2. Ernte	3. Ernte	4. Ernte	5. Ernte *)	Summe
K1	376,5	179,0	186,8	140,8	43,6	***926,6***
K2	287,4	248,9	164,0	153,6	43,6	***897,5***
K3	271,7	154,6	172,0	102,4	43,6	***744,2***
K4	289,8	165,3	147,6	133,6	31,9	***768,3***
K5	367,8	252,7	122,0	136,4	31,9	***910,8***
K6	300,8	104,2	132,0	119,6	31,9	***688,6***
K7	347,2	129,2	119,2	93,2	25,0	***713,8***
K8	306,6	119,9	156,8	80,0	25,0	***688,4***

*) für die 5. Ernte konnten nur 3 Proben genommen werden, die jeweils repräsentativ für K1-K3, K4-K6 und K7-K8 sind

Tab. 3-2 Ernteerträge bezogen auf Trockenmasse 2017 in [dt TM/ha]

	1. Ernte	2. Ernte	3. Ernte	4. Ernte	5. Ernte	Summe
K1	57,2	29,5	57,9	24,5	6,1	***175,2***
K2	47,4	38,8	71,1	28,5	6,1	***191,9***
K3	43,7	32,4	62,4	20,2	6,1	***164,9***
K4	49,9	32,4	66,0	29,0	8,7	***185,8***
K5	59,6	43,6	45,5	26,2	8,7	***183,5***
K6	49,0	24,9	57,0	23,4	8,7	***163,0***
K7	53,8	29,5	26,9	13,9	6,9	***131,0***
K8	46,3	30,0	33,8	14,2	6,9	***131,3***

Die vergleichende Auswertung der ***Frischmassenerträge*** zeigt mit durchschnittlich 792 dt/ha einen sehr hohen Wert. Im Vergleich dazu lag der Wert 2015 bei 586 dt/ha und 2016 bei 649 dt/ha, was für die drei Vegetationsjahre 2015-2017 einen Mittelwert von

676 dt FM/ha

ergibt.

Der ***Trockenmasseanteil*** lag zwischen 21,0 und 22,7 %, woraus sich ein Wert von

147 dt TM/ha

ergibt.

Die Werte liegen etwas über den ***Erträgen auf den Versuchsflächen VF1-4 bis VF1-6*** für die Jahre 2009 bis 2016 mit

612 dt FM/ha und

138 dt TM/ha.

Der ***Trockenmasseanteil*** im Jahr 2017 schwankte bei den einzelnen Ernten zwischen ~ 15 % und ~ 39 %. Für die ***Kontrollflächen*** wurden folgende Ergebnisse erreicht:

1. Ernte	K1 bis K6 Luzerne	16,3 %	K7 bis K8 Luzerne	15,3 %
2. Ernte	K1 bis K6 Luzerne	19,0 %	K7 bis K8 Luzerne	23,9%
3. Ernte	K1 bis K6 Luzerne	39,3 %	K7 bis K8 Luzerne	22,2 %
4. Ernte	K1 bis K6 Luzerne	19,4 %	K7 bis K8 Luzerne	16,3 %
5. Ernte	K1 bis K6 Luzerne	21,6 %	K7 bis K8 Luzerne	18,7 %

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

3.3 Ernteerträge der Lysimeter (BfUL)

Bei der Bewirtschaftung der mit Winterweizen bepflanzten Lysimeter 12/1 und 12/3 wurden 2017 folgende Tätigkeiten durchgeführt:

Auf den Lysimetern 12/1 bis 12/3 wurde im Jahr 2017 Winterweizen angebaut. Die Lysimeter sollen auch in den kommenden Jahren mit landwirtschaftlichem Fruchtwechsel betrieben werden, um so einen Erkenntnisvorlauf zu den Auswirkungen des bei Luzerne notwendigen Fruchtwechsels zu gewinnen. Die Arbeiten auf den ***12er Lysimetern*** ist in ***Tab. 3-3*** für das Jahr 2017 zusammengefasst.

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

Datum	Tätigkeiten
18.10.2016	*Start der Bewirtschaftung 2017*
19.10.2016	*Aussaat Winterweizen auf den Lysimetern*
31.10.2016	*Herbizideinsatz*
18.11.2016	*Insektizideinsatz, Mäusebekämpfung*
29.11.2016	*Vegetationsende*
02.03.2017	*N_{min}-Untersuchung*
10.03.2017	*Vegetationsbeginn*
13.03.2017	*1. N-Düngung InnoFert Star, Grunddüngung 60er Kali*
04.04.2017	*Lysimeter z.T. nachgepflanzt*
05.04.2017	*Herbizideinsatz*
12.04.2017	*2. N-Düngung KAS*

Datum	Tätigkeiten
28.04.2017	*Wachstumsregler, Fungizid, Blattdünger*
17.05.2017	*Bewässerung 10 Liter*
17.05.2017	*Wachstumsregler, Fungizid, Insektizid*
24.05.2017	*Bewässerung 10 Liter*
06.06.2017	*Fungizid, Insektizid*
08.06.2017	*3. N-Düngung KAS*
07.08.2017	*Ernte, Stoppelsturz*
08.08.2017	*Herbizideinsatz gegen Windenknöterich*
23.08.2017	*Saatbettbereitung und Aussaat ZF Phacelia*
15.09.2017	*Herbizideinsatz*
30.11.2017	*Vegetationsende*

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
02.03.2017	*N_{min}-Untersuchung*
10.03.2017	*Vegetationsbeginn*
	PK-Düngung
16.05.2017	*Ernte 1. Schnitt*
	PK-Düngung
21.06.2017	*Ernte 2. Schnitt*
	PK-Düngung
02.08.2017	*Ernte 3. Schnitt*
	PK-Düngung
05.09.2017	*Ernte 4. Schnitt*
30.11.2017	*Vegetationsende*

Die beiden 14er Lysimeter wurden in 2017 weiterhin mit einem Luzerne/Knaulgras-Gemisch (14/2) und reiner Luzerne (14/4) betrieben. Die 13er Lysimeter wurde 2017 mit Winterraps 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.

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. Die Ernteerträge auf dem Lysimeter 14/2 lagen ca. 20% und auf dem Lysimeter 14/4 ca. 10% unter den Werten

des Vorjahres. Auffallend sind wie im Vorjahr die guten Erträge bei der 1. Ernte und die starke Verringerung der Erträge ab der 2. Ernte.

Tab. 3-5 Ernteerträge Frischmasse FM auf den Lysimetern in dt FM/ha von 2009 bis 2017 (Knaulgras, Knaulgras-Luzerne-Gemisch und 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 [3)]	93 [3)]	
21.09.09	40 [1)]	39 [1)]	74 [3)]	32 [3)]	sehr vertrocknet
24.11.09	42 [1)]	25 [1)]	---	---	
21.05.10	237 [1)]	140 [1)]	402 [3)]	435 [3)]	
26.07.10	92 [1)]	84 [1)]	118 [3)]	93 [3)]	
30.09.10	159 [1)]	115 [1)]	172 [3)]	155 [3)]	
18.05.11	101 [1)]	66 [1)]	126 [3)]	114 [3)]	starke Vertrocknungen
10.08.11	85 [1)]	77 [1)]	108 [3)]	110 [3)]	
05.10.11	88 [1)]	102 [1)]	75 [3)]	70 [3)]	
21.05.12	77 [1)]	80 [1)]	106 [3)]	111 [3)]	
01.08.12	32 [1)]	32 [1)]	19 [3)]	8 [3)]	
01.10.12	15 [1)]	24 [1)]	1 [3)]	---	
13.06.13	213 [2)]	---	---	---	Neuaussaat April, außer 14/2
26.07.13	68 [2)]	113 [3)]	98 [3)]	173 [3)]	
30.09.13	60 [2)]	68 [3)]	54 [3)]	43 [3)]	
08.05.14	154 [2)]	17 [3)]	---	---	12er Lysimeter mit Mais bepflanzt
02.07.14	114 [2)]	96 [3)]	---	---	
19.08.14	48 [2)]	82 [3)]	---	---	
08.10.14	66 [2)]	96 [3)]	---	---	
20.05.15	44 [2)]	177 [3)]	---	---	12er Lysimeter mit Winter-weizen bepflanzt
17.07.15	63 [2)]	30 [3)]	---	---	
02.09.15	143 [2)]	127 [3)]	---	---	
13.10.15	35 [2)]	53 [3)]	---	---	
18.05.16	209,5 [2)]	240 [3)]	---	---	12er Lysimeter mit Winter-raps bepflanzt
28.06.16	90,5 [2)]	96 [3)]	---	---	
29.08.16	35 [2)]	23 [3)]	---	---	
03.11.16	25,5 [2)]	16 [3)]	---	---	
16.05.17	197 [2)]	205 [3)]	---	---	12er Lysimeter mit Winter-weizen bepflanzt
21.06.17	35,2 [2)]	35 [3)]	---	---	
02.08.17	38,6 [2)]	59 [3)]	---	---	
05.09.17	32,6 [2)]	44 [3)]	---	---	

[1)] Knaulgras [2)] Knaulgras/Luzerne-Gemisch [3)] Luzerne

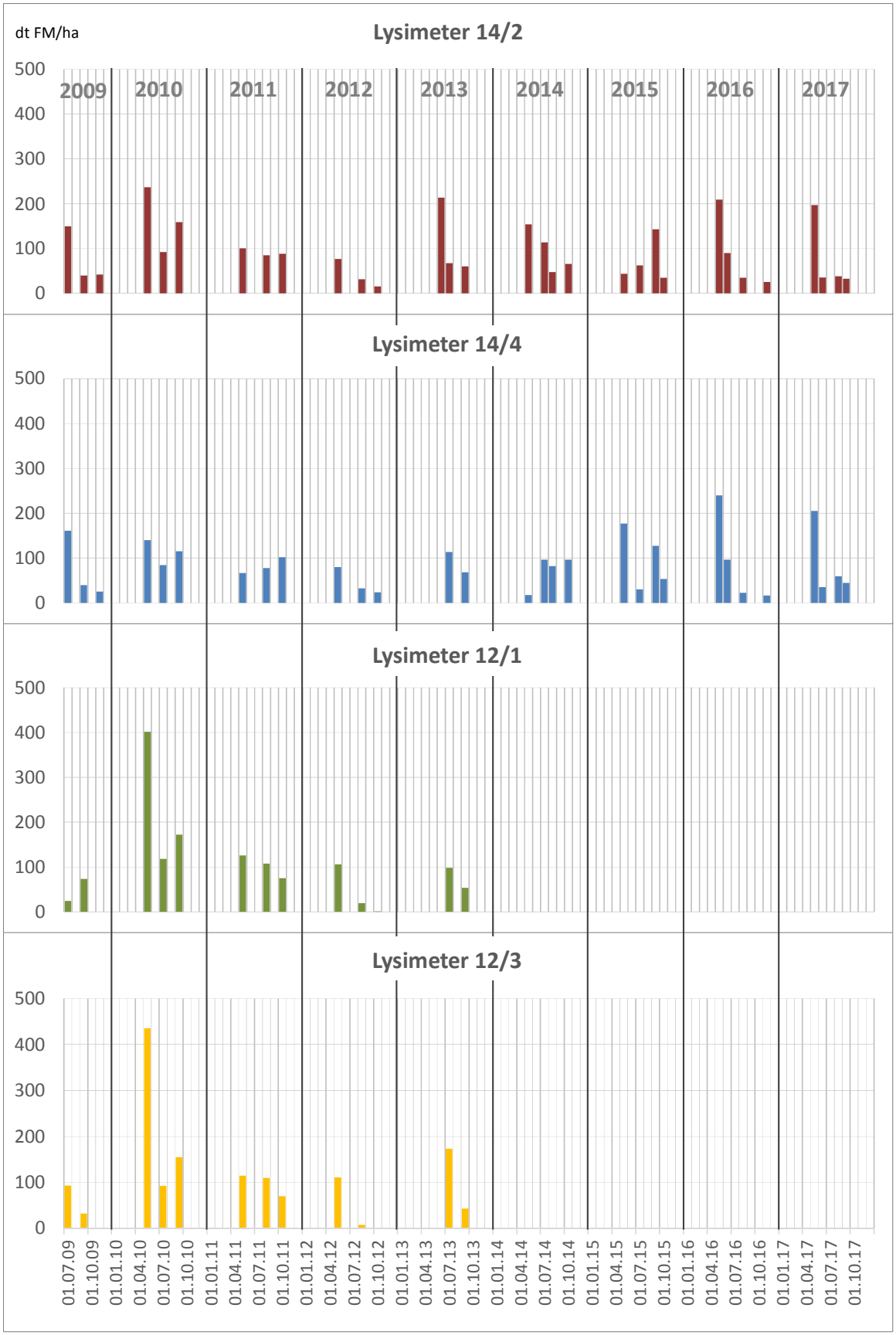

Abb. 3-2 Darstellung der Frischmassenerträge von Luzerne, Knaulgras bzw. Luzerne/Knaulgras auf den Lysimetern in [dt FM/ha] gem. Tab. 3-6

Bei einem mittlerenTrockenmasseanteil von 24 % auf dem Lysimeter 14/2 und 23 % auf dem Lysimeter 14/4 ergeben sich für das Jahr 2017 folgende Jahresmengen an Trockenmasse (s. ***Tab. 3-6***). 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.

Tab. 3-6 Trockenmassenerträge im Jahr 2017 auf den 14er Lysimetern in [dt TM/ha] (Quelle: Lysimeterstation Brandis)

Lysimeter	dt TM/ha
14/2	73
14/4	79

Die Erträge von **Mais**, der am 30.09.2014 geerntet wurde, lagen bei
- Lysimeter 12/1: 535 dt FM/ha,
- Lysimeter 12/3: 477 dt FM/ha.

Die Erträge von **Luzerne** lagen 2014 bei
- Lysimeter 13/1: 267 dt FM/ha,
- Lysimeter 13/2: 255 dt FM/ha.

Die Erträge von **Winterweizen**, der am 04.08.2015 geerntet wurde, lagen bei
- Lysimeter 12/1: 94 dt FM/ha
- Lysimeter 12/3: 99 dt FM/ha

Die Erträge von **Mais** lagen 2015 bei
- Lysimeter 13/1: 512 dt FM/ha,
- Lysimeter 13/2: 624 dt FM/ha.

Die Erträge von ***Winterraps***, der am 21.07.2016 geerntet wurde, lagen bei
- Lysimeter 12/1: 179 dt FM/ha
- Lysimeter 12/3: 207 dt FM/ha

Die Erträge für ***Wintergerste*** lagen 2016 bei
- Lysimeter 13/1: 88 dt FM/ha,
- Lysimeter 13/2: 102 dt FM/ha.

Die Erträge von ***Winterweizen***, der am 07.08.2017 geerntet wurde, lagen bei
- Lysimeter 12/1: 100 dt FM/ha
- Lysimeter 12/3: 101 dt FM/ha

Die Erträge für ***Winterraps*** lagen 2017 bei
- Lysimeter 13/1: 116 dt FM/ha,
- Lysimeter 13/2: 116 dt FM/ha.

3.4 Vergleich der Ernteerträge

In ***Abb. 3-3*** und ***Abb. 3-4*** sind die Ernteerträge (Trockenmassen) für die Jahre 2009 bis 2017 auf den Lysimetern und den Versuchsparzellen (bis 2016) für die beiden Kulturen Knaulgras bzw. Knaulgras/Luzerne und Luzerne dargestellt.

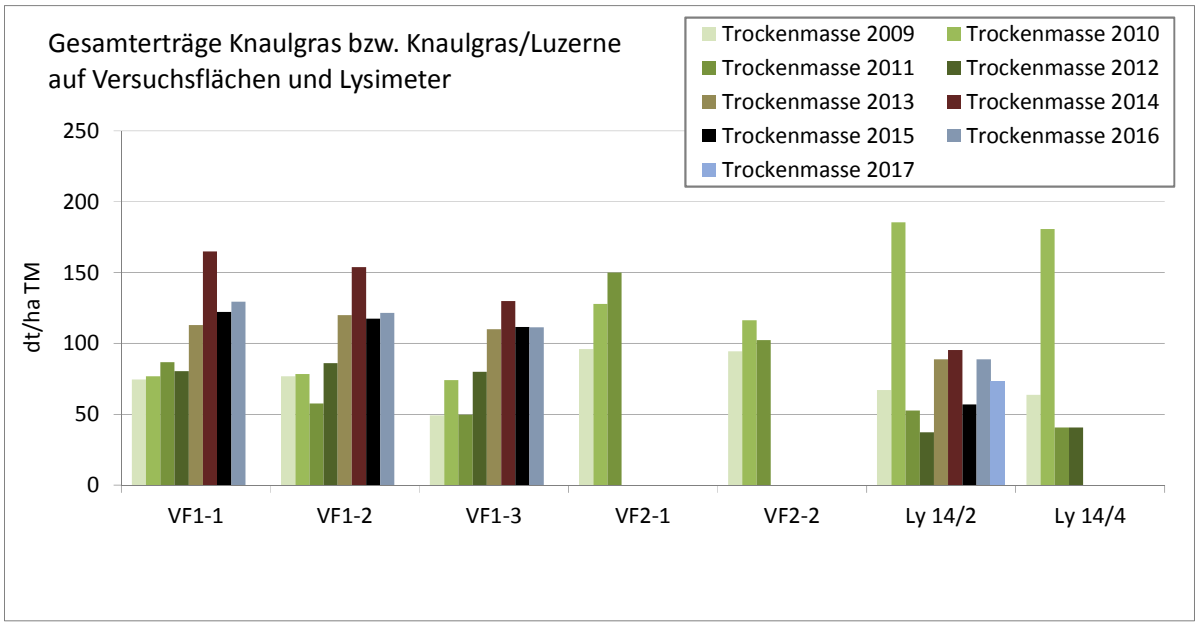

Abb. 3-3 Ernteerträge Knaulgras bzw. Knaulgras/Luzerne auf den Versuchsflächen und Lysimetern

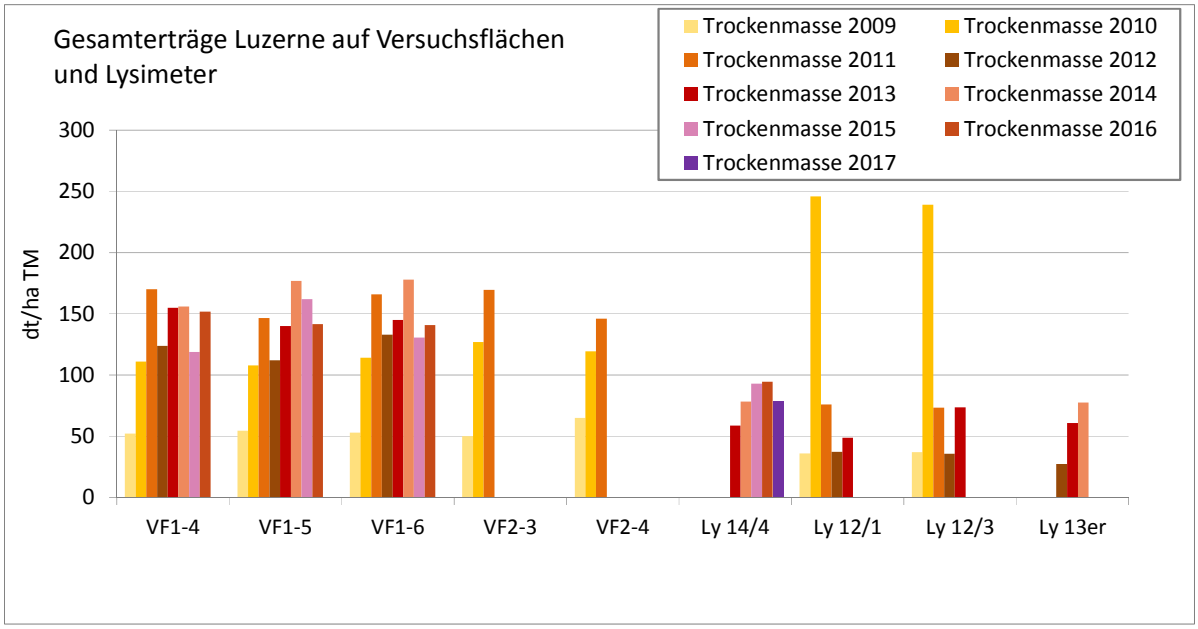

Abb. 3-4 Ernteerträge Luzerne auf den Versuchsflächen und den Lysimetern

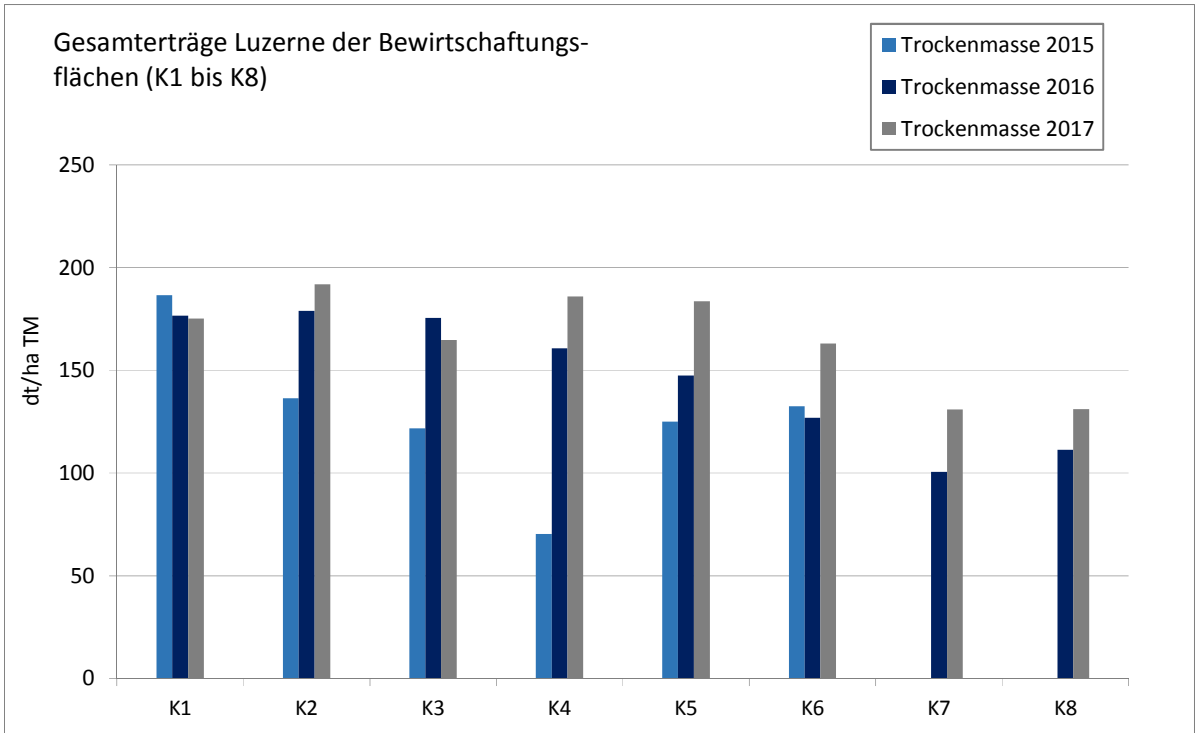

Abb. 3-5 Ernteerträge Luzerne auf den Bewirtschaftungsflächen (K1 bis K8)

Aus der Bewertung und dem Vergleich der Trockenmassen-Erträge 2017 und im Vergleich ab 2009 lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Die Erträge von reiner Luzerne und dem Knaulgras/Luzerne-Gemisch auf den Lysimetern lag mit 73 dt TM/ha bzw. 79 dt TM/ha deutlich unter den Erträgen auf der Versuchsfläche VF1 und der landwirtschaftlichen Nutzfläche (K1 bis K8).
- Ursache für die Mindererträge auf den Lysimetern waren ungünstige Witterungsbedingungen und Trockenschäden, der Inseleffekt bei freistehenden Lysimetern und die unterschiedlichen Klimawerte zwischen Brandis und Witznitz
- Die Trockenmasse des Erntegutes der Lysimeter lag 2017 zwischen 20 und 30 %.
- 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 waren nicht erkennbar.
- Die Trockenmassen-Erträge auf den Kontrollflächen K1 bis K6 waren in den Jahren 2015 bis 2017 im Mittel etwa gleich groß.
- Die Trockenmassen-Erträge auf den Kontrollflächen K7 und K8 lagen auch 2017 wieder unter den Werten der Kontrollflächen K1 bis K6.

3.5 Phänologie

3.5.1 Wuchshöhen von Luzerne auf den Kontrollflächen

Im Jahr 2017 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.

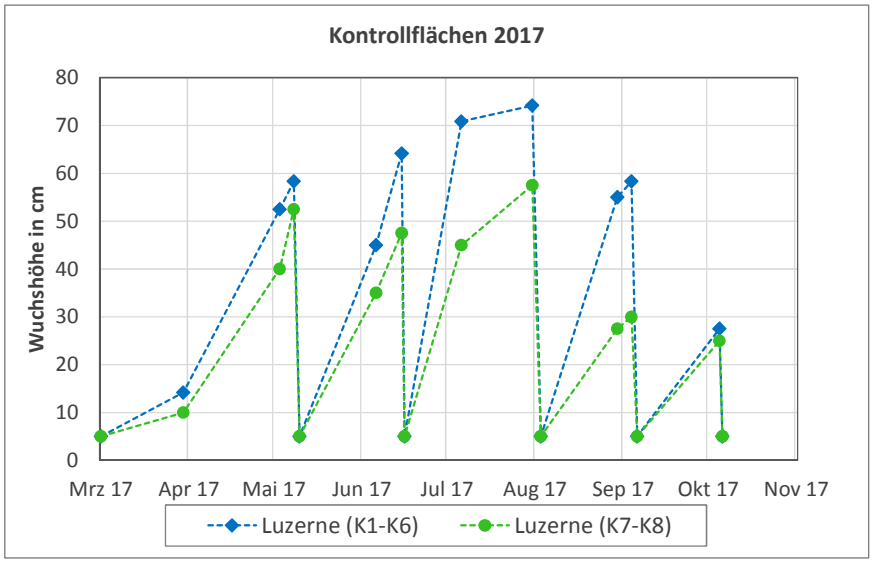

Abb. 3-6 Wuchshöhe Luzerne auf den Kontrollflächen K1-K6 (Mittelwert) und K7-K8 (Mittelwert)

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

3.5.2 LAI für Luzerne auf den Kontrollflächen

Auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche ergaben sich aufgrund des dichten Wuchses und des geringen Unkrautanteils für die Kontrollflächen K1 bis K6 bei den ersten drei Ernten LAI-Werte von 6 bis 7 und bei den Kontrollflächen K7 und K8 LAI-Werte von 5 bis 6. Bei der vierten Ernte lag der LAI-Wert nur noch bei 3 bis 4 und bei der fünften Ernte bei 1-2.

3.5.3 Wuchshöhen auf den Lysimetern

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

Im Jahr 2017 zeigte sich bei den Lysimetern mit Luzerne und mit Luzerne/Knaulgras-Gemisch eine sehr gute erste Ernte und Wuchshöhen von ca. 70 cm und entsprach damit den gemessenen Wuchshöhen auf den Versuchs- und Kontrollflächen. Bei den folgenden Ernten reduzierten sich die Wuchshöhen auf 60 cm, 35 cm und 25 cm und waren damit niedriger, als die Wuchshöhen auf den Versuchs- und Kontrollflächen. Beim Winterweizen auf den Lysimetern 12/1 und 12/3 lag die maximale Wuchshöhe bei 70 cm.

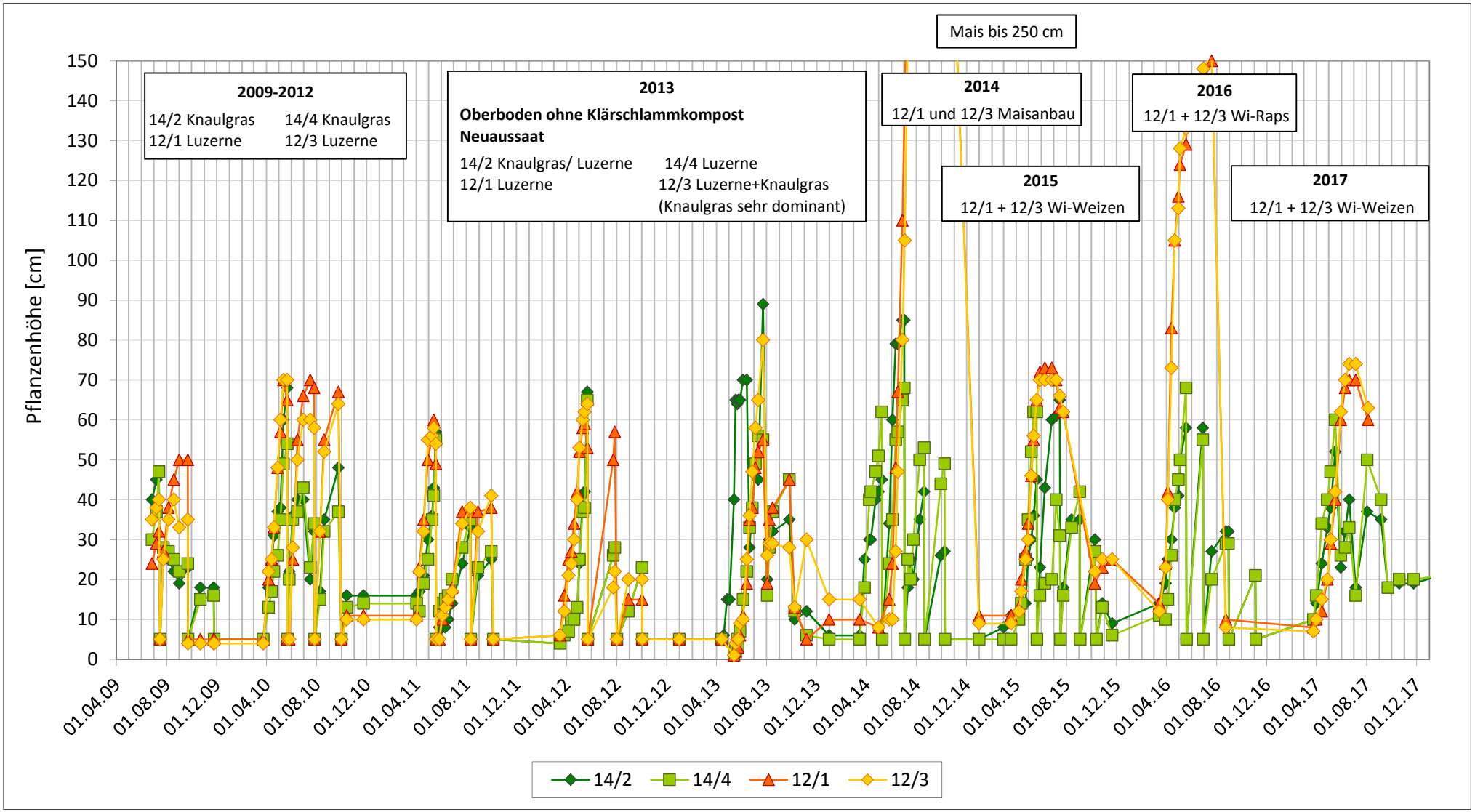

Abb. 3-7 Wuchshöhen für verschiedene Kulturen auf den Lysimetern von 2009 – 2017

3.5.4 LAI für Luzerne und Knaulgras auf den Lysimetern

Der LAI für die 14er Lysimeter im Jahr 2017 korreliert sehr gut mit der Wuchshöhe. (s. ***Abb. 3-8***)

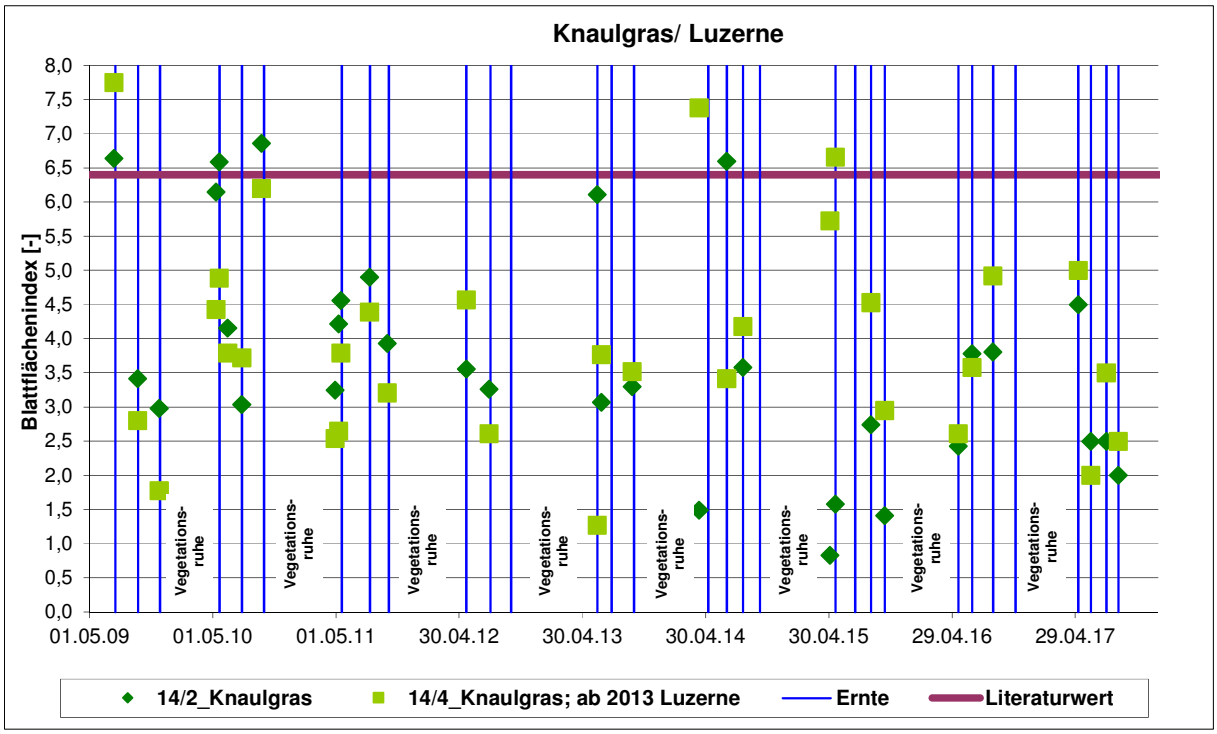

Abb. 3-8 LAI - Wert für die 14er Lysimeter 2009 - 2017

Aus vergleichenden Beobachtungen mit den Vorjahren ergaben sich für die erste Ernte auf den 14er Lysimetern

- bei Luzerne ein LAI-Wert von 5
- bei Knaulgras/Luzerne ein LAI-Wert von 4,5

Für die zweite bis vierte Ernte ergaben sich LAI-Werte von 2-3. Insgesamt lagen die Wuchshöhe, der Blattflächenindex und die Erträge 2017 geringfügig unter den Werten von 2016.

3.6 Klima

In den ***Abb. 3-9 bis Abb. 3-12*** sind die Klimadaten der Stationen Brandis und Witznitz für das Jahr 2017 im Vergleich zu den Jahren ab 2013 dargestellt.

Der Niederschlag 2017 betrug in

Brandis	753 mm
Witznitz	718 mm.

Die gemessene Niederschlagsmenge in Brandis lag deutlich über dem langjährigen Mittel von 673 mm/a. In Witznitz lag der Jahresniederschlag ebenfalls über dem langjährigen Mittel. Hervorzuheben sind die sehr hohen Niederschläge im Juli 2017

Brandis	Juli 124 mm

Witznitz Juli 111 mm.

Niederschlagsarm waren insbesondere der Februar, April, Mai und September. Trockenperioden wirkten sich insbesondere auf die zweite bis vierte Ernte nachteilig bezüglich der Pflanzenentwicklung aus.

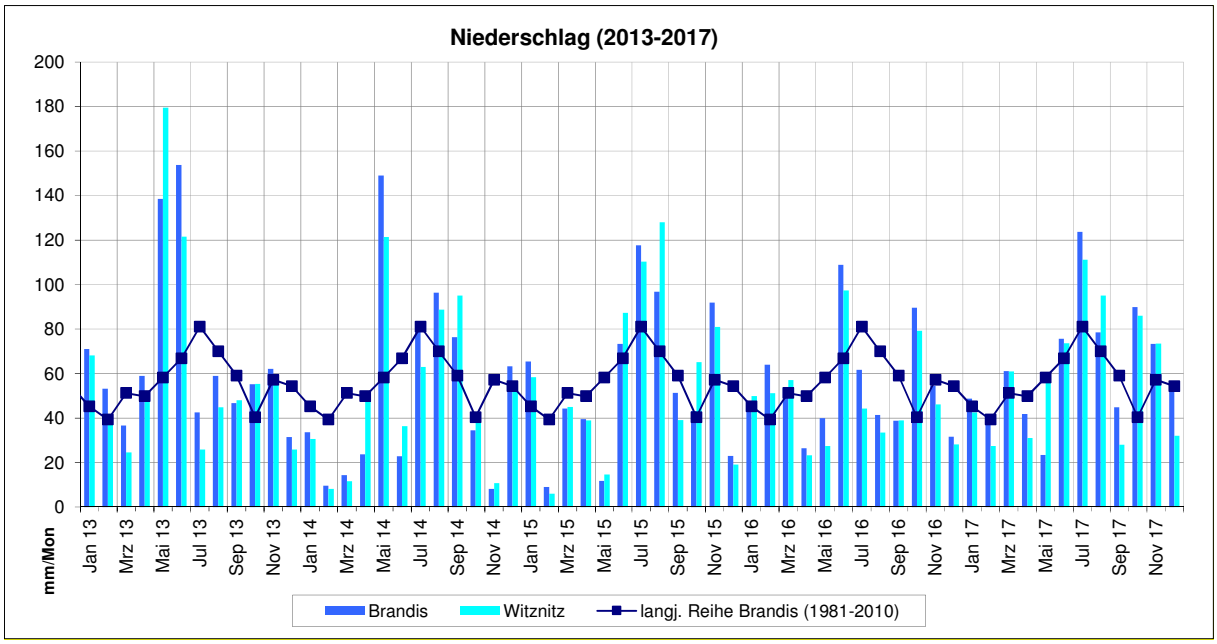

Abb. 3-9 Niederschläge in Brandis und Witznitz

Die ***Lufttemperatur*** lag 2017 wie 2016 etwa 1,3 °C über dem langjährigen Mittelwert. Im Winter war der Januar ca. 2,5 °C zu kalt, der Februar und März bis 3,5 °C zu warm. Im Sommer lagen die Temperaturen leicht über dem langjährigen Mittel und von Oktober bis Dezember war es wieder deutlich zu warm.

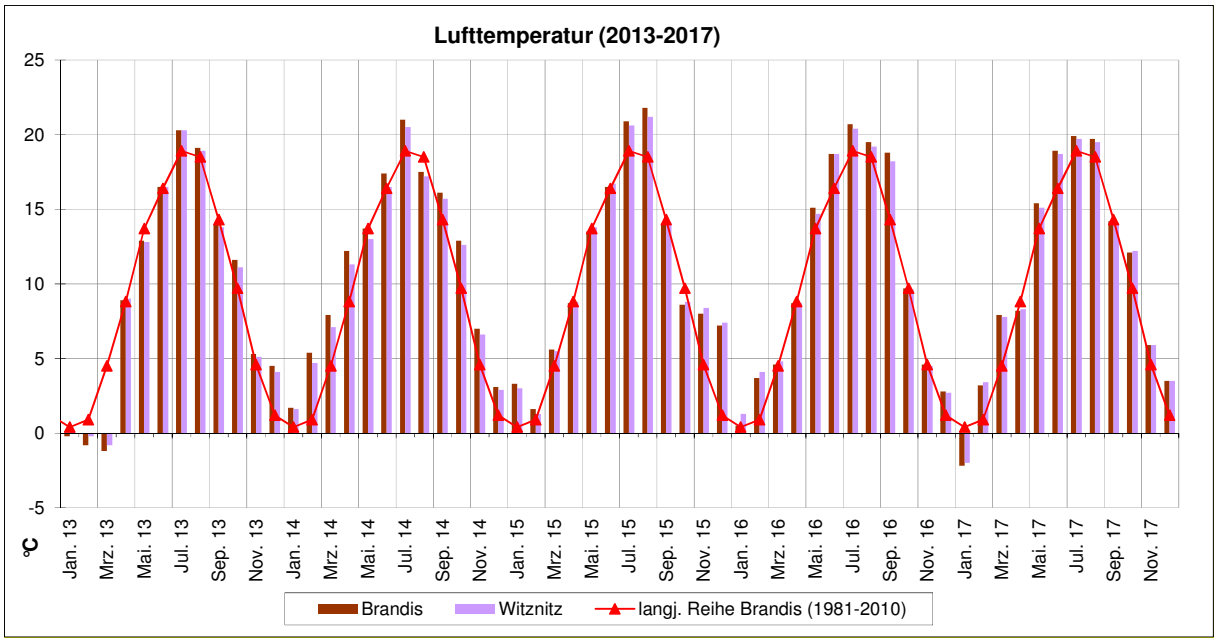

Abb. 3-10 Lufttemperatur in Brandis und Witznitz

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

Brandis	717 mm
Witznitz	710 mm

und lag somit 30 mm bzw. 23 mm über dem langjährigen Mittelwert von 687 mm/a. Insbesondere in den Monaten März, Mai und Juni war die potentielle Verdunstung höher als die langjährigen Monatsmittelwerte. Im April und Oktober war die Verdunstung hingegen geringer.

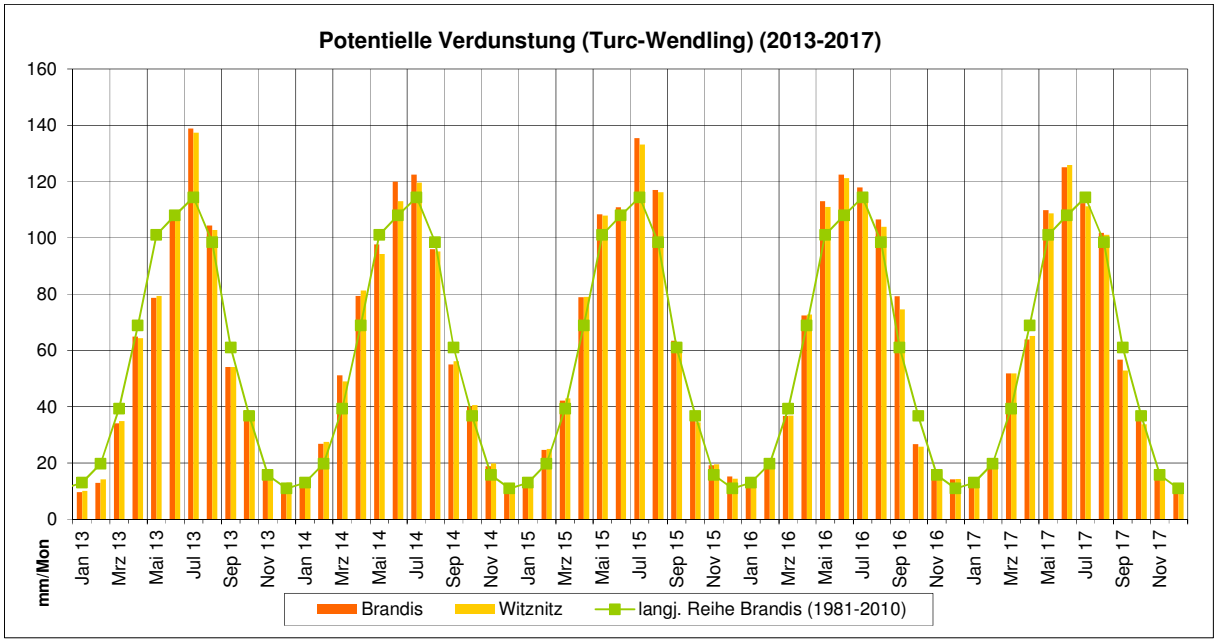

Abb. 3-11 Potenzielle Verdunstung in Brandis und Witznitz nach Turc-Wendling

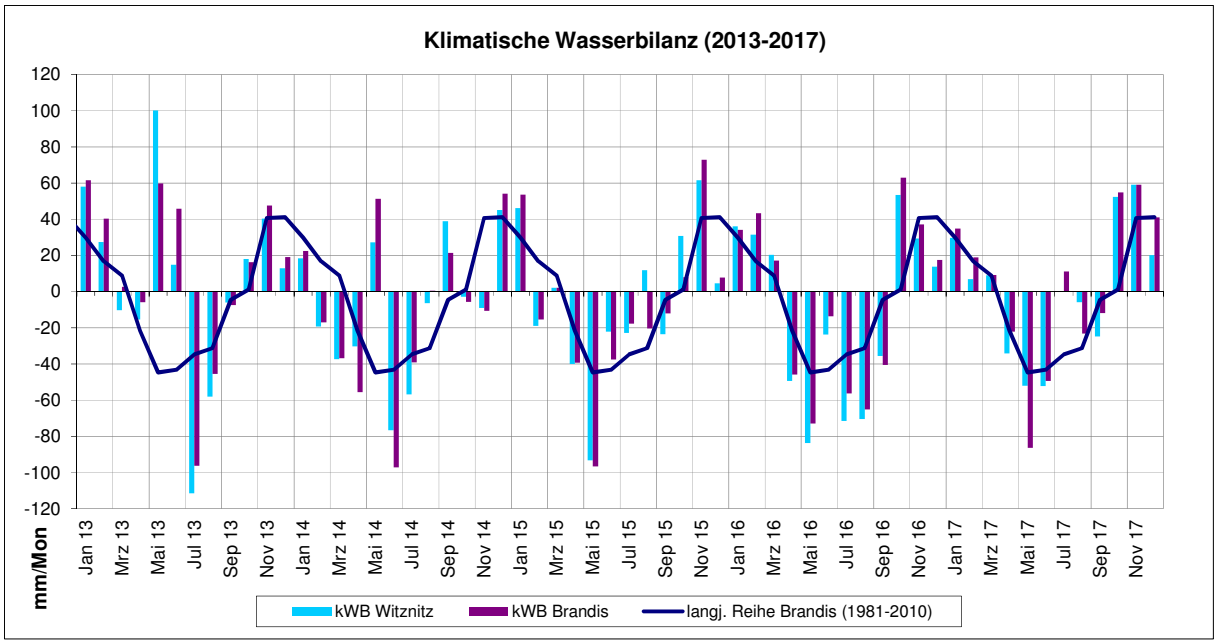

Abb. 3-12 Klimatische Wasserbilanz in Brandis und Witznitz

Die ***klimatische Wasserbilanz*** war ***2017*** positiv, was zu einer größeren Grundwasserneubildung im Vergleich zu den Vorjahren (negative klimatische Wasserbilanz) führte.

Brandis	36 mm
Witznitz	8 mm

Im niederschlagsreichen Jahr ***2013*** betrug die klimatische Wasserbilanz

Brandis	138 mm
Witznitz	70 mm

Die monatlichen Extrema traten 2017 in

Brandis	59 mm im November	und	- 86 mm im Mai und Juni bzw. in
Witznitz	59 mm im November	und	- 52 mm im Mai auf.

3.7 Bodenwasserhaushalt an den Lysimetern

In den ***Abb. 3-13*** bis ***Abb. 3-18*** sind die Bodenwasserhaushaltsgrößen für 2017

- Verdunstung
- Bodenwasserausschöpfung und
- Sickerwasser

im Vergleich zu den Jahren ab 2012 dargestellt.

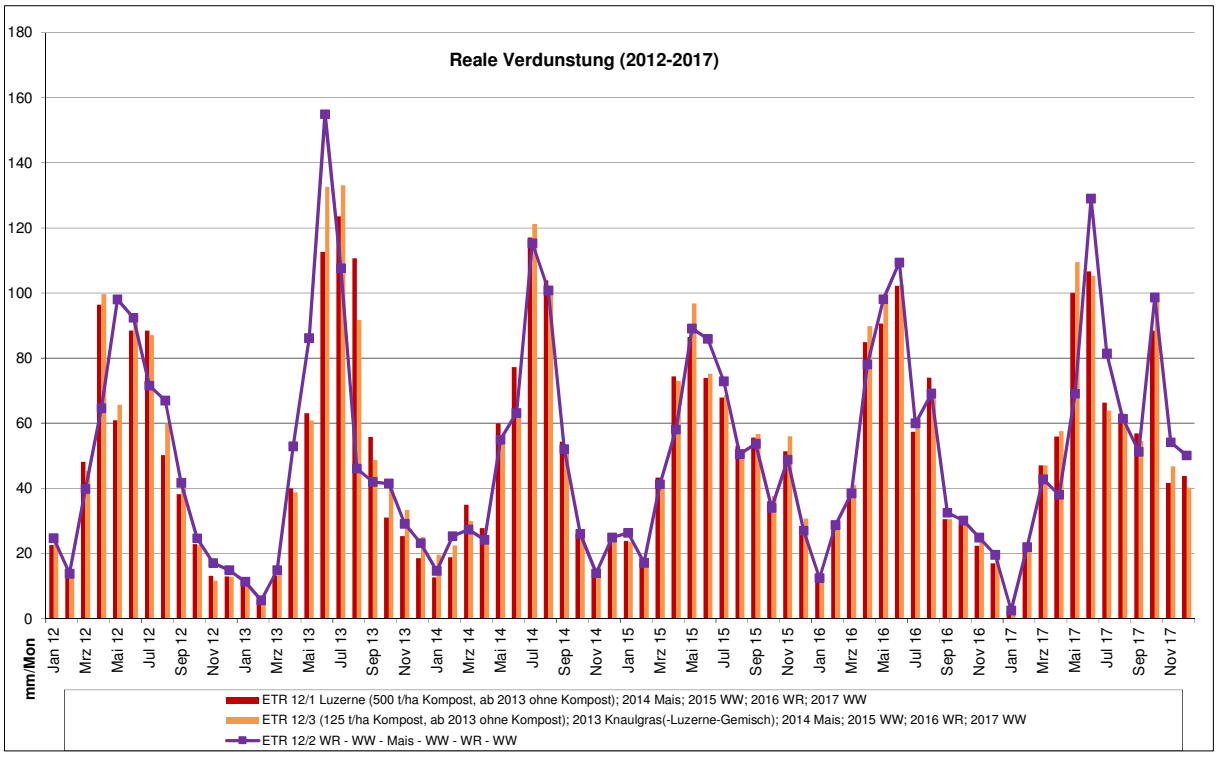

Abb. 3-13 Darstellung der realen Verdunstung auf den 12er Lysimetern

Die ***reale Verdunstung*** lag bei den Lysimetern 12/1 und 12/3 mit Winterweizen mit durchschnittlich 700 mm etwa 100 mm über den Verdunstungswerten von 2016 (Winterraps) und

2015 (Winterweizen). Insbesondere in den Monaten September bis Dezember waren die Verdunstungswerte gegenüber den Vorjahreswerten höher.

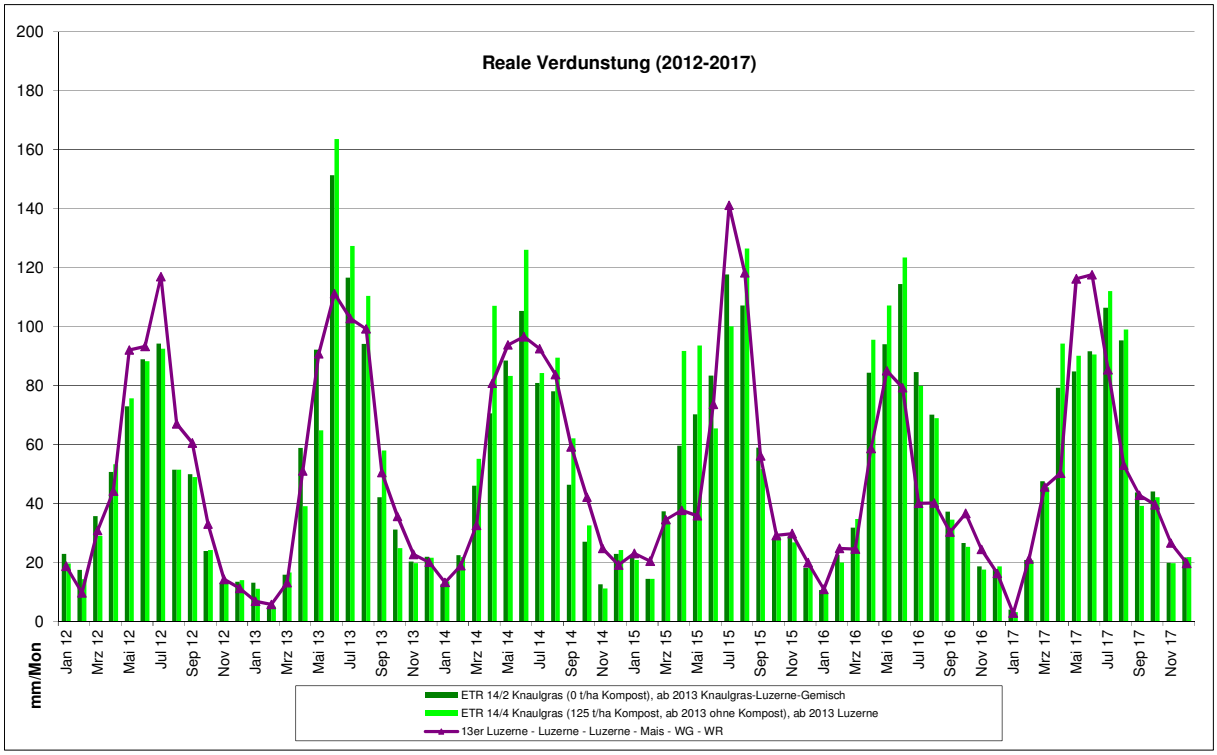

Abb. 3-14 Darstellung der realen Verdunstung auf den 14er Lysimetern

Die 14er Lysimeter erreichten mit 660 mm (Lys. 14/2) und 680 mm (Lys. 14/4) vergleichbar hohe Verdunstungshöhen, wie die 12er Lysimeter (s. ***Abb. 3-14***). Die Werte auf den beiden 14er Lysimetern waren etwas größer als 2016. Im Jahr 2017 lagen der Maximalwert bei etwa 110 mm im Juli und der Minimalwert bei 4 mm im Januar.

Die Verdunstungshöhen auf den 13er Vergleichslysimetern in Witznitz, die 2017 mit Winterraps bewirtschaftet wurden, waren mit durchschnittlich 620 mm etwa 150 mm größer als 2016 (Wintergerste).

Vergleicht man einmal die verschiedenen Anbaukulturen untereinander, ergeben sich folgende ***durchschnittliche Verdunstungshöhen*** (Mittelwerte der Einzelwerte aus ***Tab. 3-7***):

Luzerne	588 mm
Knaulgras	623 mm
Winterraps	605 mm
Winterweizen	626 mm
Mais	580 mm
Wintergerste	542 mm.

Tab. 3-7 Verdunstungshöhen auf den Lysimetern für die verschiedenen Anbaukulturen von 2010 bis 2017

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

Lu… Luzerne Kg… Knaulgras M… Mais Ww… Winterweizen Wr… Winterraps Wg… Wintergerste

Die ***Bodenwasserausschöpfung*** war bei den 12er Lysimetern mit Winterweizen im Mai und Juni hoch, die hohen Niederschläge im Juli sind an der Verringerung der Bodenwasserausschöpfung zu erkennen (vgl. ***Abb. 3-15***).

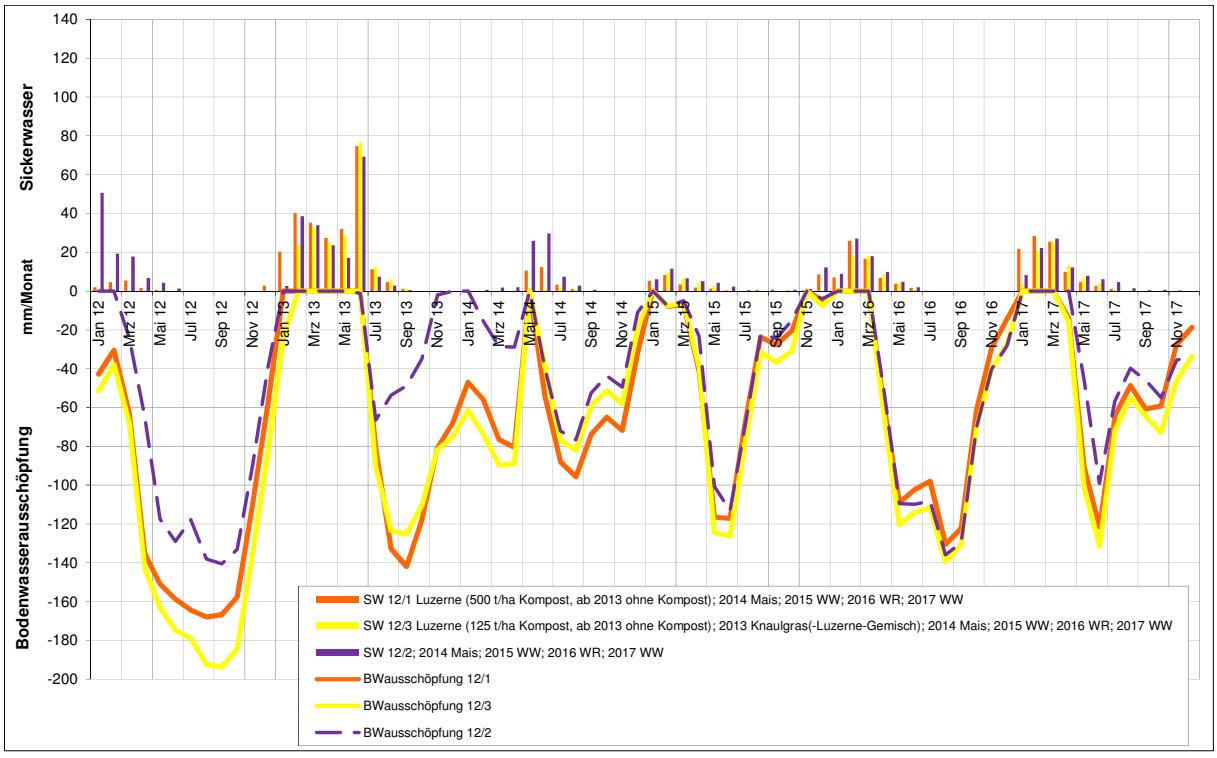

Abb. 3-15 Darstellung der Bodenwasserausschöpfung der 12er Lysimeter

2017 besaßen die 14er Lysimeter mit Luzerne eine deutlich größere Bodenwasserausschöpfung (s. ***Abb. 3-16***) als die 12er Lysimeter mit Winterweizen. Gut zu erkennen ist auch die geringere Bodenwasserausschöpfung im Winterhalbjahr. Mit zunehmendem Alter der Pflan-

zen ist zudem ein Anstieg der Bodenwasserausschöpfung erkennbar, was mit der Wurzelausdehnung in tiefere Schichten zu begründen ist. Das Lysimeter mit Knaulgras/Luzerne-Gemisch weist im Winterhalbjahr keine nennenswerte Bodenwasserausschöpfung auf.

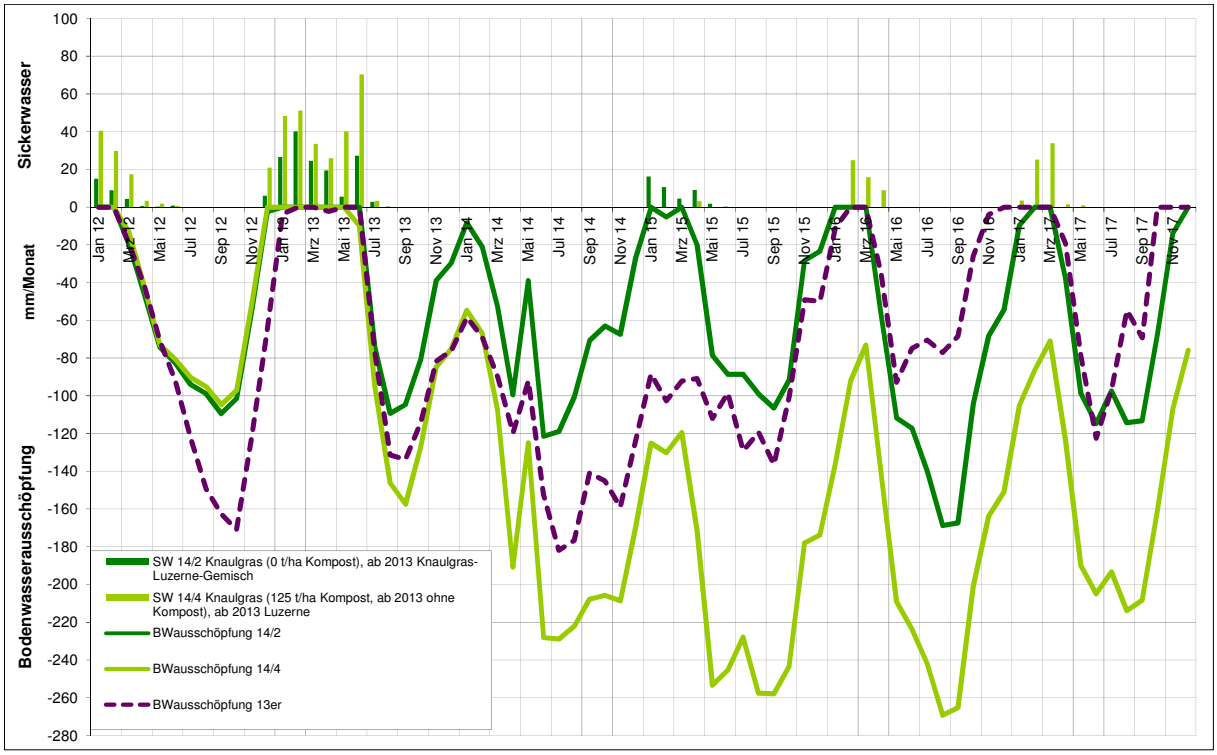

Abb. 3-16 Darstellung der Bodenwasserausschöpfung der 14er Lysimeter

Die ***Sickerwassermengen*** in den Wintermonaten Januar bis April 2017 betrugen auf den 12er Lysimetern 63 mm bis 85 mm (s. ***Abb. 3-17***) und waren damit etwas höher als in den Vorjahren 2015 und 2016. Die hohe positive klimatische Wasserbilanz in den Monaten Okt. ´15 bis Mrz. ´16 (vgl. Abb. 3-12) sowie die geringe Bodenwasserausschöpfung des Winterrapses im Winterhalbjahr (vgl. Abb. 3-15) bedingten die Sickerwassermengen.

Die auf den 12er Lysimetern gemessenen Sickerwassermengen in den Monaten November 2016 bis März 2017 resultierten ebenfalls aus der positiven klimatischen Wasserbilanz der Vormonate Dez. ´16 und Jan. ´17 sowie der geringen Bodenwasserausschöpfung des Winterweizens in den Wintermonaten.

Im Jahr 2017 wurden folgende Sickerwassermengen gemessen:

Luzerne:	**65,3 mm**	**(14/4)**
Knaulgras/Luzerne:	**76,9 mm**	**(14/2)**
Referenzwert (W-Weizen):	**91,3 mm**	**(12/2)**

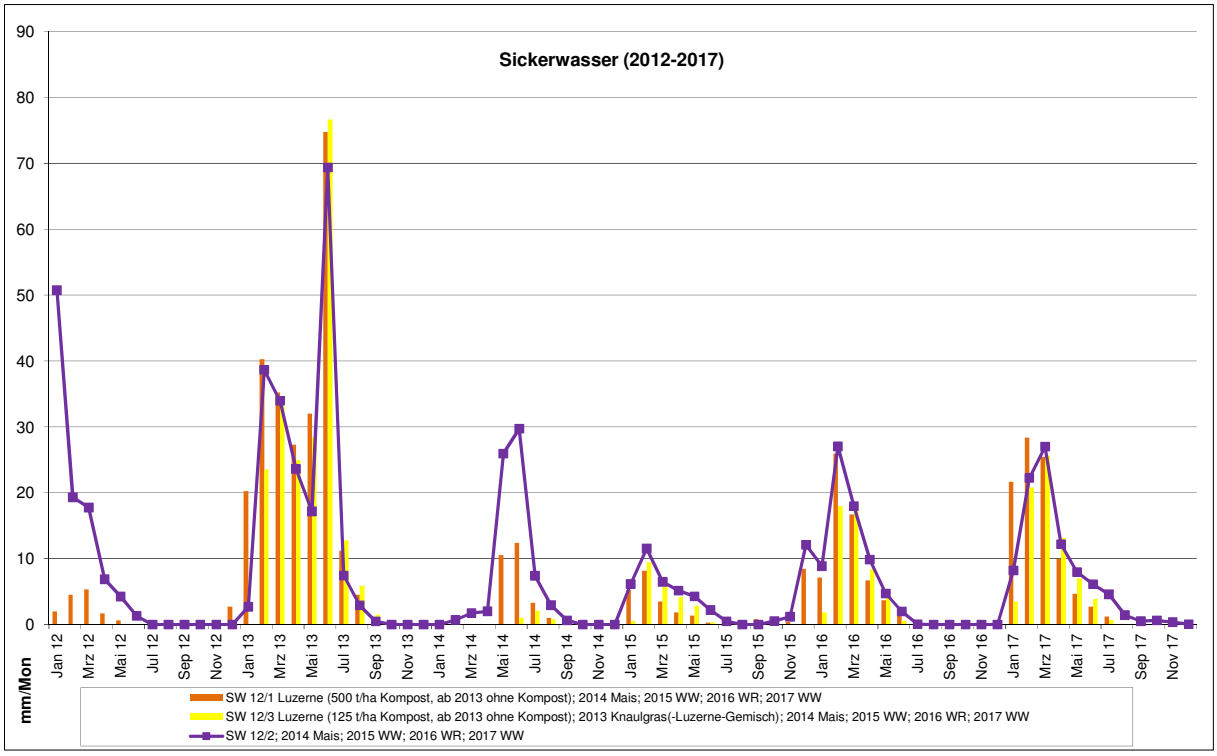

Abb. 3-17 Darstellung der Sickerwassermengen auf den 12er Lysimetern

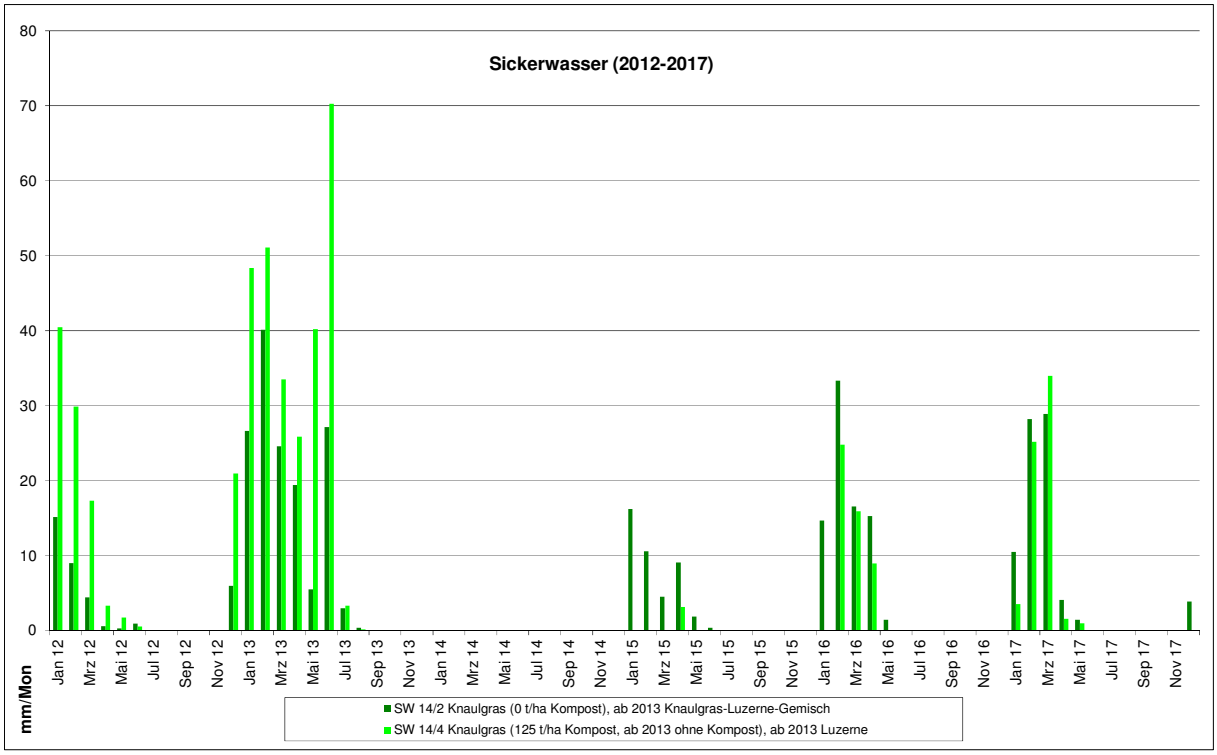

Abb. 3-18 Darstellung der Sickerwassermengen auf den 14er Lysimetern

In ***Abb. 3-18*** ist die Sickerwasserbildung vom Winter 2012/2013 gut zu erkennen, die aus den erhöhten Niederschlägen Ende 2012 resultierte. Aber auch im Frühsommer 2013 wurde rela-

tiv viel Sickerwasser gebildet, was aus den hohen Niederschlägen vom Mai und Juni in Verbindung mit dem Bodenaustausch und der Neueinsaat resultiert. 2014 kam es in den 14er Lysimeter zu keiner Sickerwasserbildung. Im Jahr 2015 kam es insbesondere im Lys. 14/2 mit Knaulgras-Luzerne-Gemisch zu einer höheren Sickerwasserbildung, als im Lys. 14/4 mit reiner Luzerne. 2016 und 2017 kam es zu einer etwa gleich großen Sickerwasserbildung in den Wintermonaten.

Aus den dokumentierten Werten ergeben sich auch Schlussfolgerungen für den sanierungswirksamen Großversuch in Bezug auf die geplante Fruchtfolgenbewirtschaftung, d. h. 4 Jahre Luzerne, 1 Jahr konventionelle Bewirtschaftung. Durch diesen Wechsel entstehen Zeitphasen mit erhöhter Grundwasserneubildung, die es in ihrer Auswirkung auf den Grundwasserstand zu bewerten gilt (s. Abschnitt 5).

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.

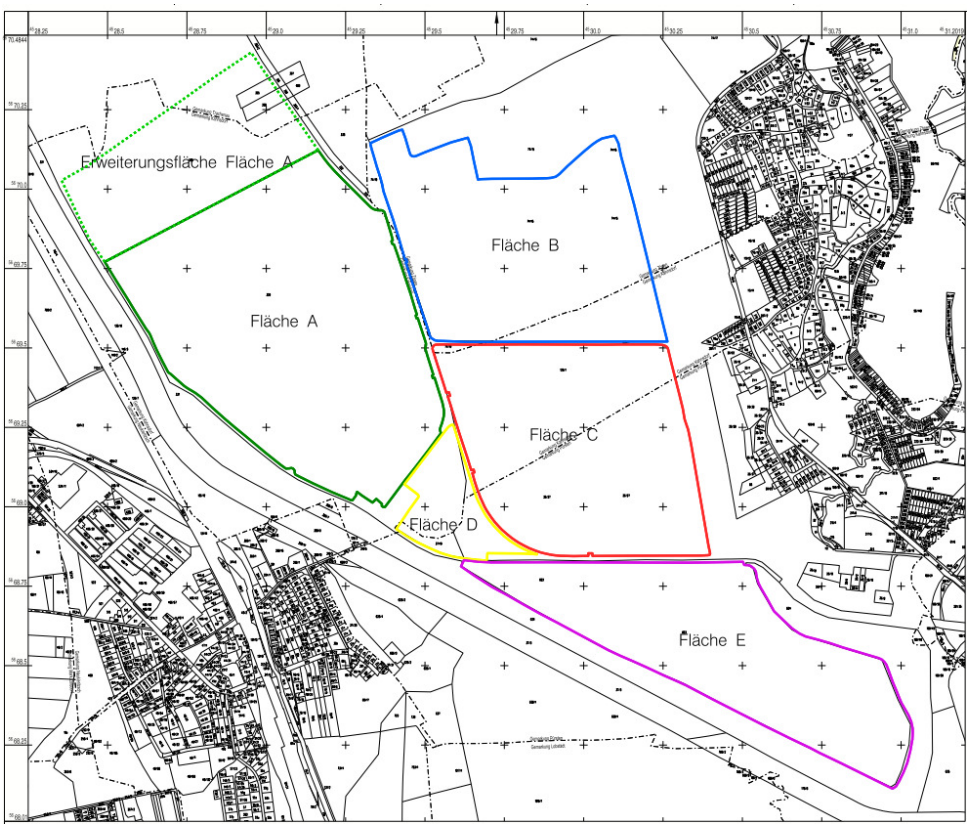

Abb. 4-1 Plan der Luzerneanbaufläche im Südbereich der Kippe (Quelle: LMBV)

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***).

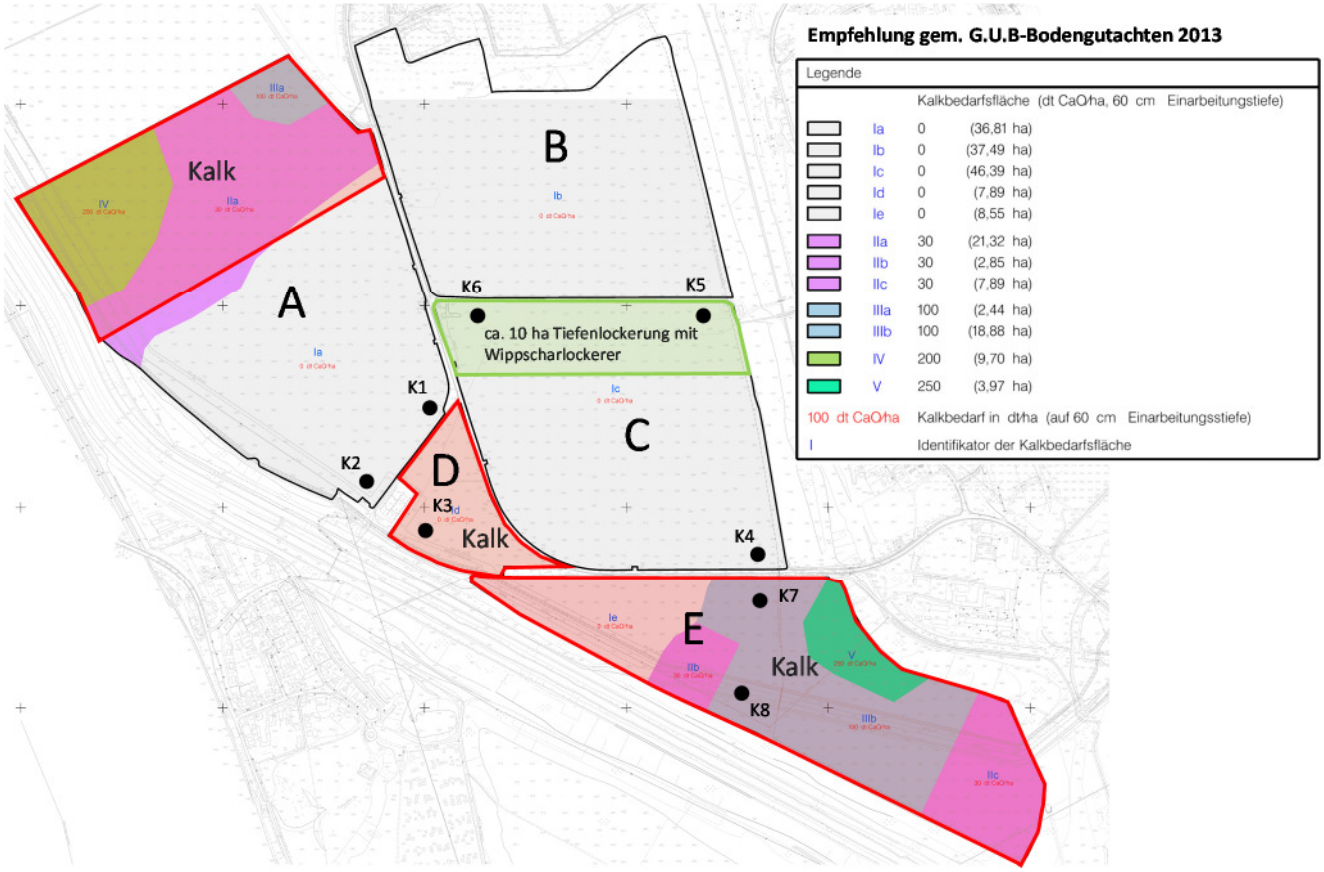

Abb. 4-2 Umgesetzte Meliorationsmaßnahmen auf der Grundlage des G.U.B.-Bodengutachtens (2013)

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 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 Tiefenlockerung 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 Laufendhaltung der Modelle

5.1 Modellkalibrierung 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. Im Jahr 2017 erfolgte eine Überprüfung der Messwerte von 2016 mit kalibrierten Modell.

Das Ergebnis der gemessenen und berechneten kumulativen Sickerwassermengen für die Lysimeter 14/2 und 14/4 zeigt ***Abb. 5-1*** und ***Abb. 5-2***.

Es konnte insgesamt eine gute Abbildung der Sickerwassermengen erzielt werden. Lediglich im Juni 2013 wird für das Lysimetermodell 14/2 wesentlich mehr Sickerwasser berechnet, als gemessen wurde. Im April 2013 erfolgte die Aussaat von Luzerne auf dem mit Knaulgras bewachsenen Lysimeter. Gemäß den Aussagen der Lysimeterstation Brandis (Frau Winkler) war der Bewuchs 2013 und 2014 eher spärlich (Knaulgras/Luzerne-Verhältnis 80/20 – s. Tab. 2-1). Erst 2015 war ein sichtlich dichter Bewuchs erkennbar (Knaulgras/Luzerne-Verhältnis 60/40). Das 2016 kalibrierte Modell weist weiterhin eine gute Übereinstimmung mit den 2016 gemessenen Sickerwassermengen auf (s. ***Abb. 5-1***).

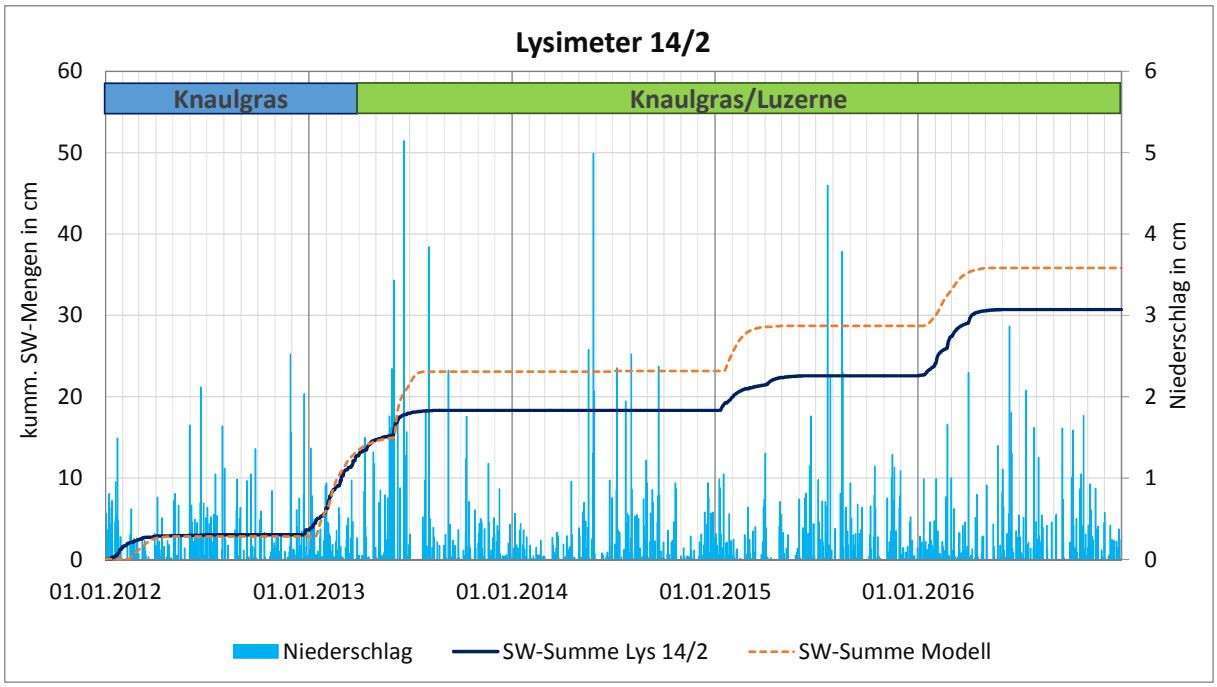

Abb. 5-1 Gegenüberstellung der berechneten und der gemessenen kumulierten Sickerwassermengen für das Knaulgras bzw. Knaulgras/Luzerne-Lysimeter 14/2 sowie der korrigierte Niederschlag (Tageswert Station Brandis)

Eine gute Übereinstimmung der berechneten und gemessenen Sickerwassermengen weist auch weiterhin das kalibrierte Modell für das Lysimeter 14/4 auf (s. ***Abb. 5-2***). Die berechneten SW-Mengen zu Beginn des Jahres 2016 überschätzen die gemessenen SW-Mengen gering.

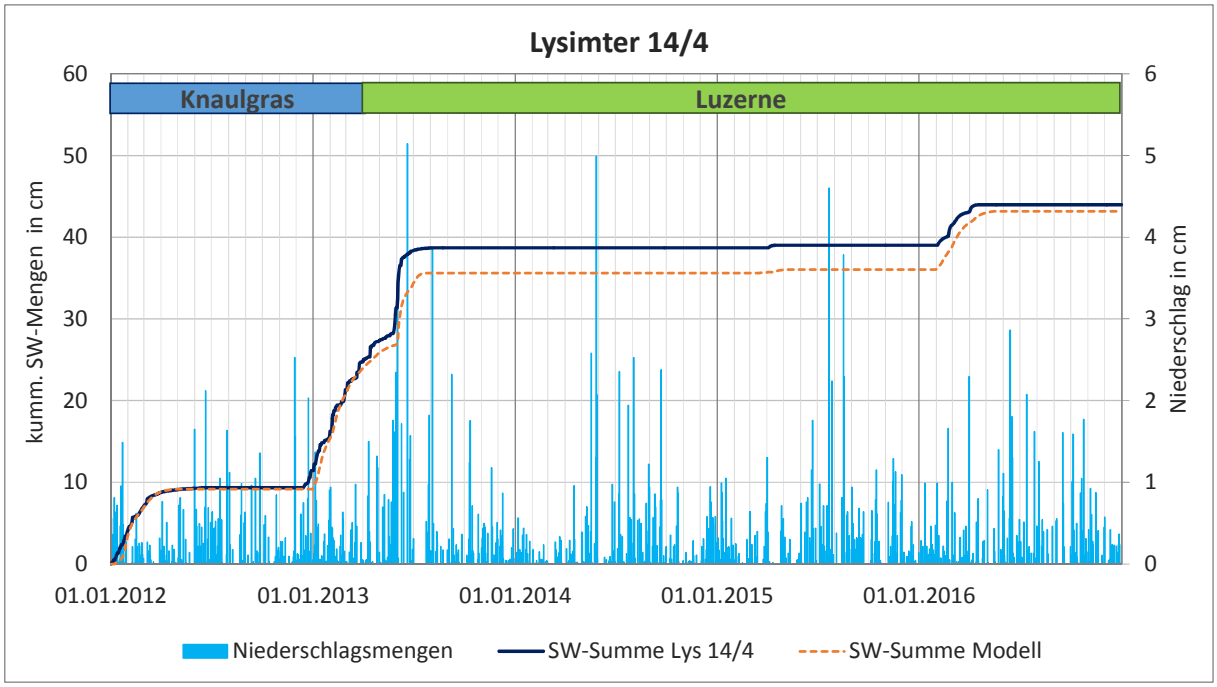

Abb. 5-2 Gegenüberstellung der berechneten und der gemessenen kumulierten Sickerwassermengen für das Knaulgras bzw. Luzerne-Lysimeter 14/4 sowie der korrigierte Niederschlag (Tageswert Station Brandis)

5.2 Grundwassermodell

Bei der Laufendhaltung des Grundwasserströmungsmodells HGMSWITZ (Stand 09/2017) erfolgte durch die IBGW GmbH:

- das Einpflegen aktueller Grundwasserstände,
- die Berücksichtigung einer klimavariablen Grundwasserneubildung bis Ende 2015
- die Aktualisierung des Flutungsszenarios für den Kahnsdorfer See sowie
- die Ausweisung von berechneten Hydroisohypsen und Grundwasserganglinien.

Im Zuge der letzten Modellbearbeitungen wurde eine klimavariable Grundwasserneubildung bis Ende 2015 integriert. Ab 01/2016 werden derzeit noch ausschließlich mittlere Grundwasserneubildungsverhältnisse berücksichtigt. Eine klimabedingte Variabilität wird in der Prognose derzeit modellseitig nicht abgebildet.

Abb. 5-3 zeigt die auf der Basis des Modells berechneten Hydroisohypsen für 10/2017. Nördlich der Pleißequerung wird eine Grundwasserhochlage mit maximalen Wasserständen um +139 m NHN berechnet. Davon ausgehend kommt es zum Abstrom

- in Richtung Pleiße,
- zum Kahnsdorfer See sowie
- in Richtung der Ortslage Kahnsdorf.

Südlich der Pleißequerung bildet sich rechnerisch eine Hochlage auf ca. +137 m NHN aus, von wo aus der GW-Abstrom ebenfalls in Richtung Pleiße erfolgt.

Die gemessenen Grundwasserstände (siehe ***Abb. 5-3*)** des letzten zur Verfügung stehenden Monitoringzeitraumes belegen eine plausible Modellanpassung. Eine Verbesserung der modellseitigen Abbildung der tatsächlichen Grundwasserverhältnisse insbesondere im Bereich der Hochlagen konnte u. a. durch die Implementation einer klimavariablen Grundwasserneubildung erreicht werden (derzeit bis Ende 2015 umgesetzt). Die auf den Bewirtschaftungsflächen umgesetzten Bepflanzungsmaßnahmen zur Reduktion der Grundwasserneubildung können damit nun modellseitig besser abgebildet werden.

Die Abweichungen im Zentrum der beiden Hochlagen auf den Kippen zwischen den berechneten und gemessenen Grundwasserständen reduzieren sich damit auf ca. 0,5 bis 1 m (modellseitige Überschätzung).

Abb. 5-4 zeigt die Grundwasserdynamik im zeitlichen Verlauf anhand der Ganglinien zweier Pegel im Südanstrom zur Pleiße (**3641**, **52341**) sowie zweier Pegel im nördlichen Anstrom in Richtung Pleiße (**4121**, **4661**), vgl. Lage in ***Abb. 5-3***. Insgesamt wird die gemessene Entwicklung an allen vier Messstellen mit dem Modell gut nachvollzogen. Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung der Ganglinien (s. ***Abb. 5-5***) ist grundlegend zwischen Nord- und Südanstrom zur Pleiße zu unterscheiden. Während der Grundwasserwiederanstieg im Norden zum gegenwärtigen Zeitpunkt schon nahezu als abgeschlossen gelten kann und langfristig lediglich nur noch ein leichter Anstieg zu verzeichnen ist (**schwarze** und **rote** Linie), werden die Grundwasserstände im Südanstrom noch wesentlich durch die Bergbauaktivitäten im Tagebau Vereinigtes Schleenhain der MIBRAG beeinflusst. Mit Beginn der Verkippungen und einem fortschreitenden Rückgang der Wasserhaltungen sind hier noch deutliche Grundwasserwiederanstiege zu erwarten (**blaue** und **magenta** Linie).

Diese letzte Aussage unterstreicht nachdrücklich den Hinweis, auch den Südzufluss und damit die Stofffrachten zur Pleiße durch geeignete Maßnahmen zu reduzieren.

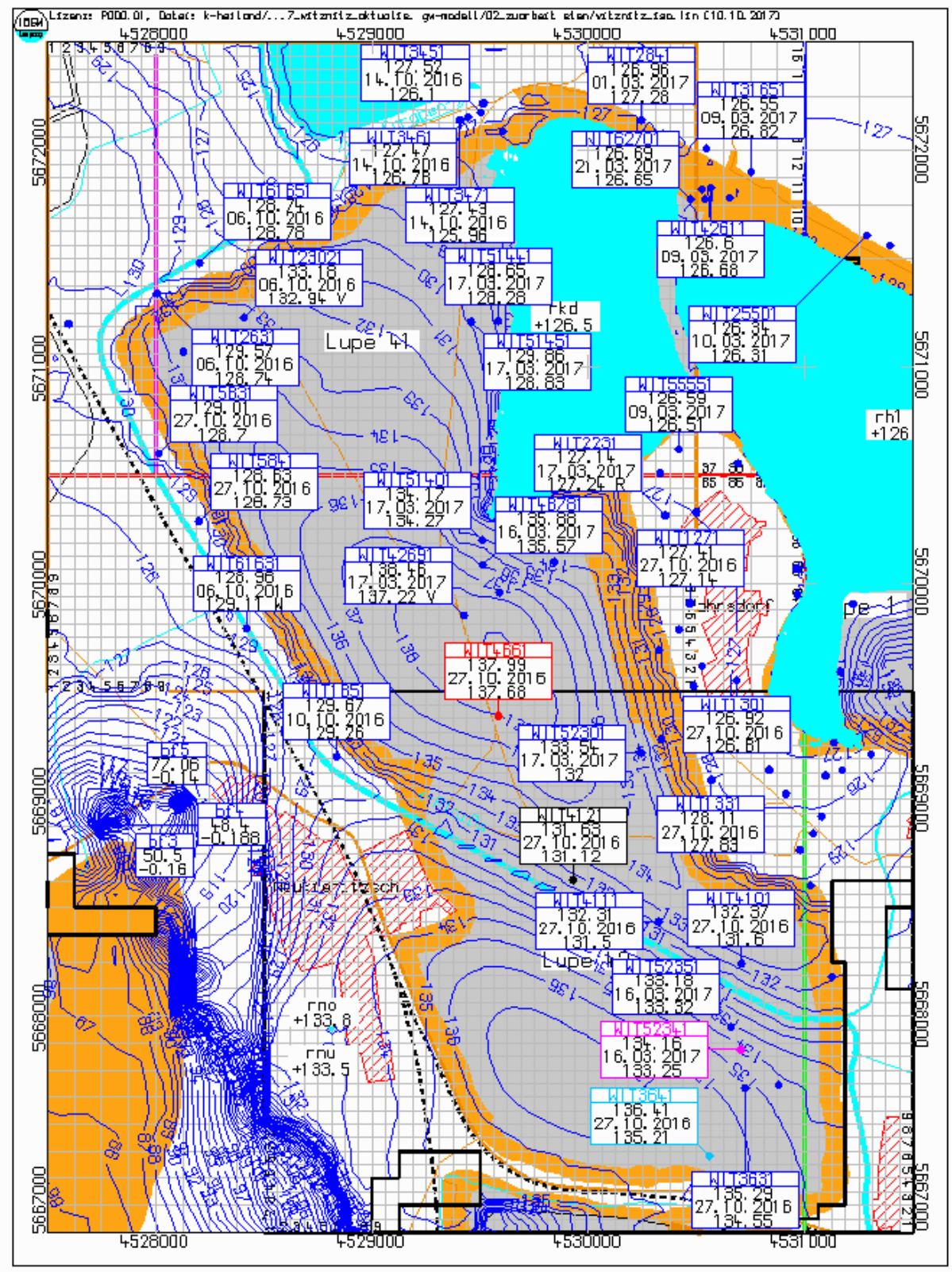

Abb. 5-3 Berechneter Hydroisohypsenplan für die Jahresscheibe 2017 (10/2017)

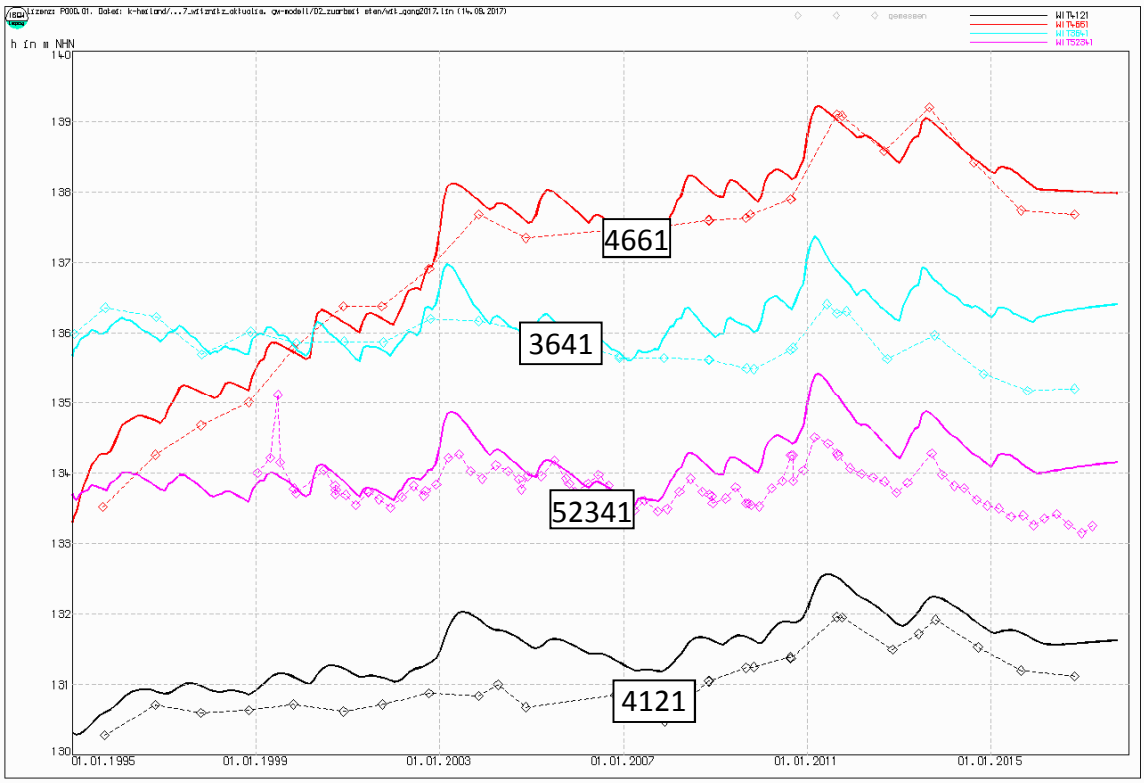

Abb. 5-4 Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen im Kippengebiet Witznitz; 3641 und 52341 im Südanstrom zur Pleiße, 4661 und 4121 im Nordanstrom zur Pleiße (Darstellung bis 10/2017)

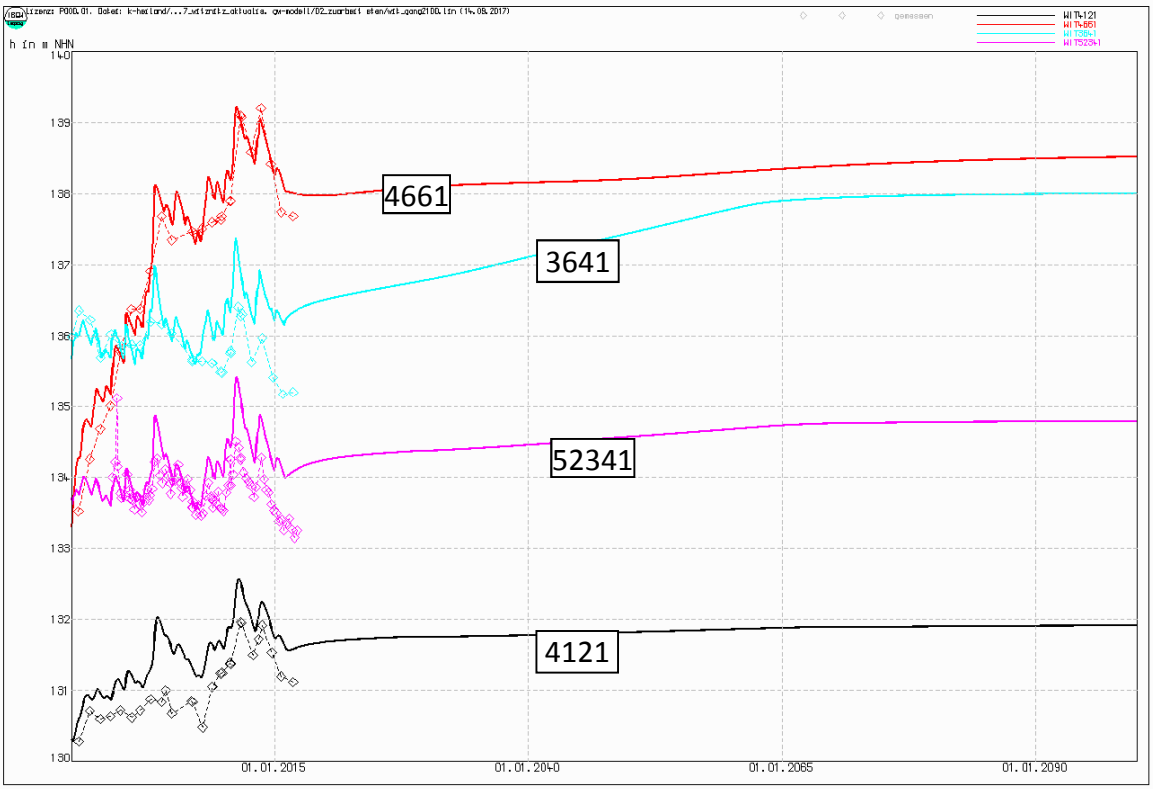

Abb. 5-5 Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen im Kippengebiet Witznitz; 3641 und 52341 im Südanstrom zur Pleiße, 4661 und 4121 im Nordanstrom zur Pleiße (Darstellung bis 01/2100)

6 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 drei bzw. zwei volle Vegetationsperioden zur Verfügung. Auf der Lysimeterstation Brandis wurden parallel die Lysimeter 14/2 und 14/4 mit Luzerne/Knaulgras bzw. reiner Luzerne betrieben. Die 12`er und 13`er Lysimeter dienen als Referenzlysimeter und zur Bewertung des geplanten einjährigen Fruchtwechsels nach 4 Jahren Luzerneanbau.

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

Auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche wurden 2017 5 Ernten durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen lassen sich folgende Kernaussagen treffen:

- Die Erntemenge war mit 676 dt FM/ha höher als in den Vorjahren.
- Im Vergleich dazu lagen die Erträge 2016 bei 649 dt FM/ha und 2015 bei 586 dt FM/ha.
- Die Werte liegen auch leicht über den mittleren Erträgen auf den Versuchsparzellen VF1-4 bis VF1-6 für die Jahre 2009 bis 2016 mit 612 dt FM/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 waren nicht erkennbar.
- Die Trockenmassen-Erträge auf den Kontrollflächen K1 bis K6 waren in den Jahren 2015 bis 2017 im Mittel etwa gleich groß.
- Die Trockenmassen-Erträge auf den Kontrollflächen K7 und K8 lagen auch 2017 wieder unter den Werten der Kontrollflächen K1 bis K6.

Auf den Lysimetern wurden 2017 4 Ernten durchgeführt, da am 05.10.2017 praktisch keine Frischmasse mehr vorhanden war. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen lassen sich folgende Kernaussagen treffen:

- Die Erträge waren 2017 mit 303 dt FM/ha wie auch in den Vorjahren sehr niedrig, 2016: 375 dt FM/ha und 2015: 387 dt FM/ha.
- Ursache für die Mindererträge auf den Lysimetern waren ungünstige Witterungsbedingungen und Trockenschäden, der Inseleffekt bei freistehenden Lysimetern und die unterschiedlichen Klimawerte zwischen Brandis und Witznitz.
- Letztendlich bedeutet der Unterschied in den Erträgen auch, dass die Grundwasserneubildung auf der Kippe Witznitz viel geringer ist als an den Lysimetern gemessen.
- Die an den Lysimetern gemessenen Sickerwassermengen betrugen im Jahr 2017
  - Luzerne 65 mm

- Luzerne/Knaulgras 77 mm
- Referenzwert (Winterweizen) 91 mm

Nicht zuletzt auch aus den stark differenzierten Erträgen auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche und den Lysimetern (letztere wurden mit dem Jahresbericht 2016 zur modellgestützten Wirkungsprognose der Maßnahme am Schutzgut Pleiße verwendet) sollte ab 2018 ein Nachsorgeprojekt durchgeführt werden, um eine Erfolgskontrolle der realisierenden Maßnahmen durchzuführen. Die Bewirtschaftungswirkung des seit 2017 vollumfänglich umgesetzten Luzerneanbaus auf der Kippe sollte mittels Errichtung und Betrieb eines Referenz-Messprofils evaluiert werden. Der Weiterbetrieb der beiden Lysimeter in Brandis sollte auch zur Vorbereitung und Begleitung einer optimierten Fruchtfolge mit einjähriger Zwischenfrucht-Bewirtschaftung nach 4jährigem Luzerneanbau dienen. Diese Fruchtwechsel stehen für die Bewirtschaftung der Kippenflächen der Osterland GmbH ab den Jahren 2018/2019 an. In Anlage 4 ist ein von GFI erarbeiteter und mit dem IBGW und der BfUL abgestimmtes Konzept für die technischen Ergänzungsmaßnahmen eines Nachsorgeprojektes von 2018 bis 2022 enthalten.