

Ergänzung zum JB 2016

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

Richtigstellung und Bewertung der Sickerwassermengen der Lysimeter 14/2 und 14/4 im Jahr 2016

1 Veranlassung

Im September 2017 wurde nach Übergabe der Tageswerte der Sickerwassermengen der Lysimeter 14/2 und 14/4 durch das BfUL festgestellt, dass die im Januar 2017 übergebenen Sickerwassermengen fehlerhaft waren. Gemäß dem Jahresbericht 2016 vom 30.03.2017 betrug die Sickerwassermengen im Jahr 2016 in beiden 14er-Lysimetern 0 mm. Die im September 2017 übergebenen Sickerwassermengen weisen jedoch folgende Sickerwassermengen für das Jahr 2016 aus:

Lysimeter 14/2 (Knautgras-Luzerne) 81,3 mm

Lysimeter 14/4 (Luzerne) 49,7 mm

Demnach sind folgende Abbildungen im Bericht fehlerhaft und werden hier korrigiert dargestellt:

Abb. 3-24 auf Seite 33/59

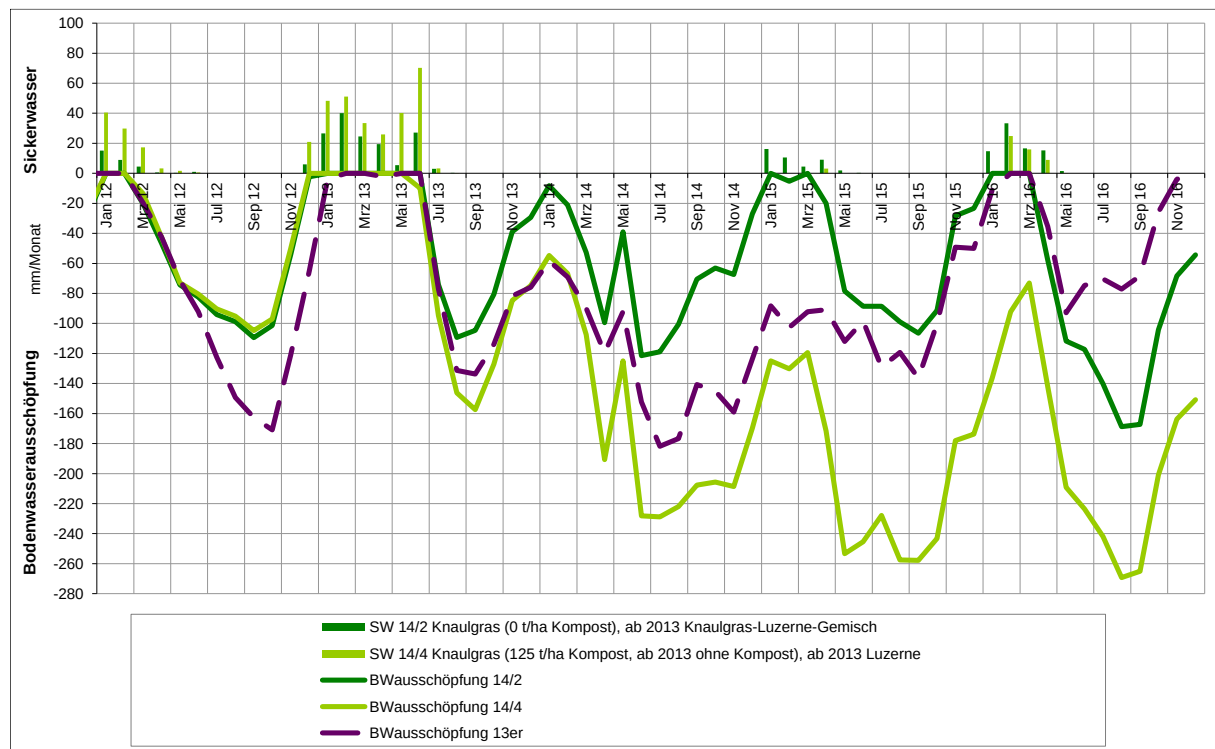
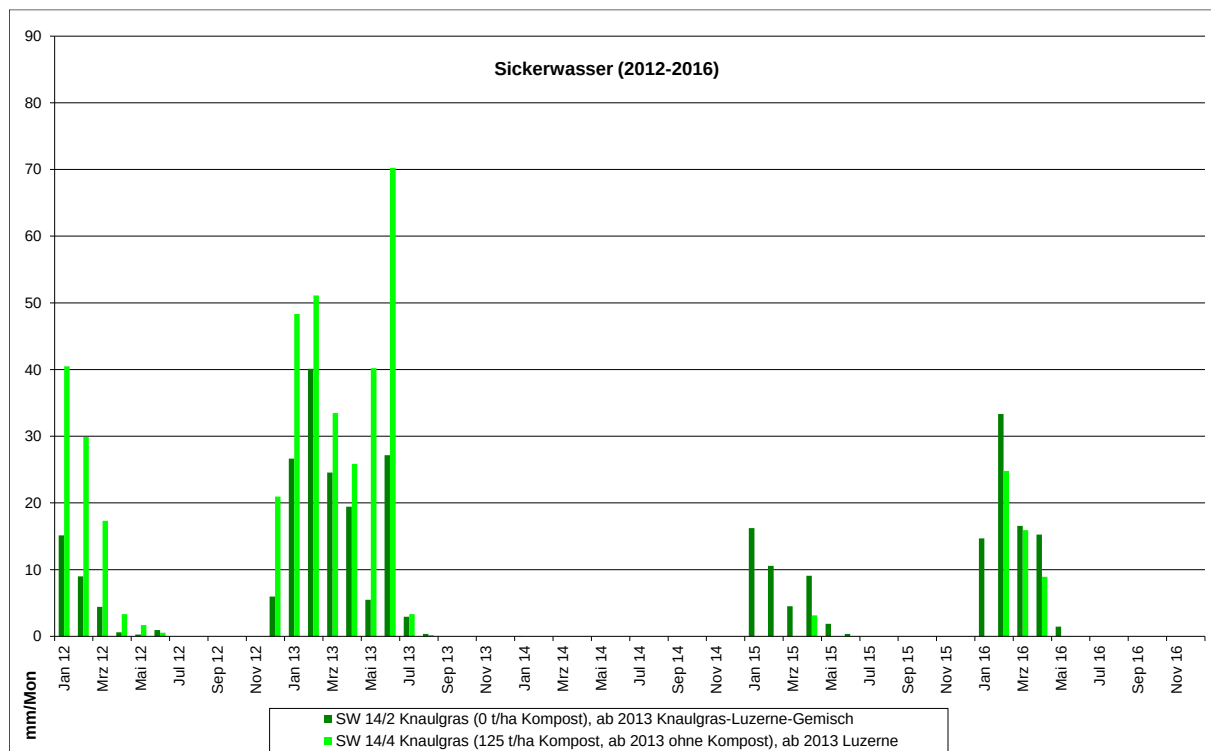
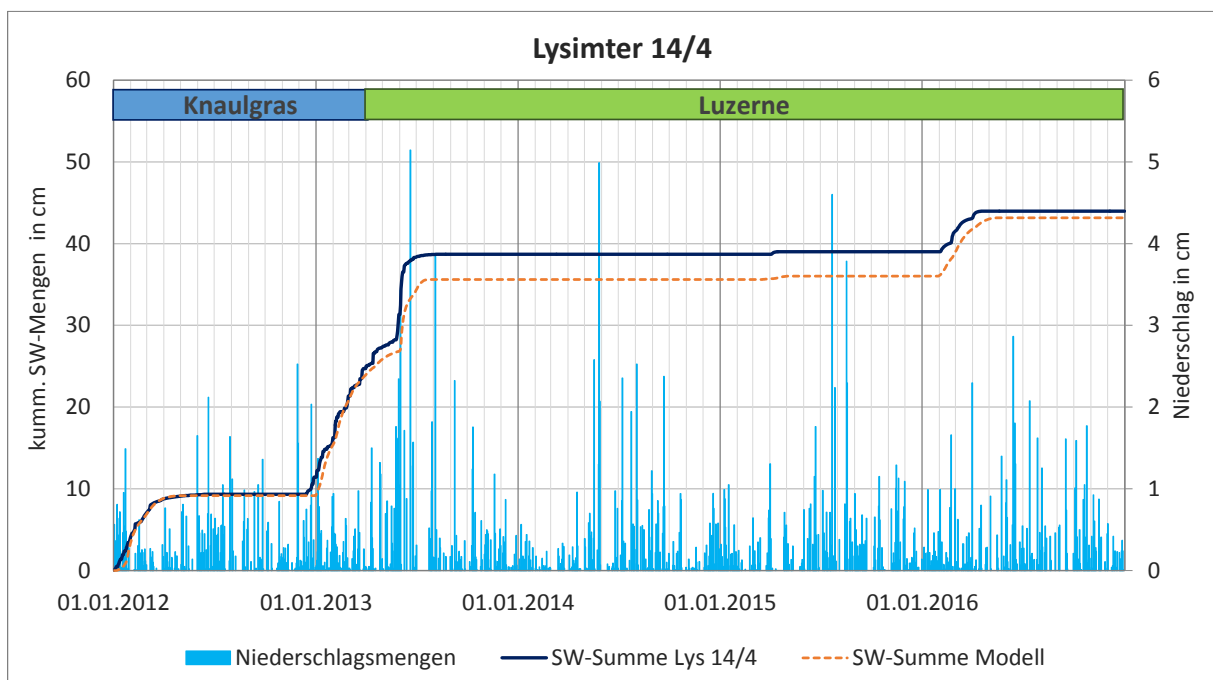
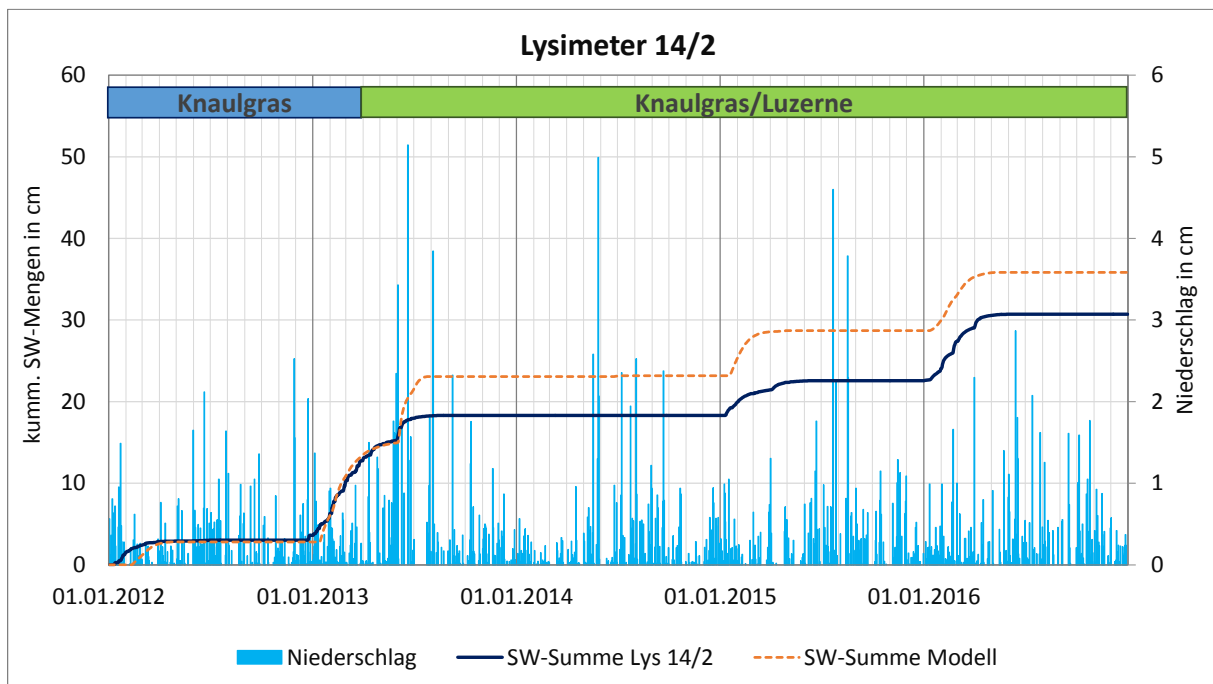


Abb. 3-24 Darstellung der Bodenwasserausschöpfung der 14er Lysimeter

Abb. 3-26 auf Seite 34/59**Abb. 3-26** Darstellung der Sickerwassermengen auf den 14er Lysimetern

Die im Jahresbericht 2017 (derzeit noch in Bearbeitung) mit dem 2016 neu kalibrierten HYDRUS-Modell berechneten Sickerwassermengen für 2016 stimmen mit den tatsächlich gemessenen Sickerwassermengen gut überein. Die Ergebnisse der Modellrechnungen für die beiden 14er Lysimeter aus dem JB 2017 werden nachfolgend dargestellt. Die Differenz zwischen den gemessenen und modellierten Werten im Juni 2013 ergibt sich, wie bereits im Jahresbericht 2016 beschrieben, durch den anfänglich spärlichen Bewuchs der Lysimeter nach Neuaussaat von Luzerne auf den vorher mit Knautgras bewachsenen Lysimetern.



Der Grund für die auch im Luzerne-Lysimeter 14/4 gemessenen Sickerwassermengen zu Beginn des Jahres 2016 waren die vergleichsweise hohen Niederschläge von 306 mm im Winterhalbjahr 2015/16 (s. Tabelle). Hingegen waren die Niederschläge in den Winterhalbjahren WHJ 2013/14 mit 175 mm und 2014/15 mit 230 mm geringer, was zu geringen Sickerwassermengen führte.

Die Niederschläge in den Sommerhalbjahren (SHJ) waren etwa ähnlich groß, wobei das SHJ 2014 mit 462 mm niederschlagsreicher war, als die beiden SHJ 2015 und 2016. In allen Sommerhalbjahren wurde auf beiden Lysimetern kein Sickerwasser gemessen. Die Messwerte bestätigen die Modellberechnungen.

Tabelle Korrigierte Niederschläge an der Lysimeterstation Brandis für die hydrologischen Halbjahre WHJ 2013/14 bis SHJ 2016

		P _{korrr.} Brandis
WHJ 2013/14	Nov'13 – Apr'14	175 mm
SHJ 2014	Mai'14 – Okt'14	462 mm
WHJ 2014/15	Nov'14 – Apr'15	230 mm
SHJ 2015	Mai'15 – Okt'15	394 mm
WHJ 2015/16	Nov'15 – Apr'16	306 mm
SHJ 2016	Mai'16 – Okt'16	380 mm

Großtechnische Umsetzung der Erfahrungen des Pilotversuchs Witznitz zur Reduzierung der Eiseneinträge in die Pleiße Jahresbericht 2016



Luzernekultur auf der Kippe Witznitz im Jahr 2016

Dresden, den 30.03.2017

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

LMBV Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-
Verwaltungsgesellschaft mbH
Knappenstraße 1, 01968 Senftenberg



40048735 vom 02.12.2013 mit Änderung vom 01.07.2016

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

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

Dresden, den 30.03.2017

Dr. F. Bilek
(Geschäftsführer)

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

Bankverbindung: Deutsche Kreditbank AG, IBAN: DE08120300001020138416, BIC BYLADEM1001

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
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 Versuchs- und Kontrollflächen	13
3.3 Ernteerträge der Lysimeter (BfUL)	15
3.4 Vergleich der Ernteerträge	20
3.5 Phänologie	22
3.5.1 Wuchshöhen von Luzerne und Knautgras auf den Versuchs- und Kontrollflächen	22
3.5.2 LAI für Luzerne und Knautgras auf den Versuchs- und Kontrollflächen	24
3.5.3 Wuchshöhen auf den Lysimetern	25
3.5.4 LAI für Luzerne und Knautgras auf den Lysimeter	27
3.6 Klima	27
3.7 Bodenwasserhaushalt an den Lysimetern	30
4 Düngung	36
5 Sanierungswirksame Umsetzung der Ergebnisse des Pilotversuches	37
6 Laufendhaltung der Modelle	40
6.1 Modellkalibrierung Wasserhaushaltsmodell	40
6.2 Grundwassermodell	42
7 Prognose	46
7.1 Prognose der Grundwasserneubildung mit dem Wasserhaushaltsmodell	46
7.2 Prognose zur Entwicklung der GW-Stände auf der Kippe Witznitz	49
7.2.1 Ganglinien	49
7.2.2 Isohypsen- und Differenzenpläne	52
7.2.3 Auswirkung auf den Grundwasserspiegelgradienten – Schnittbetrachtung	53
7.2.4 Betrachtung der Volumenströme	55
8 Zusammenfassung	57
9 Empfehlungen	59
9.1 Empfehlung für das Jahr 2017	59
9.2 Prognose- und Erfolgskontrolle 2018 – 2022	59

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1	Lage der Versuchsflächen und der Kontrollpunkte K1 bis K8 auf den Bewirtschaftungsflächen A bis E im Südbereich der Kippe.....	12
Abb. 3-2	Darstellung der Feuchtmassenerträge von Luzerne, Knautgras bzw. Luzerne/Knautgras auf den Lysimetern in [dt FM/ha] gem. Tab. 3-6	18
Abb. 3-3	Darstellung der Luzerne-Ernteerträge auf den Lysimetern in [dt TM/ha] im Jahr 2016 (Quelle: Lysimeterstation Brandis).....	19
Abb. 3-4	Ernteerträge Knautgras bzw. Knautgras/Luzerne auf den Versuchsflächen und Lysimetern	20
Abb. 3-5	Ernteerträge Luzerne auf den Versuchsflächen und den Lysimetern.....	20
Abb. 3-6	Ernteerträge Luzerne auf den Bewirtschaftungsflächen (K1 bis K8)	21
Abb. 3-7	Wuchshöhe Luzerne auf den Versuchsflächen VF1-4 bis VF1-6 (Mittelwert)	22
Abb. 3-8	Wuchshöhe Knautgras/Luzerne auf den Versuchsflächen VF1-1 bis VF1-3 (Mittelwert)	22
Abb. 3-9	Wuchshöhe Luzerne auf den Kontrollflächen K1-K6 (Mittelwert).....	23
Abb. 3-10	Wuchshöhe Luzerne auf den 2016 hinzugekommenen Kontrollflächen K7-K8 (Mittelwert)	23
Abb. 3-11	Wuchshöhe für Luzerne auf den Versuchsflächen von 2009 bis 2016	24
Abb. 3-12	Wuchshöhe für Knautgras auf den Versuchsflächen von 2009 bis 2016	24
Abb. 3-13	LAI für Luzerne auf der Versuchsflächen von 2009 bis 2016	25
Abb. 3-14	LAI für Knautgras auf den Versuchsflächen von 2009 bis 2016	25
Abb. 3-15	Wuchshöhen für verschiedene Kulturen auf den Lysimetern von 2009 – 2016.	26
Abb. 3-16	LAI - Wert für die 14er Lysimeter 2009 - 2016.....	27
Abb. 3-17	Niederschläge in Brandis und Witznitz.....	28
Abb. 3-18	Lufttemperatur in Brandis und Witznitz	28
Abb. 3-19	Potenzielle Verdunstung in Brandis und Witznitz nach Turc-Wendling	29
Abb. 3-20	Klimatische Wasserbilanz in Brandis und Witznitz	29
Abb. 3-21	Darstellung der realen Verdunstung auf den 12er Lysimetern	30
Abb. 3-22	Darstellung der realen Verdunstung auf den 14er Lysimetern	31
Abb. 3-23	Darstellung der Bodenwasserausschöpfung der 12er Lysimeter	32
Abb. 3-24	Darstellung der Bodenwasserausschöpfung der 14er Lysimeter	33
Abb. 3-25	Darstellung der Sickerwassermengen auf den 12er Lysimetern	34
Abb. 3-26	Darstellung der Sickerwassermengen auf den 14er Lysimetern	34
Abb. 5-1	Plan der Luzerneanbaufläche im Südbereich der Kippe (Quelle: LMBV).....	37
Abb. 5-2	Umgesetzte Meliorationsmaßnahmen auf der Grundlage des G.U.B.-Bodengutachtens (2013)	38
Abb. 6-1	Kalibrierungsergebnis für das Knautgras bzw. Knautgras/Luzerne-Lysimeter 14/2	41
Abb. 6-2	Kalibrierungsergebnis für das Knautgras bzw. Luzerne-Lysimeter 14/4	41
Abb. 6-3	Berechneter Hydroisohypsenplan für die Jahresscheibe 2016 (10/2015).....	43

Abb. 6-4	Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen im Kippengebiet Witznitz; 3641 und 52341im Südanstrom zur Pleiße, 4661 und 4121 im Nordanstrom zur Pleiße	44
Abb. 6-5	Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen im Kippengebiet Witznitz; 3641 und 52341im Südanstrom zur Pleiße, 4661 und 4121 im Nordanstrom zur Pleiße (Ausschnitt bis 2015)	44
Abb. 7-1	Im Grundwassermodell ausgewiesene Hydrotupe (rote Umrandung: aktuelles Anbaugebiet Luzerne)	47
Abb. 7-2	Sickerwasserraten auf den Hydrotopen 1 (südl.) und 4 für das Szenario 1 (dauerhafter Luzerneanbau)	48
Abb. 7-3	Sickerwasserraten auf den Hydrotopen 1 (südl.) und 4 für das Szenario 2a (4 Jahre Luzerne, 1 Jahr Fruchtfolgewechsel)	48
Abb. 7-4	Sickerwasserraten auf den Hydrotopen 1 (südl.) und 4 für das <i>Szenario 2b</i> (4 Jahre Luzerne, 3 Jahre Fruchtfolgewechsel)	48
Abb. 7-5	Lage der virtuellen Beobachtungspunkte (schwarz) im Untersuchungsgebiet mit Isohypsen Stand 01.01.2016	49
Abb. 7-6	Ganglinien der mittleren GWN und entsprechender GW-Spiegel am Beobachtungspunkt im Hydrotop 1	50
Abb. 7-7	Ganglinien der mittleren GWN und entsprechender GW-Spiegel am Beobachtungspunkt im Hydrotop 4	51
Abb. 7-8	Differenzen der Isohypsen von 2016 zu 2100	53
Abb. 7-9	Schnittspuren (schwarze, fette Linien) von Hydrotop 1 sowie Hydrotop 4 in südwestliche Richtung zum Gerinne der Pleiße mit berechneten Isohypsen Stand 01.01.2016.....	54

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1	Übersicht zur Bewirtschaftung der Lysimeter in Brandis und Witznitz von 2009 bis 2017	10
Tab. 3-1	Ernteerträge bezogen auf Feuchtmasse 2016 in [dt FM/ha]	13
Tab. 3-2	Ernteerträge bezogen auf Trockenmasse 2016 in [dt TM/ha].....	13
Tab. 3-3	Jährliche Ernteerträge 2009 bis 2016 auf der Versuchsfläche VF1.....	15
Tab. 3-4	Bewirtschaftung der Lysimeter 12/1 bis 12/3.....	16
Tab. 3-5:	Bewirtschaftung der Lysimeter 14/2 und 14/4	16
Tab. 3-6	Ernteerträge Frischmasse FM auf den Lysimetern in dt FM/ha von 2009 bis 2016 (Knautgras, Luzerne bzw. Knautgras/Luzerne)	17
Tab. 3-7:	Trockenmassenerträge im Jahr 2016 auf den 14er Lysimetern in [dt TM/ha] (Quelle: Lysimeterstation Brandis).....	19
Tab. 3-8	Verdunstungshöhen auf den Lysimetern für die verschiedenen Anbaukulturen von 2010 bis 2016	32

Tab. 6-1	Auf den Lysimetern gemessene und vom Modell berechnete reale Evapotranspiration	42
Tab. 7-1	angenommene GWN-Rate für die Prognose der Sickerwasserraten im Bodenwasserhaus-haltsmodell HYDUS 1D.....	47
Tab. 7-2	Für den Ist-Zustand (01.01.2016) und die Szenarien 0 bis 2b berechneten Gradienten entlang der Schnittpur aus Abb. 7 9	54
Tab. 7-3	Volumenströme in [m ³ /min] für die hydrogeologischen Schnitte in den Hydrotopen 1 und 4 sowie basierend auf dem Bilanzgebiet 4 OST (siehe Anlage 3 [6])	56

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Prüfberichte und Probendurchlaufzettel für die Bestimmung der Ernteerträge
Anlage 2	Bilddokumentation
Anlage 3	IBGW: Großtechnische Umsetzung der Erfahrungen des Pilotversuchs Witznitz zur Reduzierung der Eiseneinträge in die Pleiße - Jahresbericht 2016; Modellierungsergebnisse zur reduzierten Grundwasserneubildung, 01.02.2017
Anlage 4	Erweitertes Monitoringkonzept zur Prognosefortschreibung 2018 bis 2022

Abkürzungsverzeichnis

α	Van-Genuchten-Parameter ($1/\alpha$ 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	Knautgras
LAI	Blattflächenindex (engl. <u>L</u> ea <u>f</u> <u>a</u> re <u>a</u> <u>i</u> nd <u>e</u> x)
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 (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 Bearbeitungsstapen 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 Versuchspartzen 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 Bearbeitungsstufe 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 Feldversuchsfächen und den Lysimetern zu begleiten und auszuwerten ist. Die vorliegenden Berichte vom 04.08.2015 und 25.05.2016 dokumentieren die Aktivitäten und wichtigsten Monitoringergebnisse der Jahre 2014 und 2015.

Im Jahr 2016 wurde das GFI durch die LMBV mit der Bestellung 45048735 vom 01.07.2016 mit der Weiterführung des Feldversuchs bis 2017 beauftragt. Der vorliegende Bericht dokumentiert ebenfalls die Aktivitäten und wichtigsten Monitoringergebnisse des Jahres 2016.

2 Zusammenstellung der Arbeiten

Zum besseren Verständnis der Bewirtschaftung aller Lysimeter sind in **Tab. 2-1** die landwirtschaftlichen Kulturen vom Versuchsbeginn 2009 bis 2016 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/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

Lu...Luzerne, Wr....Winterraps, Ww...Winterweizen, Wg...Wintergerste, Kg...Knäulgras, 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** 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** befindet sich ein **Knäulgras-Luzerne-Bestand**.

Im **Jahr 2016** wurden folgende wichtige Aktivitäten durchgeführt und Aufgaben gelöst:

- 1) Die Lysimeter 14/2 und 14/4 sowie die Versuchsfläche 1 wurden synchron bewirtschaftet.
- 2) Es wurden insgesamt **13 Vor-Ort Termine** auf den Versuchsflächen realisiert, an denen u. a. Frischmasse geerntet, Wachstumsparameter bestimmt und gedüngt wurden
11.02.2016, 23.02.16, 23.03.2016, 27.04.2016, 17.05.2016, 24.05.2016, 16.06.2016, 28.06.2015, 27.07.2016, 17.08.2016, 25.08.2016, 02.09.2016, 26.10.2016
- 3) Es erfolgten **4 Ernten** zur Bestimmung der pflanzenphysiologischen Parameter.
17.05.2016, 28.06.2015, 25.08.2016, 26.10.2016
- 4) Auf den Lysimetern 12/1, 12/2 und 12/3 wurde entsprechend der landwirtschaftlichen Fruchtfolge Winterraps angebaut.
- 5) Auf den Referenzlysimetern 13/1 und 13/2 wurde entsprechend der Neubestellung des Kippennordbereiches Wintergerste angebaut.
- 6) Auf der im August 2015 ausgesäten Teilfläche E wurden 2016 zwei weitere Kontrollpunkte festgelegt (K7 und K8)
- 7) Die Versuchsfläche 1 wurden **dreimal gedüngt**.
27.04.2016, 24.05.2016, 02.09.2016
- 8) Die Osterland Agrar GmbH unterstützte das Vorhaben durch viermaliges Ernten der gesamten Versuchsfläche 1.
- 9) Mit der Osterland Agrar GmbH wurden die Erntetermine sowie die Weiterführung des großtechnischen Versuches abgestimmt.
- 10) Zu den jeweils aktuellen Problemen erfolgten im Rahmen der vor-Ort-Termine und weiterer gesonderter Termine **9 Beratungen** mit der

Lysimeterstation Brandis	02.02.2016, 12.05.2016, 27.07.2016
IBGW Leipzig	27.07.2016
Osterland Agrar GmbH	11.02.2016, 04.05.2016, 17.08.2016
LMBV mbH	11.08.2016, 10.01.2017
- 11) Im Rahmen der Wasserhaushaltsmodellierung wurden 2016 die Datensätze für Klima, Wasserhaushalt und Aufwuchs aktualisiert.
- 12) Durch das IBGW erfolgte 2016 die Einpflegung aktueller Grundwasserstände, die Aktualisierung des Flutungsszenarios für den Kahnsdorfer See sowie die Ausweisung von berechneten Hydroisohypsen und Grundwasserganglinien.
- 13) Zusätzlich wurden durch das GFI im Zuge der Aktualisierung der Wasserhaushaltsmodelle (HYDRUS) Fruchtfolgeszenarien berechnet, die den Sickerwassertransfer tiefenabhängig ausweisen.
- 14) 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 Versuchsflächen und der Kontrollpunkte K1 bis K8 auf den Bewirtschaftungsflächen A bis E im Südbereich der Kippe

Die Teilflächen A, C und D wurde erstmalig 2015 mit Luzerne bepflanzt (K1 bis K6). 2016 erfolgte die Aussaat von Luzerne dann auf der Teilfläche E, sodass die Gesamtfläche etwa 187 ha betrug. Im kommenden Jahr wird zusätzlich noch Teilfläche B mit Luzerne bewirtschaftet, sodass die Gesamtfläche dann 224 h beträgt.

3.2 Ernteerträge der Versuchs- und Kontrollflächen

Auf den Versuchsflächen (VF1-1 bis VF1-6) und den Kontrollflächen (K) wurden 2016 die in **Tab. 3-1** und **Tab. 3-2** zusammengestellten Erträge in Frischmasse (FM) und Trockenmasse (TM) erzielt.

Tab. 3-1 Ernteerträge bezogen auf Feuchtmasse 2016 in [dt FM/ha]

	1. Ernte	2. Ernte	3. Ernte	4. Ernte	Summe
VF1-1	353,2	150,1	48,4	47,8	599,5
VF1-2	298,8	169,2	39,6	47,8	555,4
VF1-3	311,6	98,5	55,2	47,8	513,1
VF1-4	401,2	201,2	39,2	33,0	674,7
VF1-5	404,8	205,9	36,4	33,0	680,1
VF1-6	351,2	243,6	41,6	33,0	669,4
K1	332,4	266,4	190,0	56,8	845,6
K2	334,4	269,0	165,6	63,5	832,5
K3	328,8	210,0	156,0	63,5	758,2
K4	255,6	212,4	150,4	54,4	672,8
K5	262,0	216,5	124,8	54,5	657,8
K6	241,6	149,0	91,2	54,5	536,3
K7	159,6	147,9	64,8	34,7	407,0
K8	240,8	141,1	66,0	34,7	482,6

Tab. 3-2 Ernteerträge bezogen auf Trockenmasse 2016 in [dt TM/ha]

	1. Ernte	2. Ernte	3. Ernte	4. Ernte	Summe
VF1-1	71,8	34,0	15,7	7,9	129,4
VF1-2	62,5	36,6	14,6	7,9	121,6
VF1-3	63,6	23,5	16,2	7,9	111,3
VF1-4	84,6	48,3	13,4	5,4	151,8
VF1-5	74,8	50,0	11,4	5,4	141,7
VF1-6	68,3	54,4	12,5	5,4	140,6
K1	59,0	50,3	56,8	10,5	176,6
K2	61,8	55,2	51,4	10,8	179,1
K3	70,1	48,9	45,9	10,8	175,6
K4	52,1	47,8	51,6	9,2	160,7
K5	53,6	44,0	40,4	9,4	147,5
K6	54,4	34,6	28,5	9,4	126,9
K7	37,0	31,7	25,4	6,7	100,7
K8	45,7	31,6	27,4	6,7	111,4

Die vergleichende Auswertung der **Trockenmassen** auf den ausschließlich mit Luzerne bestellten Parzellen VF1-4 bis VF1-6 der Versuchsfläche VF1 zeigt, dass auch im 8. Vegetationsjahr auf den Versuchsflächen noch hohe Erträge für die reine Luzerne vorhanden waren. Mit durchschnittlich 145 dt TM/ha/a (s. **Tab. 3-2**) betrug die Erntemenge etwa 90 % des durchschnittlichen Ernteertrages auf den Kontrollflächen K1 bis K6 (Ø 161 dt TM/ha/a). Im Vergleich zum Vorjahr sind die Erträge auf den Kontrollflächen K1 bis K6 angestiegen.

An den Kontrollflächen K7 und K8 waren die Ernteerträge mit durchschnittlich 121 dt TM/ha/a für das 1. Vegetationsjahr geringer, als im 1. Vegetationsjahr auf den Kontrollflächen K1 bis K6. Die Niederschläge im Jahr 2016 waren geringer als das langjährige Mittel. Unter Ausschluss des Juni 2016 waren alle Sommermonate niederschlagsarm im Vergleich zum langjährigen Monatsmittel (s. Abschnitt 3.6). Der Luzernebestand auf den Kontrollflächen K1 bis K6 ist bereits im 3. Vegetationsjahr und besitzt wahrscheinlich eine größere Wurzeldichte und -tiefe, sodass die Bodenausschöpfung hier größer ist, als beim jüngeren Luzernebestand auf den Kontrollflächen K7 und K8. Trockene Perioden, wie sie 2016 auftraten, hatten hierbei ggf. einen geringeren negativen Einfluss auf die Ernteerträge.

Die Ernteerträge auf den Versuchsflächen VF1-1 bis VF1-3 (Knaulgras/Luzerne-Gemisch) waren mit durchschnittlich 121 dt TM/ha/a 16 % geringer, als auf den mit reiner Luzerne bewirtschafteten Versuchsflächen.

Die Auswertung der **Feuchtmassen** kommt zum gleichen Ergebnis. Die Ernteerträge auf den Versuchsflächen VF1-4 bis VF1-6 mit dem reinen Luzernebestand entsprechen mit etwa 675 dt FM/ha/a etwa dem Ernteertrag auf den Kontrollflächen K1 bis K6 mit 717 dt FM/ha/a. Die Ernteerträge auf den Kontrollflächen K7 und K8, die erstmalig seit 2016 mit Luzerne bewirtschaftet werden, sind mit 445 dt FM/ha/a geringer und betragen nur etwa 62 % der Erträge auf den älteren Bewirtschaftungsflächen.

Die Erträge auf den Versuchsflächen VF1-1 bis VF1-3 (Knaulgras/Luzerne-Gemisch) waren mit durchschnittlich 556 dt TM/ha/a etwa 17 % geringer, als auf den mit reiner Luzerne bewirtschafteten Versuchsflächen.

Aufgrund der bereits aus den Ergebnissen des Projektes abgeleiteten Umsetzung der großflächigen Aussaat von Luzerne ist dem Vergleich der Ernteerträge der Kontrollflächen K1 bis K6 mit den Parzellen VF1-4 bis VF1-6 der Versuchsfläche VF1 eine höhere praktische Bedeutung beizumessen als einem Vergleich unter Berücksichtigung der mit Knaulgras bewachsenen Flächen.

Der **Trockenmasseanteil** im Jahr 2016 schwankte bei den einzelnen Ernten zwischen ~ 16 % und ~ 32 %. Für die **Versuchsfläche 1** ergaben sich folgende Durchschnittswerte:

1. Ernte	Knaulgras/Luzerne	20,6 %
	Luzerne	19,7 %
2. Ernte	Knaulgras/Luzerne	22,7 %
	Luzerne	23,5 %

3. Ernte	Knautgras/Luzerne	32,9 %
	Luzerne	31,9 %
4. Ernte	Knautgras/Luzerne	16,6 %
	Luzerne	16,5%

Für die **Kontrollflächen** wurden folgende Ergebnisse erreicht:

1. Ernte	K1 bis K6 Luzerne	20,2 %	K7 bis K8 Luzerne	21,2 %
2. Ernte	K1 bis K6 Luzerne	21,5 %	K7 bis K8 Luzerne	21,9 %
3. Ernte	K1 bis K6 Luzerne	31,4 %	K7 bis K8 Luzerne	40,4 %
4. Ernte	K1 bis K6 Luzerne	17,4 %	K7 bis K8 Luzerne	19,3 %

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

Tab. 3-3 zeigt als Übersicht die Ernteergebnisse aller 8 Ernten von 2009 bis 2016 auf der Versuchsfläche VF1.

Tab. 3-3 Jährliche Ernteerträge 2009 bis 2016 auf der Versuchsfläche VF1

Parzelle	2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016	
	FM	TM	FM	TM	FM	TM	FM	TM	FM	TM	FM	TM	FM	TM	FM	TM
	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha
VF1-1 Kg/Lu	228,2	74,4	321,7	76,8	292,9	86,6	317,4	80,3	545,0	112,7	685,2	164,9	525,2	122,2	599,5	129,4
VF1-2 Kg/Lu	229,5	76,9	343,5	78,4	196,3	57,7	431,2	85,8	598,0	119,6	643,4	153,7	535,2	117,4	555,4	121,6
VF1-3 Kg/Lu	165,3	49,2	327,0	74,1	158,9	49,8	214,7	80,5	608,0	110,0	593,8	130,4	469,0	111,5	513,1	111,3
VF1-4 Lu	183,4	52,1	537,7	110,9	594,5	170,0	396,2	124,0	782,0	154,6	760,0	155,9	563,4	119,1	674,7	151,8
VF1-5 Lu	207,8	54,6	533,4	107,9	648,6	146,4	506,8	112,0	787,0	140,4	842,7	177,3	648,5	162,1	680,1	141,7
VF1-6 Lu	199,1	53,1	584,6	114,2	693,5	165,9	451,0	132,6	855,0	145,0	968,4	178,4	599,8	130,7	669,4	140,6

3.3 Ernteerträge der Lysimeter (BfUL)

Bei der Bewirtschaftung der mit Winterraps bepflanzten Lysimeter 12/1 und 12/3 wurden 2016 folgende Tätigkeiten durchgeführt:

Auf den Lysimetern 12/1 bis 12/3 wurde im Jahr 2016 Winterraps angebaut. Die Lysimeter sollen auch in den kommenden Jahren mit landwirtschaftlichem Fruchtwechsel betrieben werden, um so einen Erkenntnisvorlauf zu den Auswirkungen des bei Luzerne ggf. notwendigen Fruchtwechsels zu gewinnen. Die Arbeiten auf den **12er Lysimetern** ist in **Tab. 3-4** für das Jahr 2016 zusammengefasst.

Tab. 3-4 Bewirtschaftung der Lysimeter 12/1 bis 12/3

Datum	Tätigkeiten
04.08.2015	Start der Bewirtschaftung 2016
05.08.2015	Stoppelsturz auf den Lysimetern
25.08.2015	Reststroh eingearbeitet
27.08.2015	Aussaat Winterraps auf den Lysimetern
01.09.2015	Herbizideinsatz
15.09.2015	Lysimeter z.T. nachgesät
23.10.2015	Insektizid-, Fungizideinsatz; Blattdünger
27.10.2015	WRaps teilweise auf den Lysimetern nachgepflanzt
03.01.2016	Vegetationsende
14.03.2016	1. Düngung SSA
21.03.2016	Vegetationsbeginn
04.04.2016	Insektizid-, Fungizideinsatz; Wachstumsregler; Blattdünger
11.04.2016	2. Düngung KAS
11.04.2016	Insektizid- und Fungizideinsatz
20.05.2016	Insektizid- und Fungizideinsatz
21.07.2016	Ernte
26.09.2016	Stoppelsturz
18.10.2016	Start der Bewirtschaftung 2017
19.10.2016	Saatbettbereitung und Aussaat Winterweizen
31.10.2016	Herbizideinsatz
29.11.2016	Vegetationsende

Die Tage, an denen auf den **Lysimetern 14/2 und 14/4** die Düngung und die Ernten erfolgten, sind in **Tab. 3-5** aufgeführt.

Tab. 3-5: Bewirtschaftung der Lysimeter 14/2 und 14/4

Datum	Tätigkeiten
15.03.2016	NPK-Düngung
21.03.2016	Vegetationsbeginn
18.05.2016	Ernte 1. Schnitt
26.05.2016	PK-Düngung
28.06.2016	Ernte 2. Schnitt
12.07.2015	PK-Düngung
29.08.2016	Ernte 3. Schnitt
09.09.2016	PK-Düngung
03.11.2016	Ernte 4. Schnitt
29.11.2016	Vegetationsende

Die beiden 14er Lysimeter wurden in Analogie zur Versuchsfläche VF1 mit einem Luzerne/Knaulgras-Gemisch (14/2) und reiner Luzerne (14/4) betrieben. Die 13er Lysimeter wurde 2016 mit Wintergerste bewirtschaftet (siehe auch **Tab. 2-1**).

In **Tab. 3-6** 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 2016 und für Luzerne auf den 12er Lysimetern bis 2013.

Tab. 3-6 Ernteerträge Frischmasse FM auf den Lysimetern in dt FM/ha von 2009 bis 2016 (Knaulgras, Luzerne bzw. Knaulgras/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 Winter- weizen 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 Winter- raps bepflanzt
28.06.16	90,5 ²⁾	96	---	---	
29.08.16	35 ²⁾	23	---	---	
03.11.16	25,5 ²⁾	16	---	---	

¹⁾ Knaulgras

²⁾ Knaulgras/Luzerne-Gemisch

In **Abb. 3-2** sind die monatlichen Ernteerträge für Luzerne entsprechend **Tab. 3-6** 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 entsprechen etwa den in den Vorjahren erwirtschafteten Erträgen, wobei die Erträge auf dem Lys. 14/4 mit reiner Luzerne geringfügig höher waren.

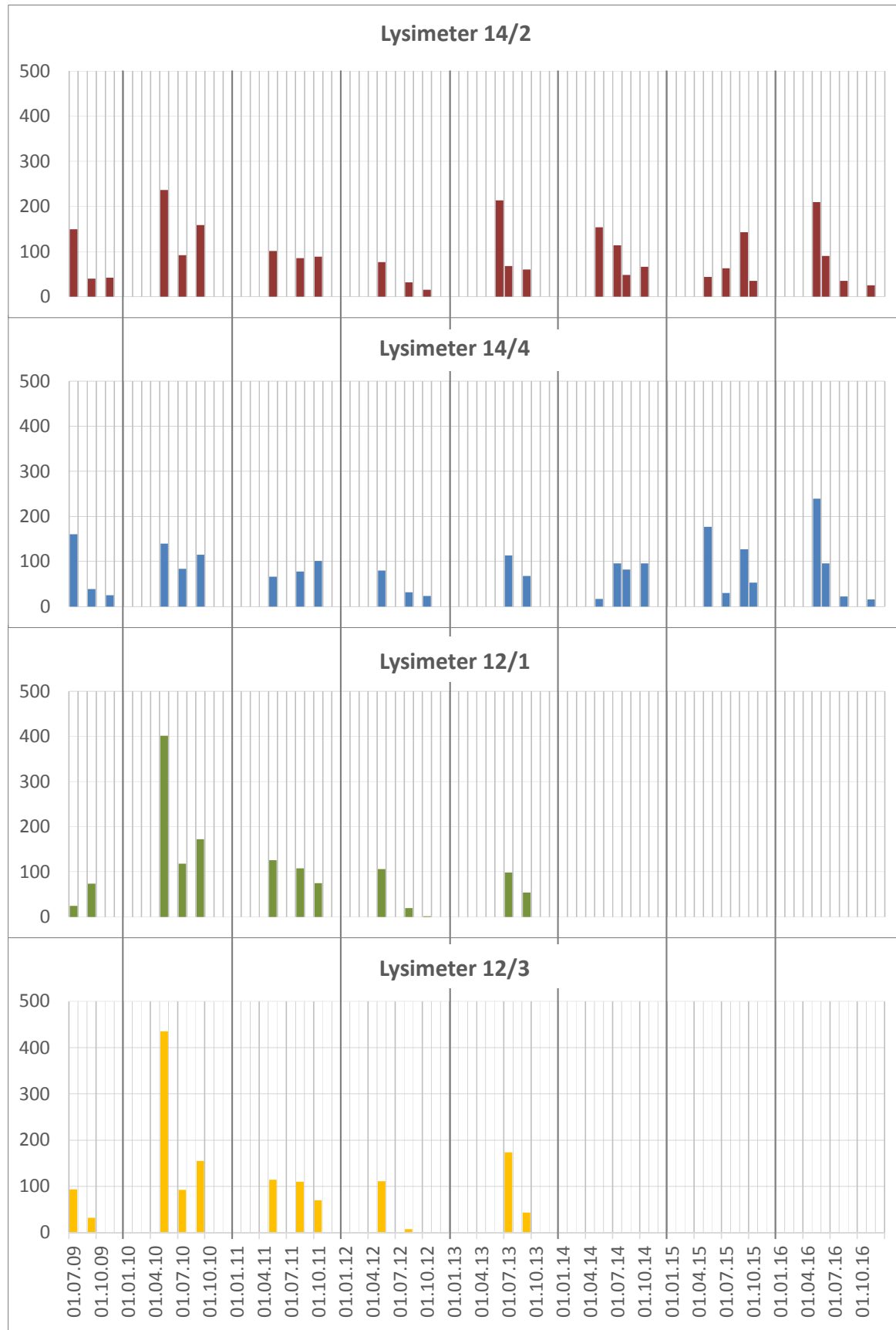


Abb. 3-2 Darstellung der Feuchtmassenerträge von Luzerne, Knaulgras bzw. Luzerne/Knaulgras auf den Lysimetern in [dt FM/ha] gem. Tab. 3-6

Bei einem Trockenmasseanteil zwischen 24 und 33 % ergeben sich folgende Jahresmengen an Trockenmasse (s. **Tab. 3-7**). Die in den **Tab. 3-6** bis **Tab. 3-7** dargestellten Ergebnisse wurden durch die Lysimeterstation Brandis übermittelt. Die Untersuchungen wurden im zentralen Labor des LfULG durchgeführt. Laborberichte liegen dem GFI nicht vor.

Tab. 3-7: Trockenmassenerträge im Jahr 2016 auf den 14er Lysimetern in [dt TM/ha]
(Quelle: Lysimeterstation Brandis)

Lysimeter	1. Ernte	2. Ernte	3. Ernte	4. Ernte	Summe
14/2	50	23	9	7	89
14/4	58	25	7	4	94

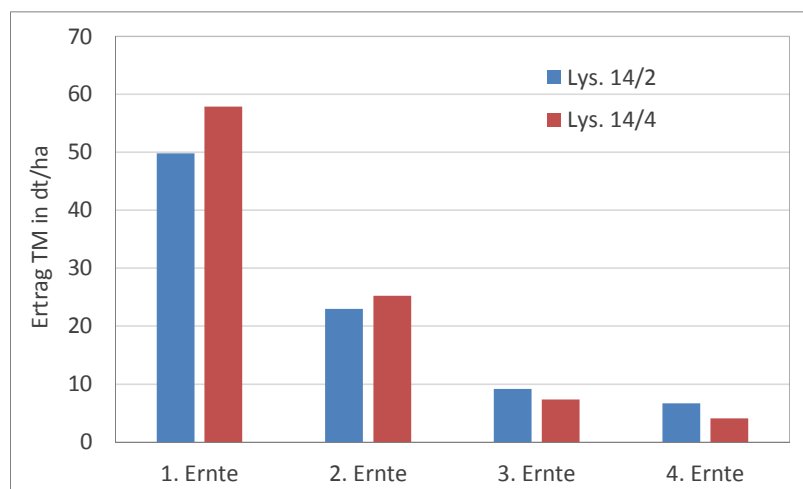


Abb. 3-3 Darstellung der Luzerne-Ernteerträge auf den Lysimetern in [dt TM/ha] im Jahr 2016
(Quelle: Lysimeterstation Brandis)

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.

3.4 Vergleich der Ernteerträge

In **Abb. 3-4** und **Abb. 3-5** sind die Ernteerträge (Trockenmassen) für die Jahre 2009 bis 2016 auf den Lysimetern und den Versuchspartzen für die beiden Kulturen Knaulgras und Luzerne dargestellt.

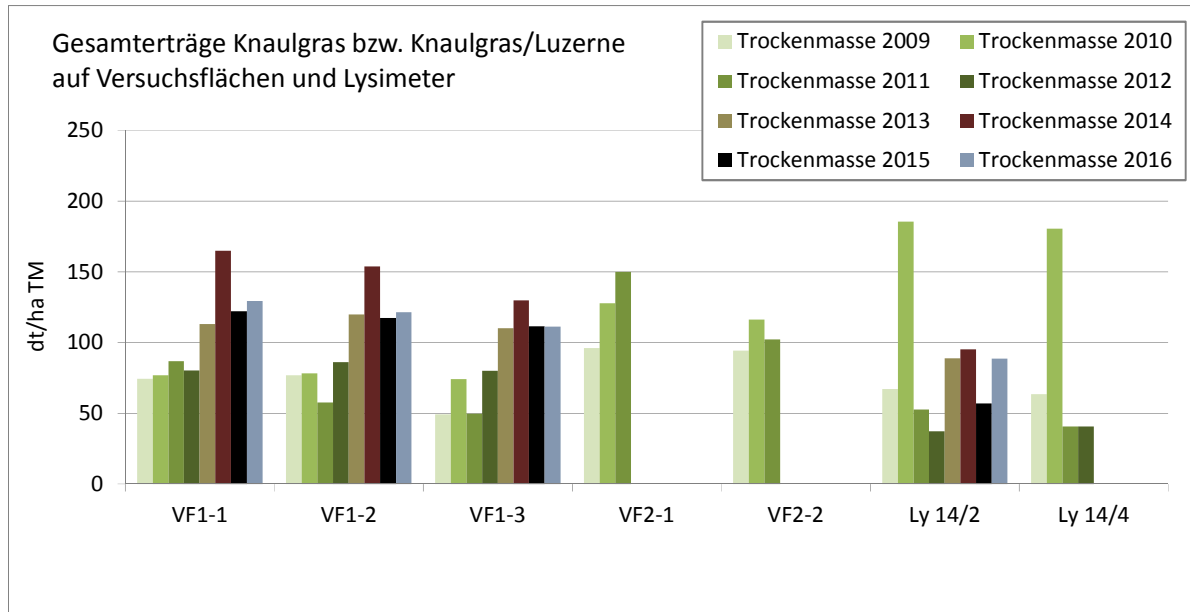


Abb. 3-4 Ernteerträge Knaulgras bzw. Knaulgras/Luzerne auf den Versuchsflächen und Lysimetern

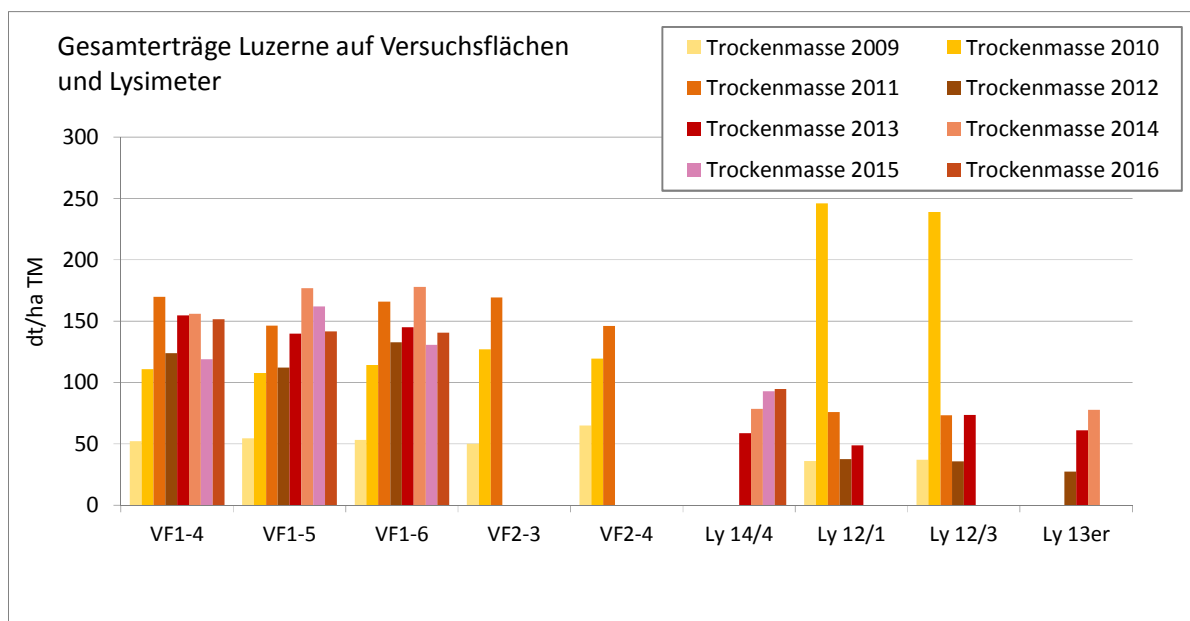


Abb. 3-5 Ernteerträge Luzerne auf den Versuchsflächen und den Lysimetern

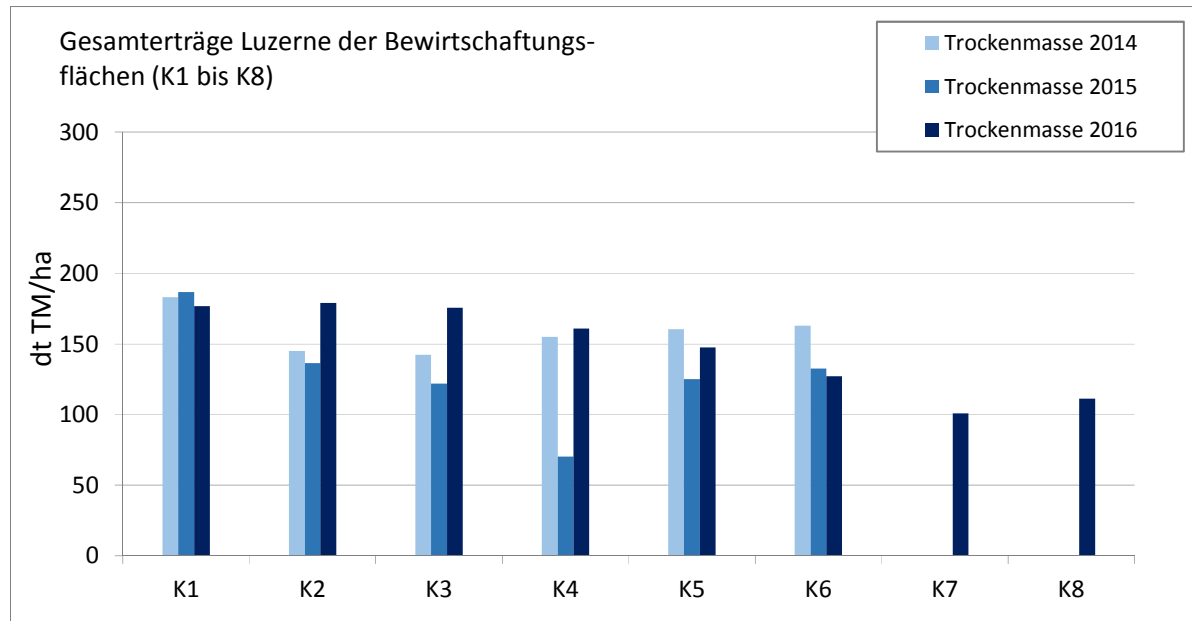


Abb. 3-6 Ernteerträge Luzerne auf den Bewirtschaftungsflächen (K1 bis K8)

Aus der Bewertung und dem Vergleich der Trockenmassen-Erträge 2016 und im Vergleich ab 2009 lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Die Ernteerträge auf der Versuchsfläche VF1 waren auch im 8. Vegetationsjahr noch hoch und entsprachen etwa den Erträgen aus dem Vorjahr.
- Die Ernteerträge auf den Luzerne-Parzellen der Versuchsfläche VF1 waren 2016 mit durchschnittlich 145 dt TM/ha etwa 10 % geringer, als die mittleren Erträgen auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche mit 161 dt TM/ha.
- Die Erträge auf den Parzellen VF1-1 bis VF1-3 sind nach Übergang von reinem Knautgras zu Knautgras/Luzerne-Gemisch anfänglich stark gestiegen und sind seit 2015 gleichbleibend hoch. Die Erträge waren 2016 durchschnittlich 16 % geringer als die Erträge der reinen Luzerne.
- Die Trockenmasse des Erntegutes der Feldversuchspartellen lag je nach Witterung zwischen 16 % und 32 %, die des Erntegutes der Lysimeter zwischen 24 und 33 %.
- Die Erträge von reiner Luzerne und dem Knautgras/Luzerne-Gemisch auf den Lysimetern lag mit 94 dt TM/ha bzw. 89 dt TM/ha deutlich unter den Erträgen auf der Versuchsfläche VF1 und der landwirtschaftlichen Nutzfläche (K1 bis K6).
- Ursache für die Mindererträge auf den Lysimetern waren ungünstige Witterungsbedingungen und Trockenschäden (Inseleffekt).
- 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.
- Die höchsten Trockenmassen-Erträge wurden auf den Kontrollflächen K1 und K2 erwirtschaftet, die weder gekalkt noch tiefengelockert wurden.

- Die Erträge auf den Kontrollflächen K3, K5 und K6 waren in den Jahre 2014, 2015 und 2016 im Mittel etwa gleich groß.
- Die geringsten Trockenmasse-Erträge wurden an der Kontrollfläche K4 gemessen. Der Kontrollpunkt K4 liegt im Süden der Fläche C und damit sehr nahe den Bereichen, die durch stark versauerndes Kippensubstrat im Untergrund gekennzeichnet sind.

3.5 Phänologie

3.5.1 Wuchshöhen von Luzerne und Knaulgras auf den Versuchs- und Kontrollflächen

Im Jahr 2016 wurden insbesondere die Wuchshöhen auf den Versuchsflächen VF1-1 bis VF1-6 und den Kontrollpunkten K1 bis K8 auf den Bewirtschaftungsflächen erfasst. Die Abb. 3-7 und Abb. 3-8 zeigen für die Versuchsfläche 1 die bei den Befahrungen und unmittelbar vor den Ernten ermittelten mittleren Wuchshöhen für Luzerne und Knaulgras/Luzerne.

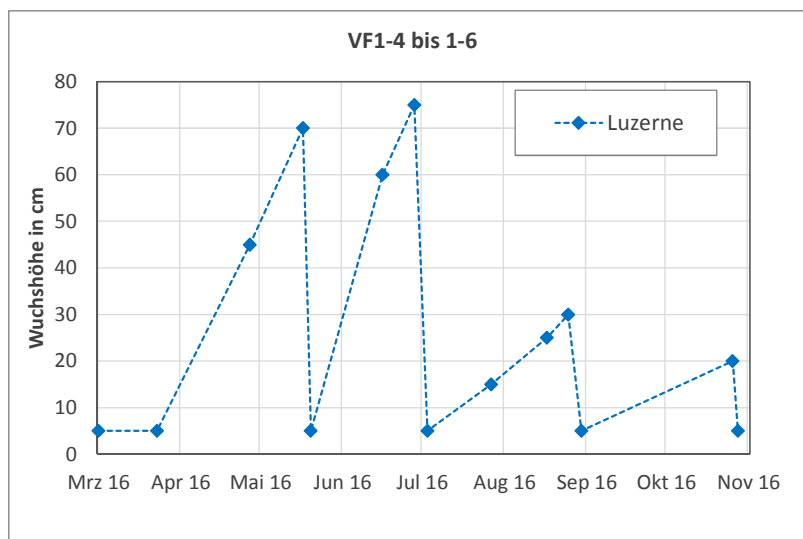


Abb. 3-7 Wuchshöhe Luzerne auf den Versuchsflächen VF1-4 bis VF1-6 (Mittelwert)

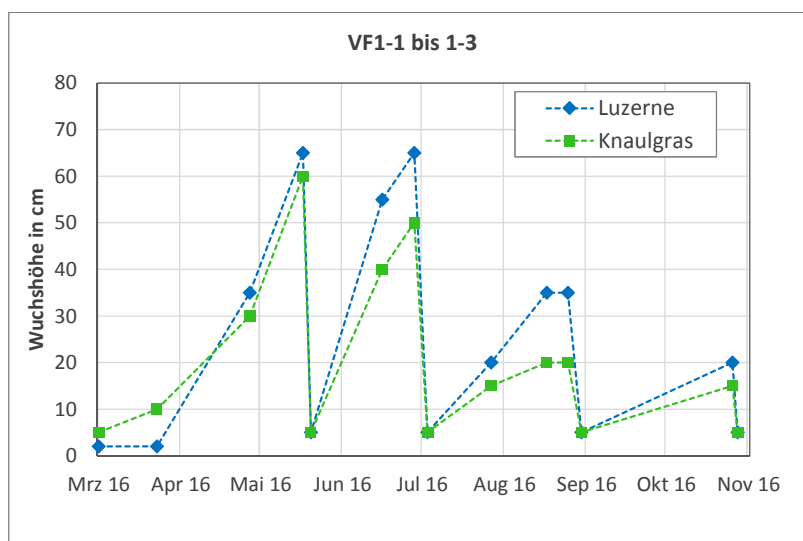


Abb. 3-8 Wuchshöhe Knaulgras/Luzerne auf den Versuchsflächen VF1-1 bis VF1-3 (Mittelwert)

Abb. 3-9 und Abb. 3-10 zeigen die Wuchshöhen auf den Bewirtschaftungsflächen.

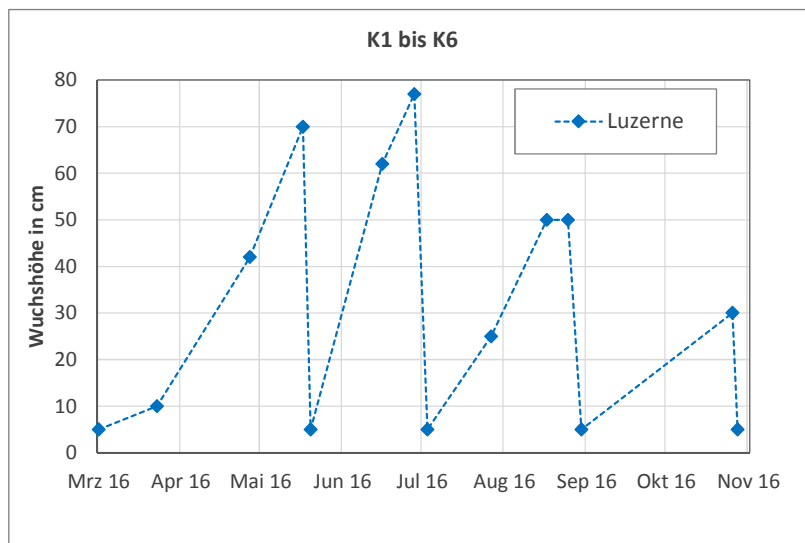


Abb. 3-9 Wuchshöhe Luzerne auf den Kontrollflächen K1-K6 (Mittelwert)

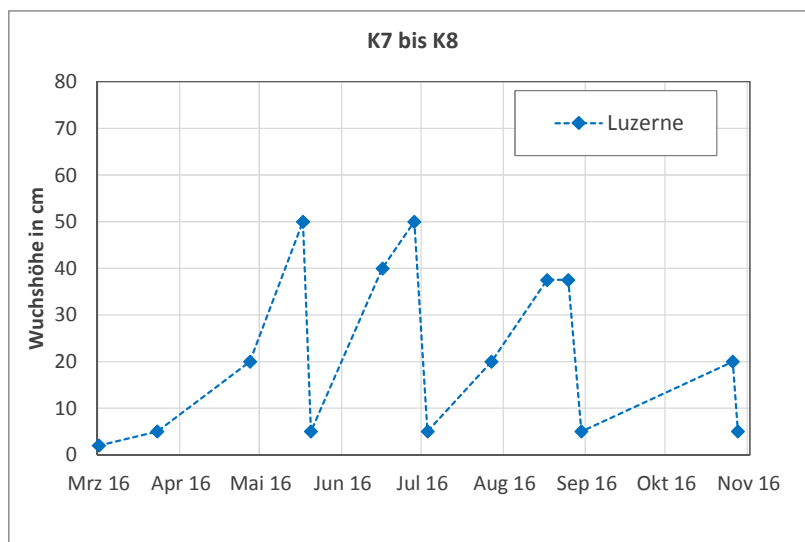


Abb. 3-10 Wuchshöhe Luzerne auf den 2016 hinzugekommenen Kontrollflächen K7-K8 (Mittelwert)

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

In den **Abb. 3-11** bis **Abb. 3-12** sind die Wuchsbedingungen auf der Versuchsfläche 1 für Luzerne und Knaulgras nochmal zusammenfassend ab 2009 dargestellt.

Im Vergleich zu den Lysimetern haben die Beobachtungen und Messungen auf dem Feld insbesondere bei Luzerne eine größere Wuchshöhe und einen, insbesondere 2014, 2015 und 2016 dichteren Bestand bei schnellerem Aufwuchs als auf den Lysimetern gezeigt. Daraus ergibt sich auch eine größere Evapotranspiration und demzufolge eine geringere Grundwasserneubildung als auf den Lysimetern.

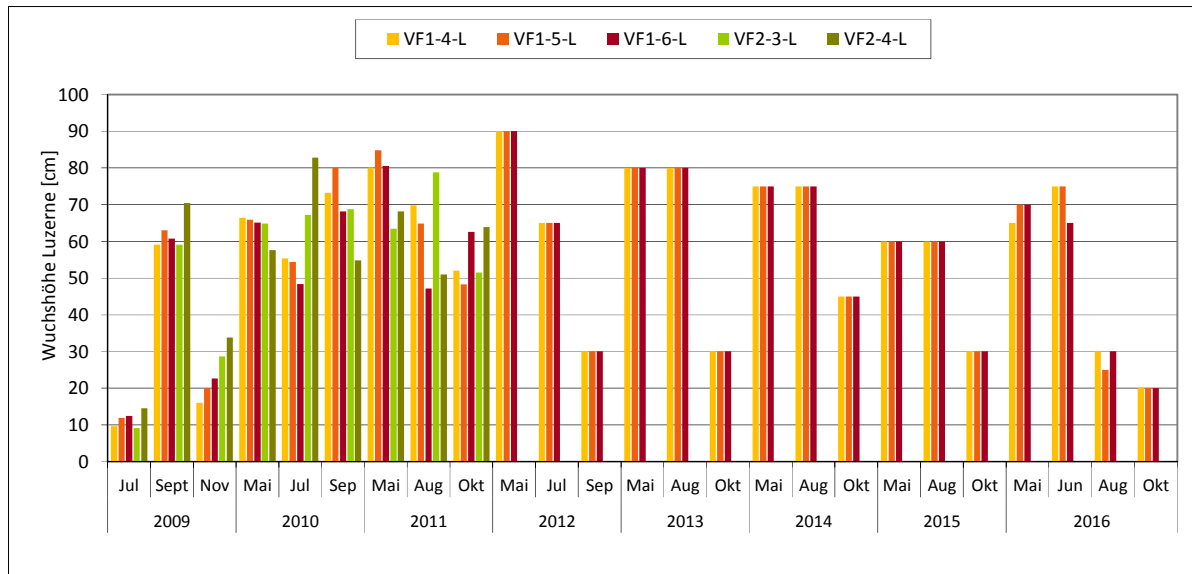


Abb. 3-11 Wuchshöhe für Luzerne auf den Versuchsflächen von 2009 bis 2016

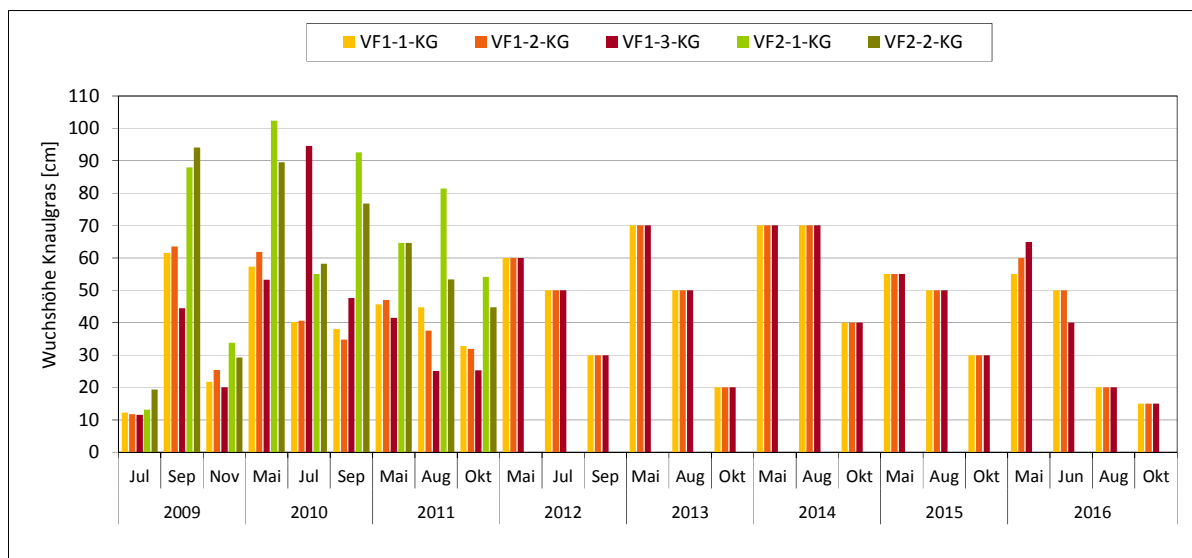


Abb. 3-12 Wuchshöhe für Knaulgras auf den Versuchsflächen von 2009 bis 2016

3.5.2 LAI für Luzerne und Knaulgras auf den Versuchs- und 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.

In den folgenden **Abb. 3-13** und **Abb. 3-14** sind die aus dem Bewuchs und den Ernteerträgen geschätzten LAI-Werte für Luzerne (VF1-4 bis VF1-6) und Knaulgras (VF1-1 bis VF1-3) von 2009 bis 2016 dargestellt. Diese schwankten bei Luzerne im Jahr 2016 zwischen 2,5 und 7.

Die Werte für Knaulgras waren aufgrund der geringeren Wuchshöhe etwas kleiner und lagen zwischen 3 und 6.

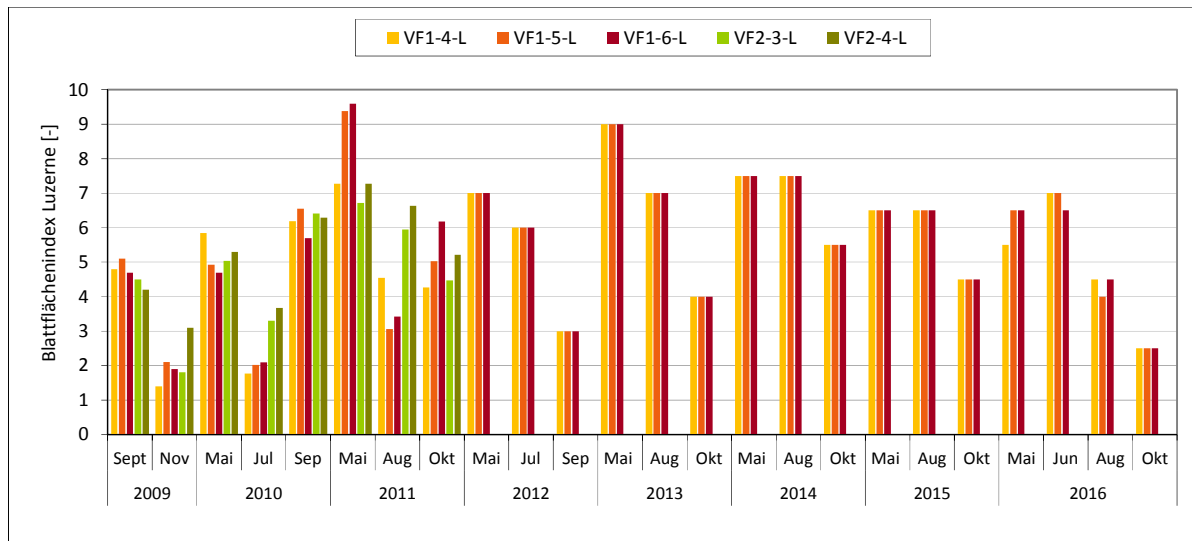


Abb. 3-13 LAI für Luzerne auf der Versuchsflächen von 2009 bis 2016

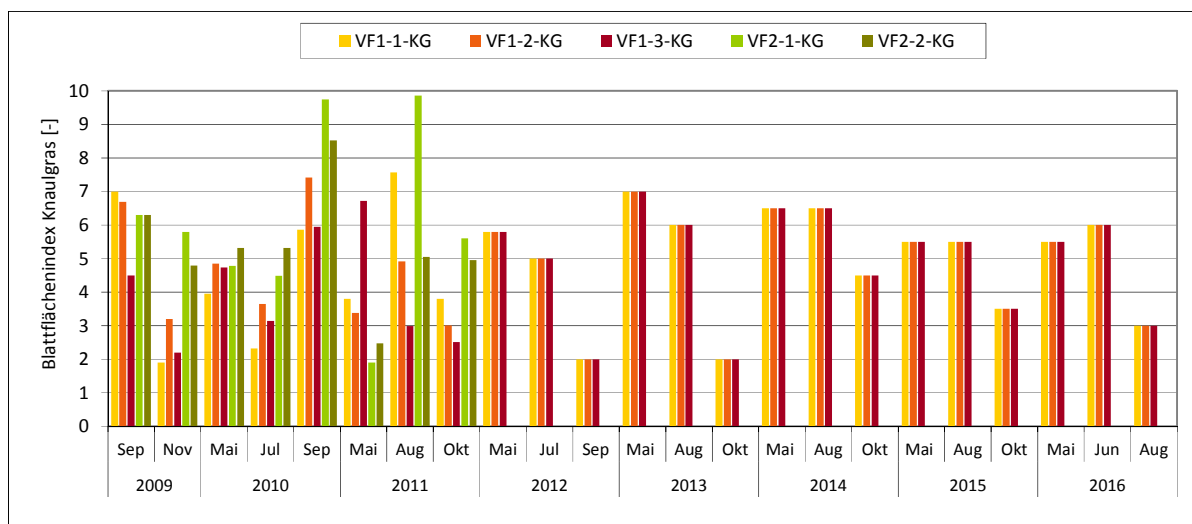


Abb. 3-14 LAI für Knaulgras auf den Versuchsflächen von 2009 bis 2016

3.5.3 Wuchshöhen auf den Lysimetern

Abb. 3-15 zeigt die Fortschreibung der Wuchshöhen auf den Lysimetern.

Im Jahr 2016 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 Winterraps auf den Lysimetern 12/1 und 12/3 lag die maximale Wuchshöhe bei 150 cm.

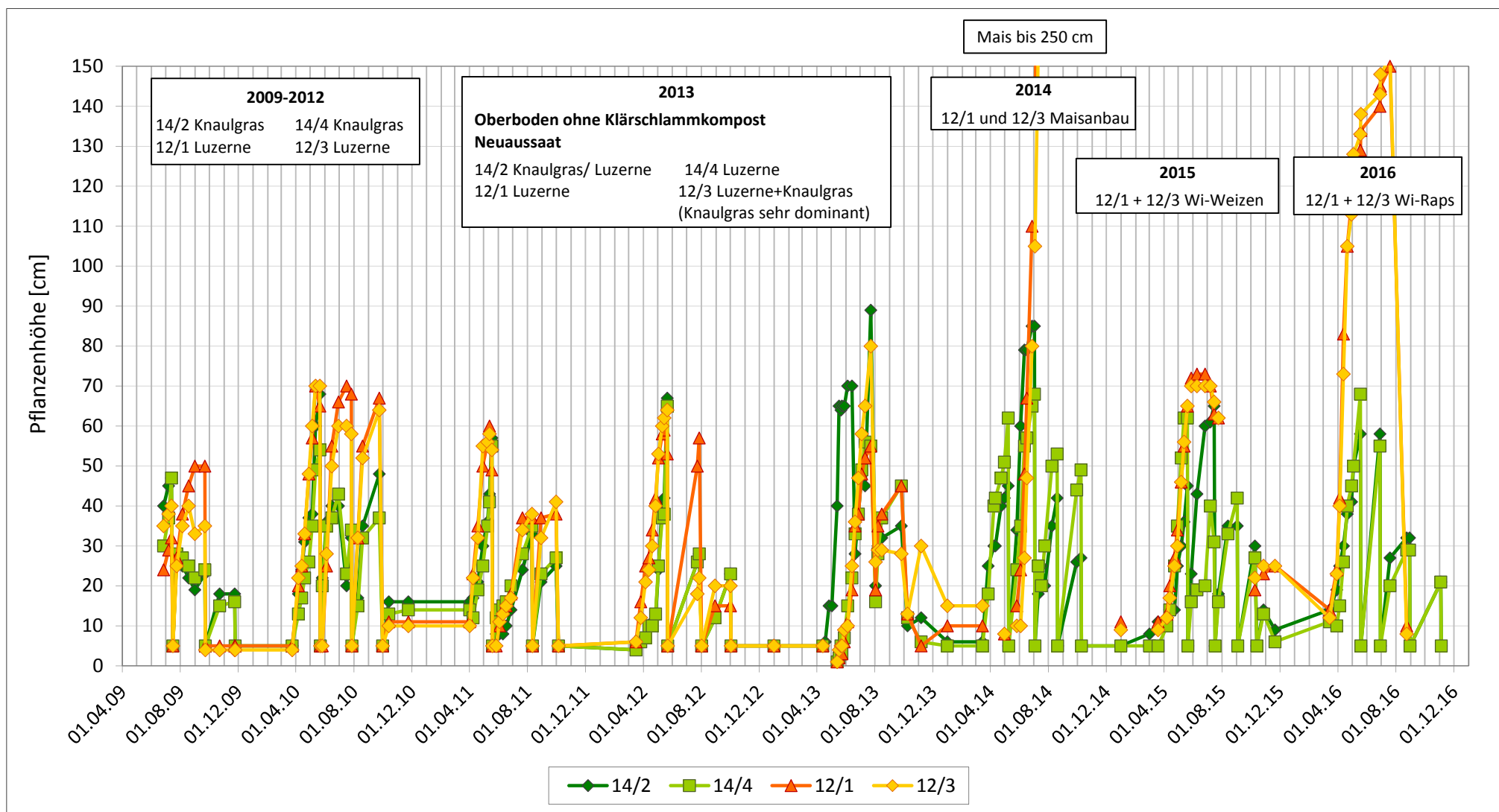


Abb. 3-15 Wuchshöhen für verschiedene Kulturen auf den Lysimetern von 2009 – 2016

3.5.4 LAI für Luzerne und Knautgras auf den Lysimeter

Der LAI für die 14er Lysimeter im Jahr 2016 korreliert sehr gut mit der Wuchshöhe. (s. **Abb. 3-16**)

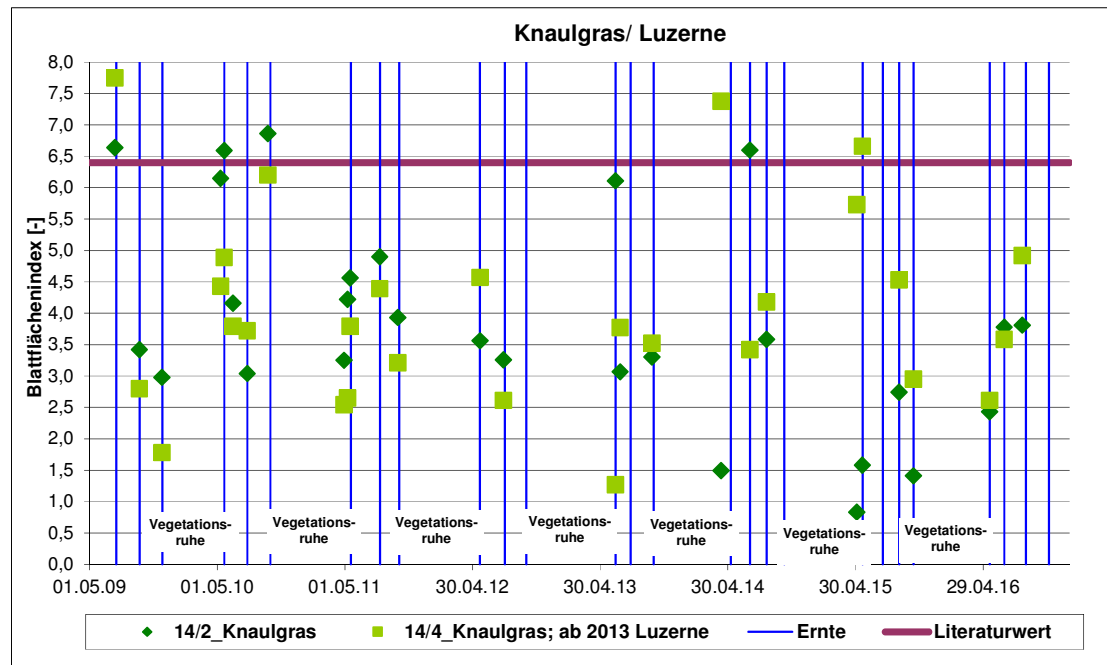


Abb. 3-16 LAI - Wert für die 14er Lysimeter 2009 - 2016

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

- bei Luzerne ein LAI-Wert von 2,5 bis 5
- bei Knautgras/Luzerne ein LAI-Wert von 2,5 bis 3,8

Insgesamt lagen die Wuchshöhe, der Blattflächenindex und die Erträge 2016 geringfügig unter den Werten von 2015.

3.6 Klima

In den **Abb. 3-17 bis Abb. 3-20** sind die Klimadaten der Stationen Brandis und Witznitz für das Jahr 2016 im Vergleich zu den Jahren ab 2011 dargestellt.

Der Niederschlag 2016 betrug in

Brandis	658 mm
Witznitz	576 mm.

Die gemessene Niederschlagsmenge in Brandis entsprach dem langjährigen Mittel von 673 mm/a. In Witznitz betrug der Jahresniederschlag nur etwa 86 % vom langjährigen Mittel. Hervorzuheben sind die sehr hohen Niederschläge im Juni 2016

Brandis	Juni 109 mm
Witznitz	Juni 97 mm.

Niederschlagsarm waren insbesondere der April, Mai, Juli, August, September, November und Dezember. Trockenperioden wirkten sich insbesondere nach der 3. Ernte im August nachteilig auf die Pflanzenentwicklung aus.

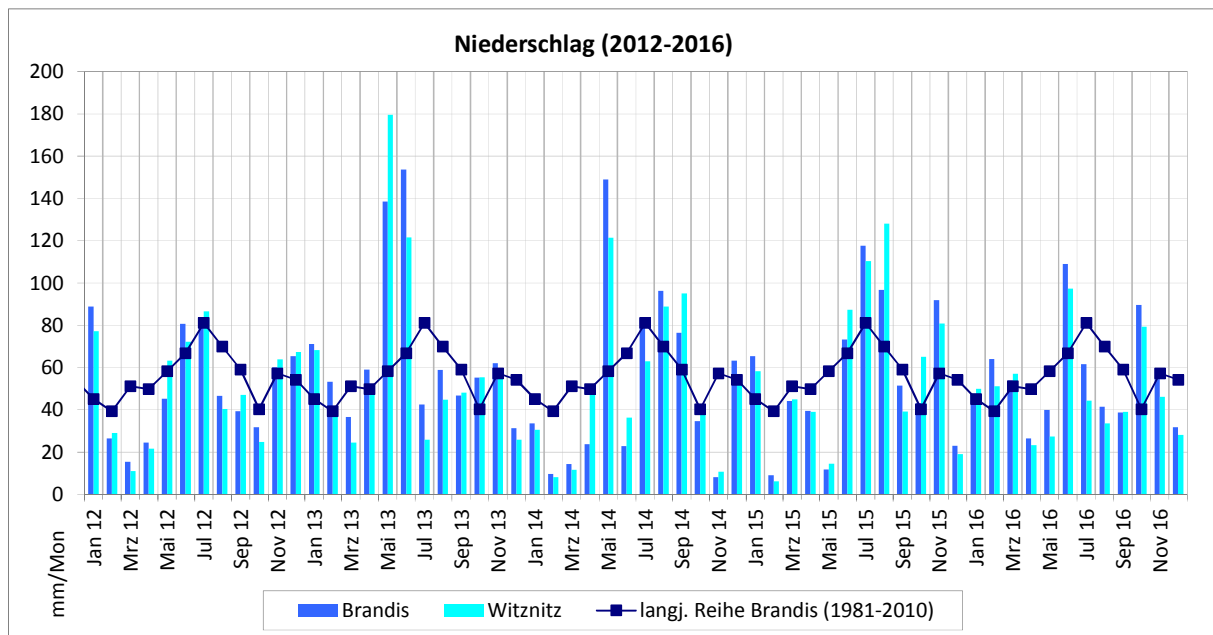


Abb. 3-17 Niederschläge in Brandis und Witznitz

Die **Lufttemperaturen** lagen etwa 1,3 °C über dem langjährigen Jahresmittel. Die Wintermonate waren etwa 0,8 bis 1 °C wärmer, als die langjährigen Monatsmittelwerte. Das Sommerhalbjahr lag mit durchschnittlich 16,8 °C in Witznitz bzw. 17,1 °C in Brandis 1,5 °C bzw. 1,8 °C über dem langjährigen Mittelwert der Sommermonate. Der Monat September war mit 18,2 °C in Witznitz bzw. 18,8 °C in Brandis etwa 4 °C wärmer als das langjährige Monatsmittel.

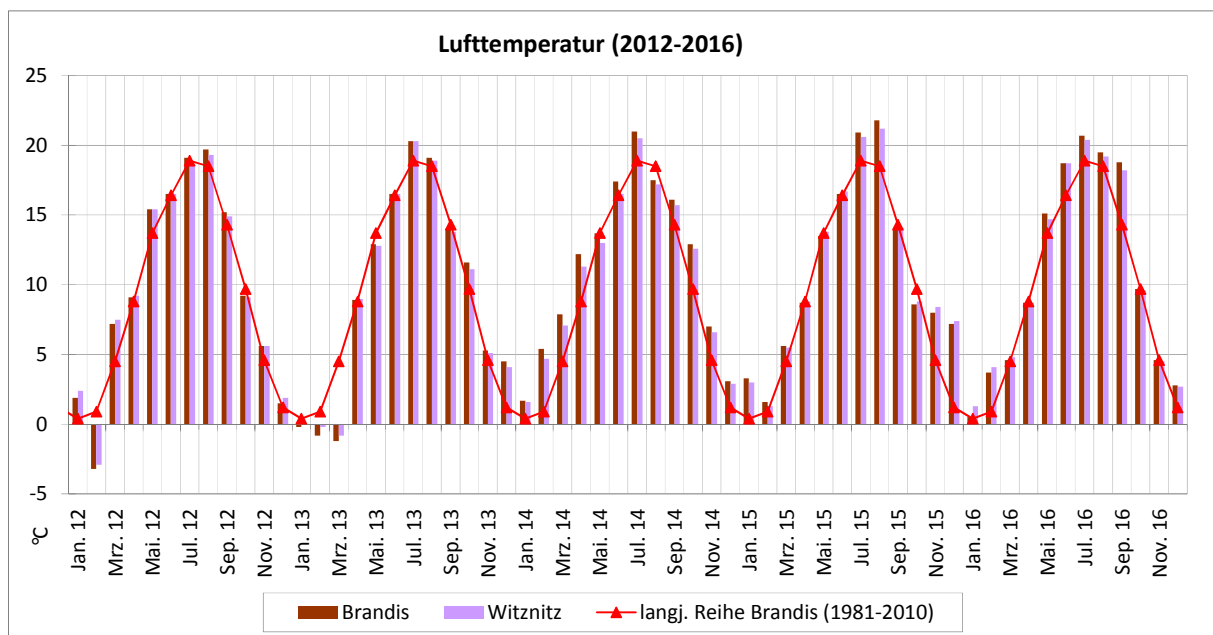


Abb. 3-18 Lufttemperatur in Brandis und Witznitz

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

Brandis	740 mm
Witznitz	727 mm

Und lag somit 40 mm bzw. 53 mm über dem langjährigen Mittelwert von 687 mm/a. Insbesondere in den Monaten Mai, Juni und September war die potenzielle Verdunstung höher als die langjährigen Monatsmittelwerte. Im Oktober war die Verdunstung hingegen geringer und entsprach nur etwa 70 % des Monatsmittelwertes.

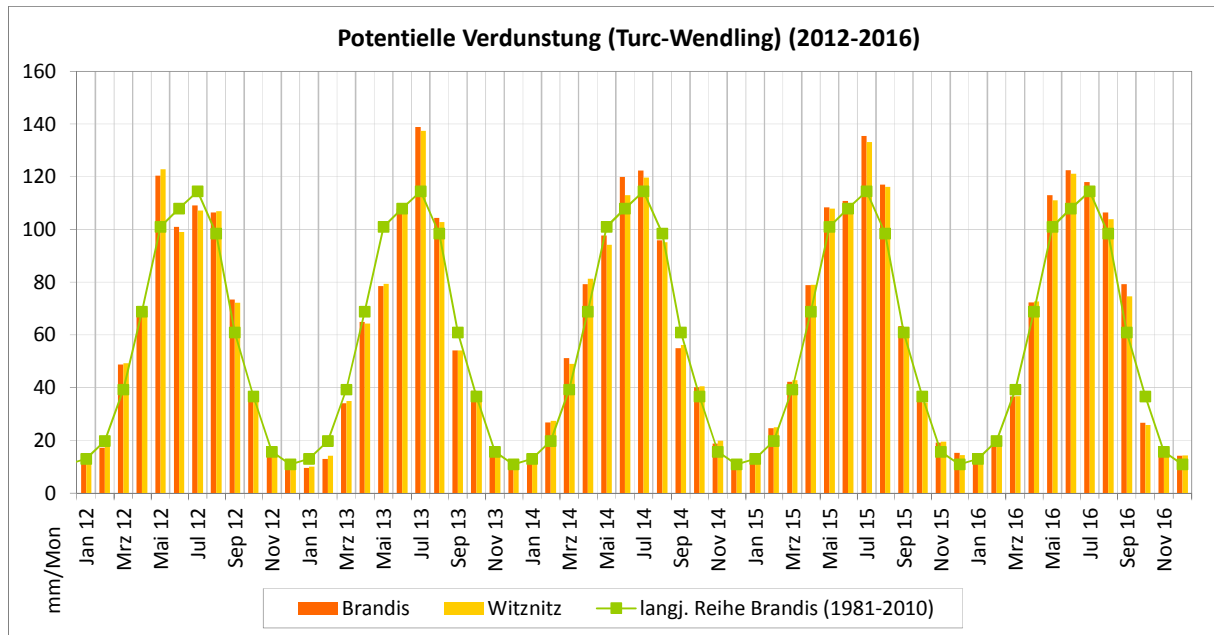


Abb. 3-19 Potenzielle Verdunstung in Brandis und Witznitz nach Turc-Wendling

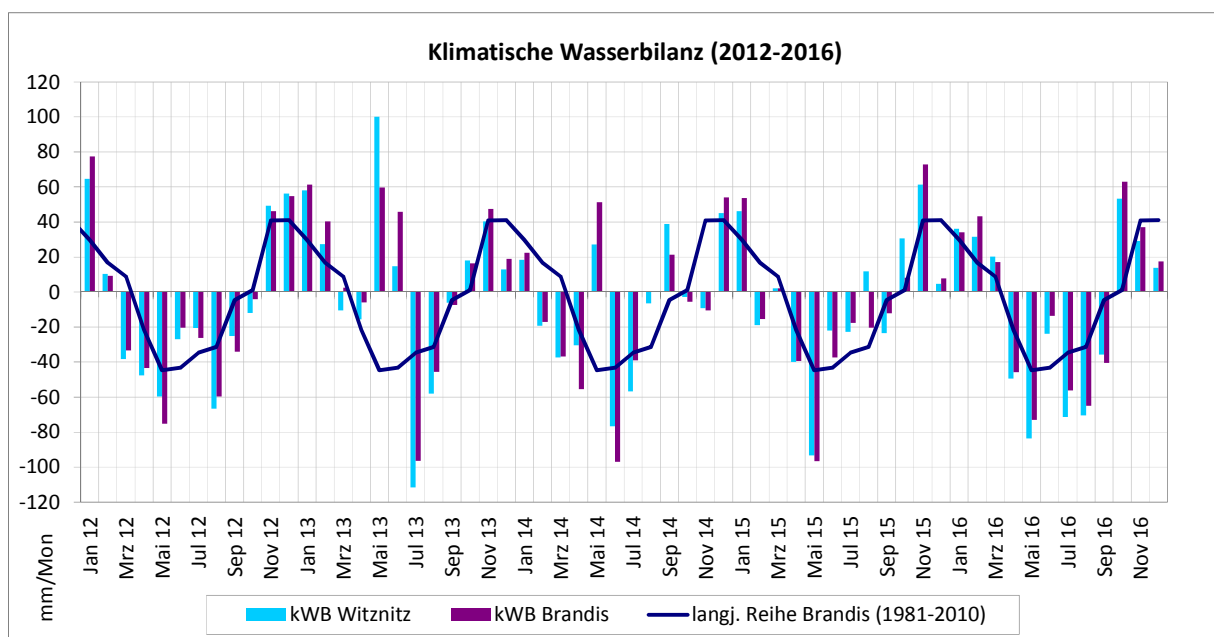


Abb. 3-20 Klimatische Wasserbilanz in Brandis und Witznitz

Die **klimatestische Wasserbilanz** war **2016** wie auch im Vorjahr negativ, was wiederum zu einer geringeren Grundwasserneubildung führte.

Brandis -81,9 mm
Witznitz -149,8 mm

Dagegen betrug die klimatische Wasserbilanz im niederschlagsreichen Jahr **2013**

Brandis 138 mm
Witznitz 70,2 mm

Die monatlichen Extrema traten 2016 in

Brandis 63 mm im Oktober und -73 mm im Mai bzw. in
Witznitz 53,4 mm im Oktober und -83,6 mm im Mai auf.

3.7 Bodenwasserhaushalt an den Lysimetern

In den **Abb. 3-21** bis **Abb. 3-26** sind die Bodenwasserhaushaltsgrößen für 2016

- Verdunstung
- Bodenwasserausschöpfung und
- Sickerwasser

im Vergleich zu den Jahren ab 2011 dargestellt.

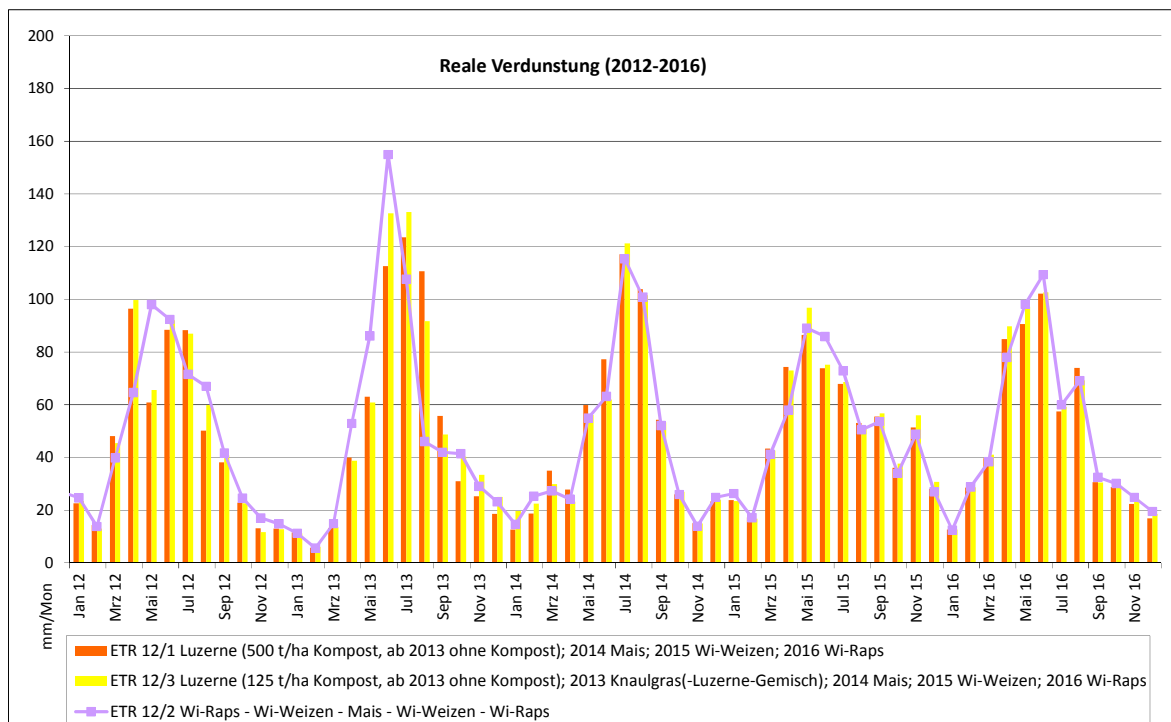


Abb. 3-21 Darstellung der realen Verdunstung auf den 12er Lysimetern

Die **reale Verdunstung** lag bei den Lysimetern 12/1 und 12/3 mit Winterraps mit durchschnittlich 638 mm etwa 60 mm über den Verdunstungswerten von 2015 (Winterweizen) und 2014

(Mais). Insbesondere in den Monaten April, Mai und Juni waren die Verdunstungswerte gegenüber den Vorjahreswerten höher. Die Verdunstung auf dem Lys. 12/3 war im Jahr 2016 gegenüber dem Lys. 12/1 geringfügig höher (647 mm)- vgl. **Abb. 3-21**.

Der Winterweizen im Jahr 2015 erbrachte vor allem in den Wintermonaten Oktober, November und Dezember durchschnittlich höhere Verdunstungsleistungen. Der Mais im Jahr 2014 erreichte lediglich in den Sommermonaten Juli und August höhere Verdunstungswerte.

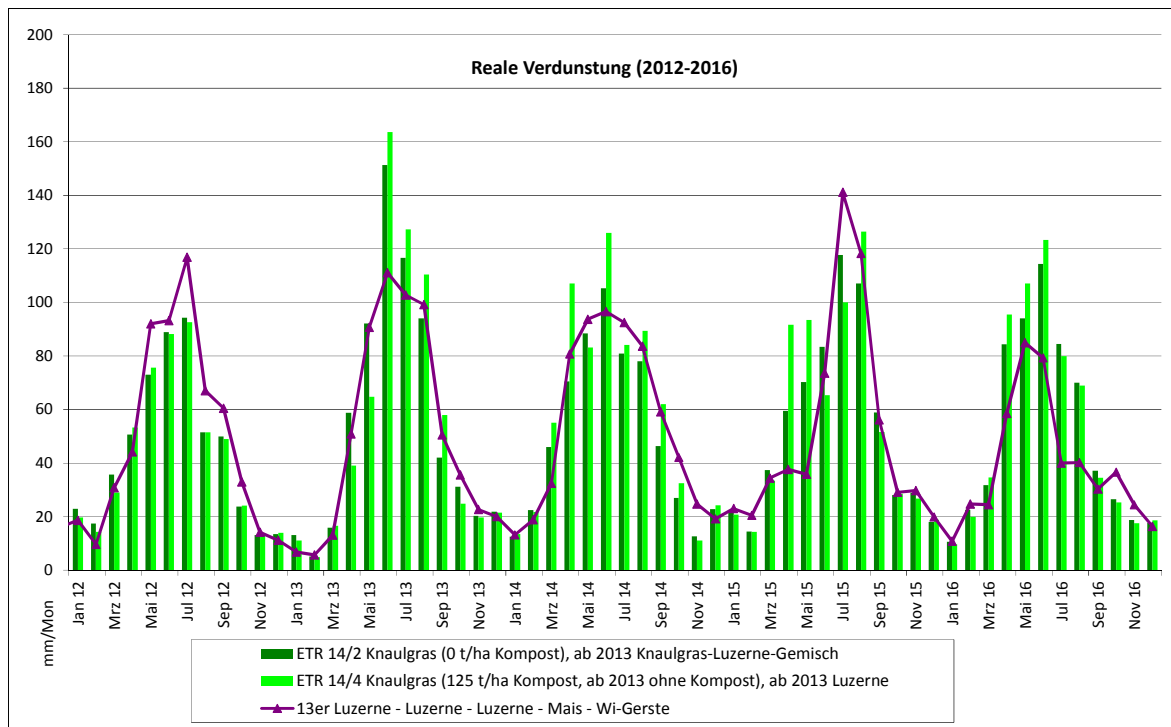


Abb. 3-22 Darstellung der realen Verdunstung auf den 14er Lysimetern

Die 14er Lysimeter erreichten mit 623 mm (Lys. 14/2) und 645 mm (Lys. 14/4) vergleichbar hohe Verdunstungshöhen, wie die 12er Lysimeter (s. **Abb. 3-22**). Die Werte auf den beiden 14er Lysimetern waren geringfügig kleiner, als 2015. Die höchste Verdunstung wurde auf dem Lysimeter 14/4 im Jahr 2014 mit 716 mm gemessen. Im Jahr 2016 lagen der Maximalwert bei 123 mm im Juni und der Minimalwert bei 9,7 mm im Januar.

Die Verdunstungshöhen auf den 13er Vergleichslysimetern in Witznitz, die 2016 mit Wintergerste bewirtschaftet wurden, waren mit durchschnittlich 471 mm etwa 24 % geringer.

Vergleicht man einmal die verschiedenen Anbaukulturen untereinander, ergeben sich folgende **durchschnittliche Verdunstungshöhen** (Mittelwerte der Einzelwerte aus **Tab. 3-8**):

Luzerne	662 mm
Knautgras	609 mm
Winterraps	602 mm
Winterweizen	582 mm
Mais	580 mm
Wintergerste	542 mm.

Tab. 3-8 Verdunstungshöhen auf den Lysimetern für die verschiedenen Anbaukulturen von 2010 bis 2016

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

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

Die **Bodenwasserausschöpfung** war bei den 12er Lysimetern mit Winterraps zwischen Mai bis September hoch, die hohen Niederschläge im Juni sind an der Verringerung der Bodenwasserausschöpfung zu erkennen (vgl. **Abb. 3-23**).

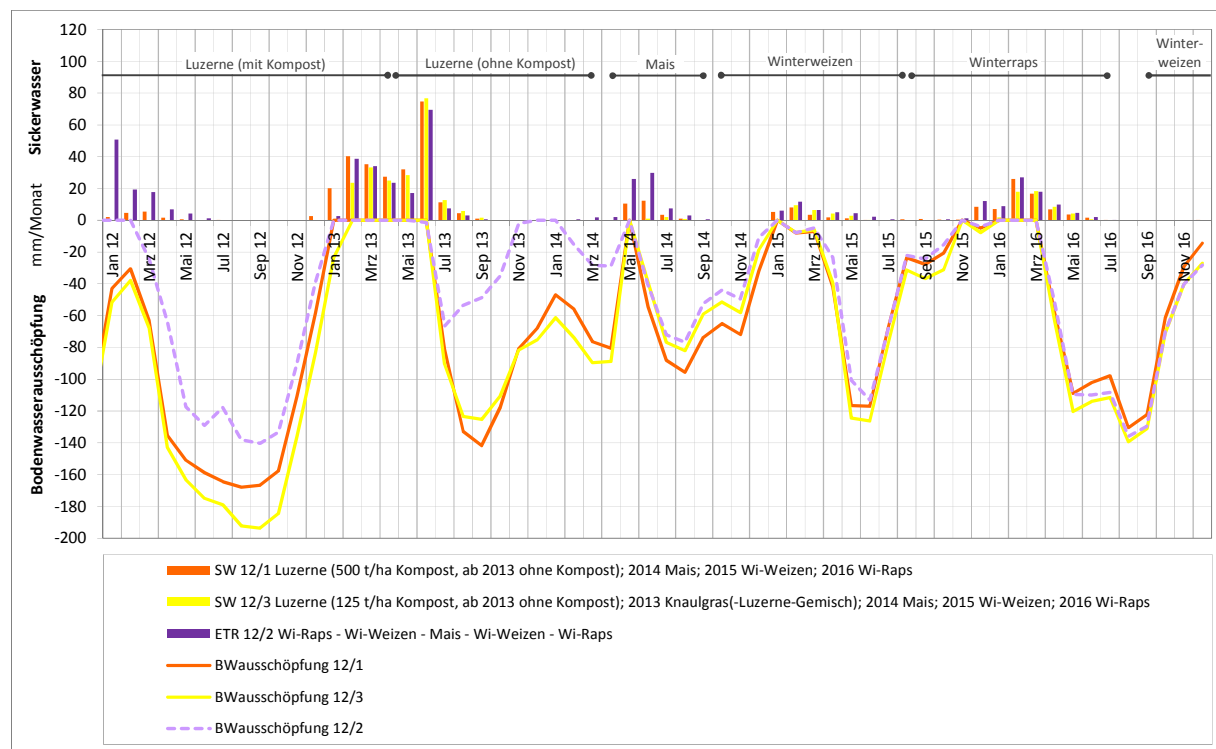


Abb. 3-23 Darstellung der Bodenwasserausschöpfung der 12er Lysimeter

Bei den 14er Lysimetern mit Luzerne und Knaulgras/Luzerne besaß 2016 die Luzerne eine deutlich größere Bodenwasserausschöpfung (s. **Abb. 3-24**) als die 12er Lysimeter mit Winterraps. Gut zu erkennen ist auch die erhöhte Bodenwasserausschöpfung im Winterhalbjahr. Im Winterhalbjahr 2015/2016 war die Bodenwasserausschöpfung so groß, wie bei Winterraps in

den Sommermonaten. Mit zunehmendem Alter der Pflanzen ist zudem ein Anstieg der Bodenwasserausschöpfung erkennbar, was mit der Wurzel ausdehnung in tiefere Schichten zu begründen ist. Das Lysimeter mit Knaulgras/Luzerne-Gemisch weist im Winterhalbjahr keine nennenswerte Bodenwasserausschöpfung auf. Beide Lysimeter wiesen im Jahr 2016 kein Sickerwasser auf (vgl. **Abb. 3-26**).

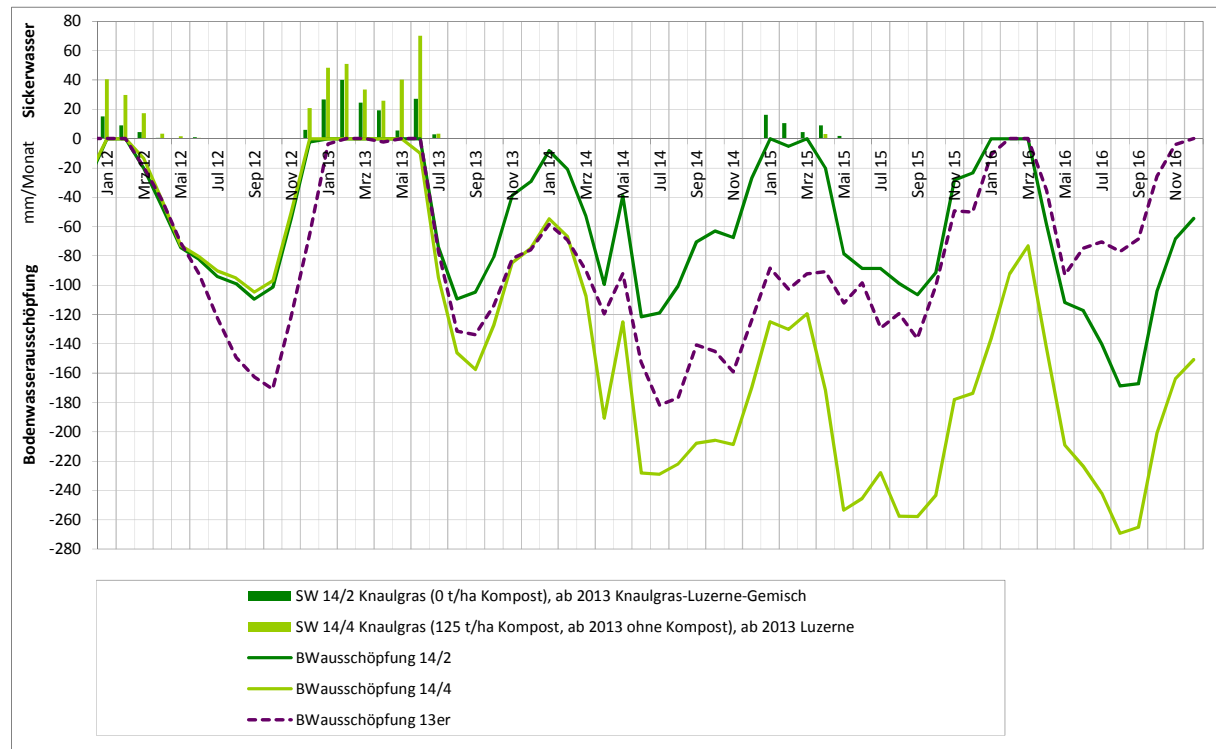


Abb. 3-24 Darstellung der Bodenwasserausschöpfung der 14er Lysimeter

Die **Sickerwassermengen** in den Wintermonaten Dez. '15 bis Apr. '16 betrugen auf den 12er Lysimetern 51,3 mm bis 83,8 mm (s. **Abb. 3-25**) und waren damit höher, als in den Vorjahren 2014 und 2015. Die hohe positive klimatische Wasserbilanz in den Monaten Okt. '15 bis Mrz. '16 (vgl. Abb. 3-20) sowie die geringe Bodenwasserausschöpfung des Winterrapses im Winterhalbjahr (vgl. Abb. 3-23) bedingten die Sickerwassermengen.

Die auf den 12er Lysimetern gemessene Sickerwassermengen in den Monaten Jan. '15 bis Mrz. '15 resultierten ebenfalls aus der positiven klimatischen Wasserbilanz der Vormonate Dez. '14 und Jan. '15 sowie der geringen Bodenwasserausschöpfung des Winterweizens in den Wintermonaten.

Der Winterraps besitzt augenscheinlich eine höhere Bodenwasserausschöpfung und damit auch eine höhere Evapotranspirationsrate, jedoch ist seine Verdunstungsleistung im Winterhalbjahr ebenso gering, wie die des Winterweizens.

Im Jahr 2016 wurden folgende Sickerwassermengen gemessen:

Luzerne:	0 mm	(14/4)
Knaulgras/Luzerne:	0 mm	(14/2)
Referenzwert (W-Raps):	83,8 mm	(12/2)

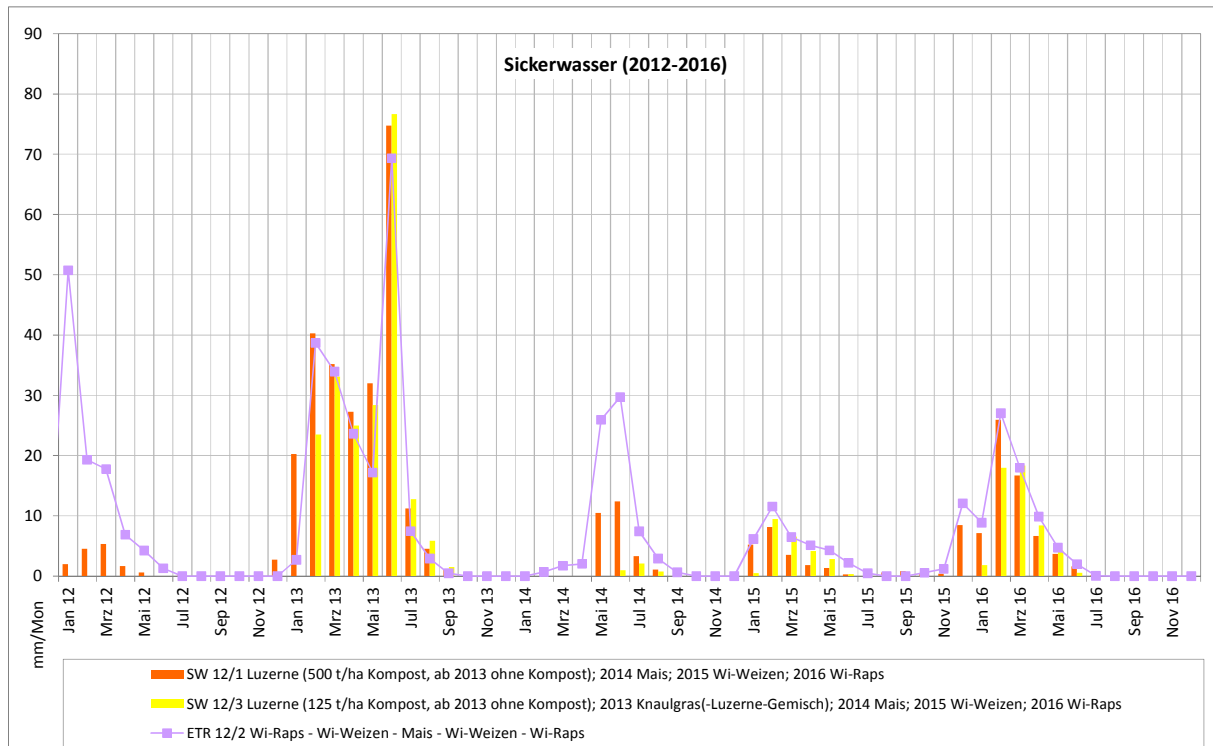


Abb. 3-25 Darstellung der Sickerwassermengen auf den 12er Lysimetern

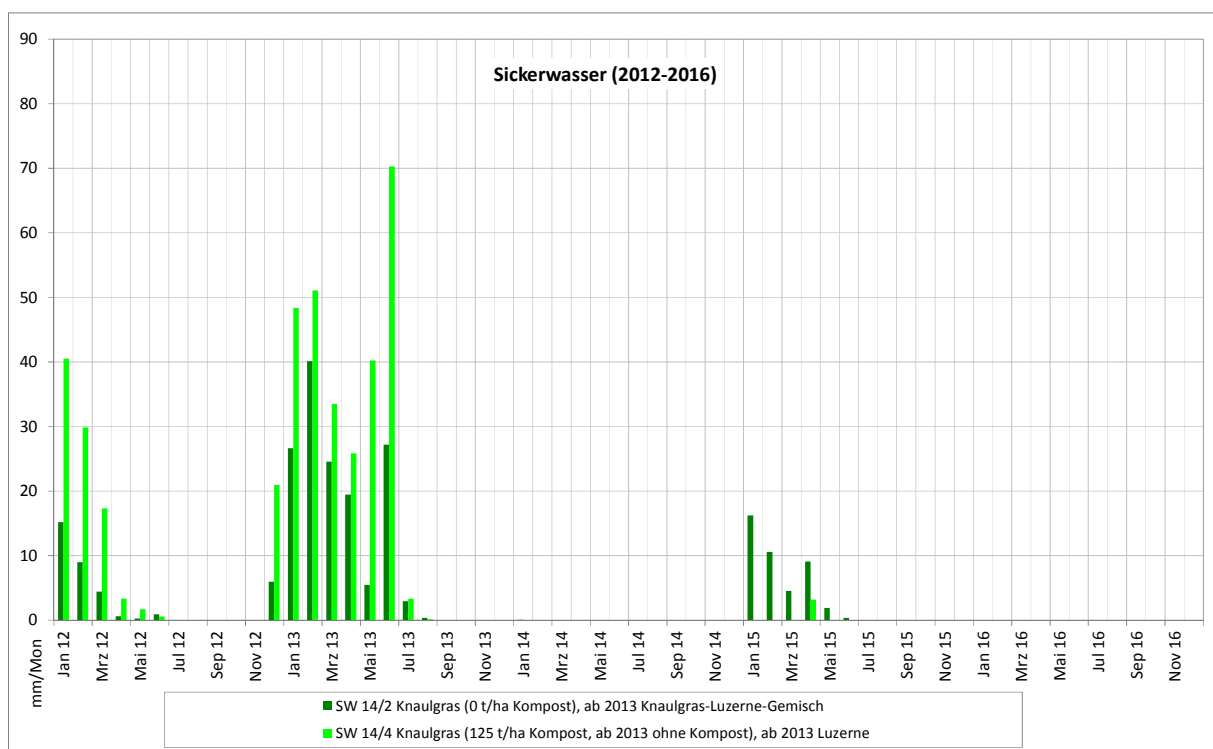


Abb. 3-26 Darstellung der Sickerwassermengen auf den 14er Lysimetern

In **Abb. 3-26** 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 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. Im Jahr 2016 wurde in keinen der beiden 14er Lysimeter Sickerwasser gemessen.

Aus den dokumentierten Werten ergeben sich auch Schlussfolgerungen für den sanierungswirksamen Großversuch in Bezug auf die geplante Fruchtfolgenbewirtschaftung, d. h. 4 Jahre Luzerne, 3 Jahre konventionelle Bewirtschaftung. Durch diesen Wechsel entstehen Zeitphasen mit erhöhter Grundwasserneubildung, die es in ihrer Auswirkung auf den Grundwasserstand zu bewerten galt (s. Abschnitt 7).

4 Düngung

Die Versuchsfläche wurden 2016 dreimal und die Lysimeter viermal gedüngt. Die Düngermenge von 2009 bis 2011 aus

- Tripel - Superphosphat,
- Kali und
- Kalkammonsalpeter

wurde in NKP-Volldünger (15/15/15) umgerechnet.

Demnach war eine Düngergabe von

132 g/m²

erforderlich.

Je Versuchsparzelle wurde wie in den Vorjahren nur eine Teilfläche von 8 x 16 m = 128 m² gedüngt, was zu einer Düngermenge von

ca. 17 kg / Teilfläche einer Parzelle

führte, sodass für die Düngung jeweils ca. 100 kg Dünger erforderlich waren. Diese Teilflächen sind identisch mit den Probenahmeflächen.

Im Februar 2014 und März 2015 wurde die der nördliche Teil der mit Luzerne angebauten Südfläche der Kippe mit Gülle aus der Kälbermastanlage Kahnsdorf gedüngt. 2016 wurde nicht mit Gülle gedüngt.

5 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. 5-1** zeigt den Plan der Luzerneanbaufläche, wo auf ca. 200 ha insgesamt

- 404 Bodensondierungen,
- 42 Schürfe und
- 28 Penetrometermessungen

durchgeführt wurden.

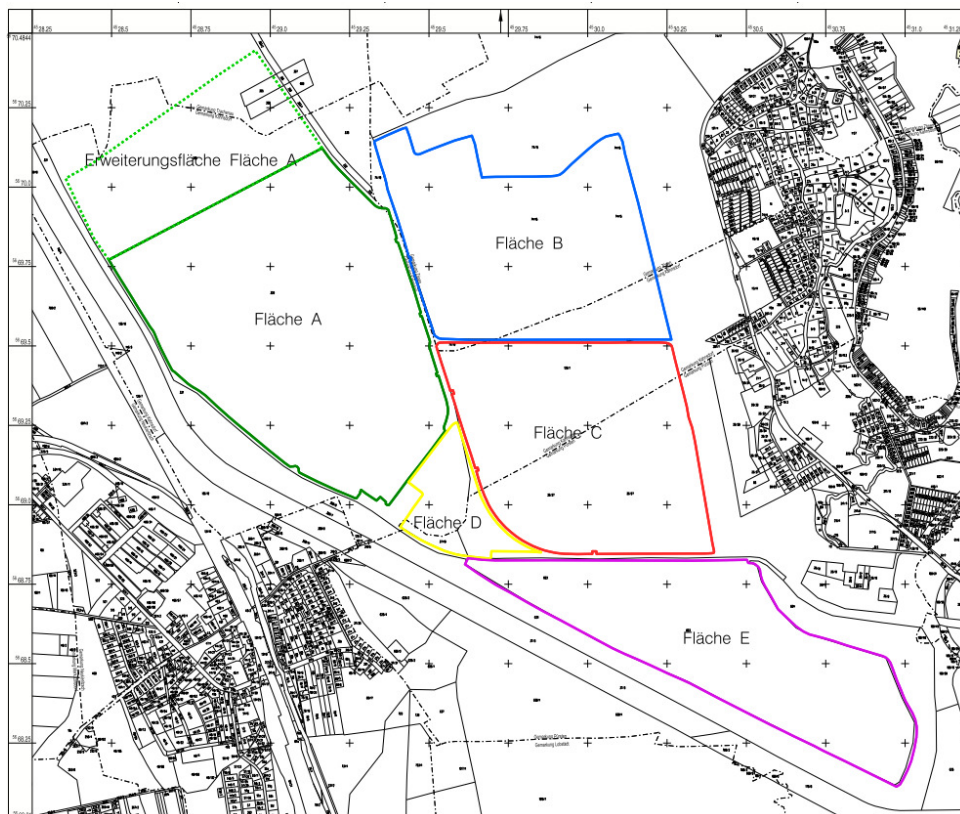


Abb. 5-1 Plan der Luzerneanbaufläche im Südbereich der Kippe (Quelle: LMBV)

Für die so ausgetrennten 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. 150 ha (Flächen A, C und D).

Von den 150 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. 5-2**).

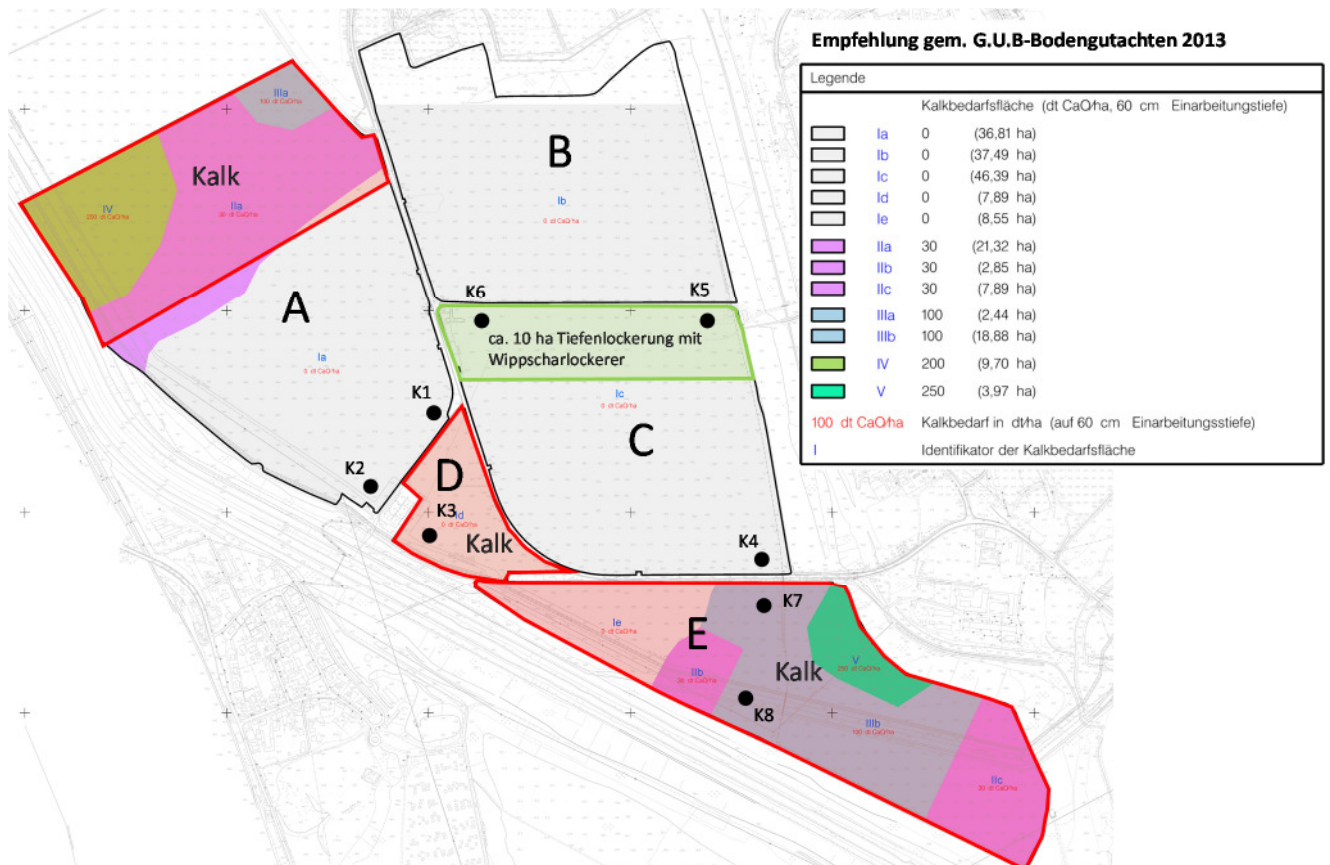


Abb. 5-2 Umgesetzte Meliorationsmaßnahmen auf der Grundlage des G.U.B.-Bodengutachtens (2013)

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

Die Fläche E mit 75 ha wurden im August 2015 bearbeitet und eingesät. Auch dort ist die Luzerne 2016 gut aufgegangen. Im Jahr 2017 erfolgt zusätzlich auf der Fläche B der Luzerneanbau, sodass dann die Gesamtfläche 225 ha umfasst.

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 auf den Kontrollflächen K1 und K2 erwirtschaftet, die weder gekalkt noch tiefengelockert wurden. Die Erträge auf den Kontrollflächen K3, K5 und K6 waren im Mittel der Jahre 2014, 2015 und 2016 etwa gleich groß. Die geringsten Trockenmasse-Erträge wurden an der Kontrollfläche K4 gemessen (vgl. Abb. 3-6). Der Kontrollpunkt K4 liegt im Süden der Fläche C und damit sehr nahe den Bereichen, die durch stark versauern-des Kippensubstrat im Untergrund gekennzeichnet sind.

6 Laufendhaltung der Modelle

6.1 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.

Modelleingangsparameter sind

- der korrigierte Niederschlag an der Station Brandis (Übergabe durch BfUL)
- geschätzte Blattflächenindex LAI (liegt punktuell vor)
- die potentielle Evapotranspiration.

Die potentielle Evapotranspiration ET_P für die zu betrachtende Pflanzenkultur (hier Luzerne, Knaulgras) wird anhand der Grasreferenzverdunstung ET_0 – für ein Gras mit 20 cm Wuchshöhe – und dem Bestandsfaktor $f = f(\text{Albedo, Wuchshöhe})$ berechnet. Die Ausweisung der Grasreferenzverdunstung ET_0 erfolgt an der Station Brandis anhand der Penman-Monteith-Gleichung. Der Bestandsfaktor erfasst die erhöhte, maximale Evapotranspiration ET_P von konkreten Kulturen gegenüber dem Referenzgras

$$ET_P = f \cdot ET_0.$$

Anschließend wird die Interzeptionsverdunstung aufsummiert, was schlussendlich die potentielle Evapotranspiration als Eingangsparameter für das Wasserhaushaltsmodell ergibt.

Als Interzeption wird der Prozess des vorübergehenden Speicherns von gefallenem oder abgesetztem Niederschlag an der Pflanzenoberfläche bezeichnet. Blätter und andere Pflanzenteile werden benetzt und nur ein Teil des Niederschlags erreicht die Erdoberfläche. Die Interzeptionsverdunstung erfolgt unabhängig von der Transpiration durch die Pflanze. Die Interzeptionsverdunstung wurde im Modell für Knaulgras und Luzerne mit einem Jahresdurchschnitt von etwa 12 % des korrigierten Niederschlags angenommen. Für das Referenzgras mit einer Wuchshöhe von 20 cm beträgt die mittlere Interzeptionsverdunstung etwa 10 % des korrigierten Niederschlags.

Über den Blattflächenindex LAI, welcher aus der Wuchshöhe und der Feuchtmasse abgeschätzt wird, und das implementierte Pflanzenmodell erfolgte im Bodenwasserhaushaltsmodell die Berechnung der realen Evapotranspiration. Diese Modellgröße kann dann anhand der an der Station gemessenen realen Evapotranspiration ET_a verglichen werden.

Das Ergebnis der Kalibrierung zeigt Abb. 6-1 und Abb. 6-2. Hier sind die gemessenen und berechneten kumulativen Sickerwassermengen aufgetragen.

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 (Knautgras/Luzerne-Verhältnis 60/40). Das Modell weist im Weiteren eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Sickerwassermengen auf (s. **Abb. 6-1**).

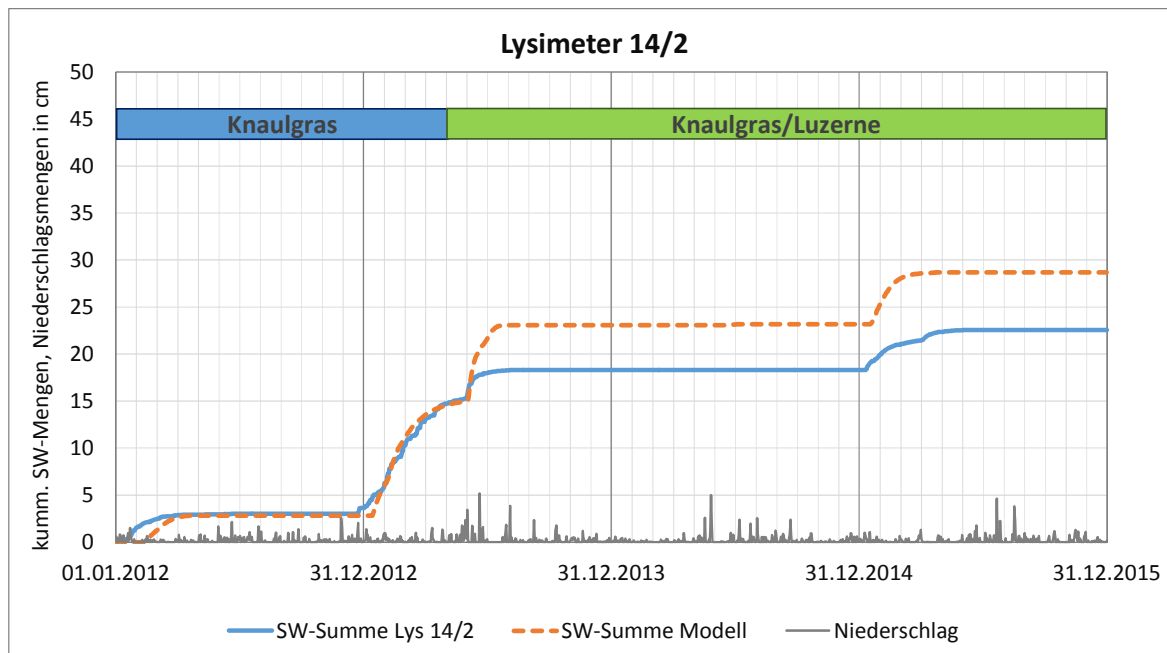


Abb. 6-1 Kalibrierungsergebnis für das Knautgras bzw. Knautgras/Luzerne-Lysimeter 14/2

Eine gute Übereinstimmung der berechneten mit den gemessenen Sickerwassermengen konnte auch für das Lysimeter 14/4 erreicht werden (s. **Abb. 6-2**). Allerdings ist auch hier eine geringfügige Abweichung im Nachgang der Umrüstung auf reine Luzerne erkennbar.

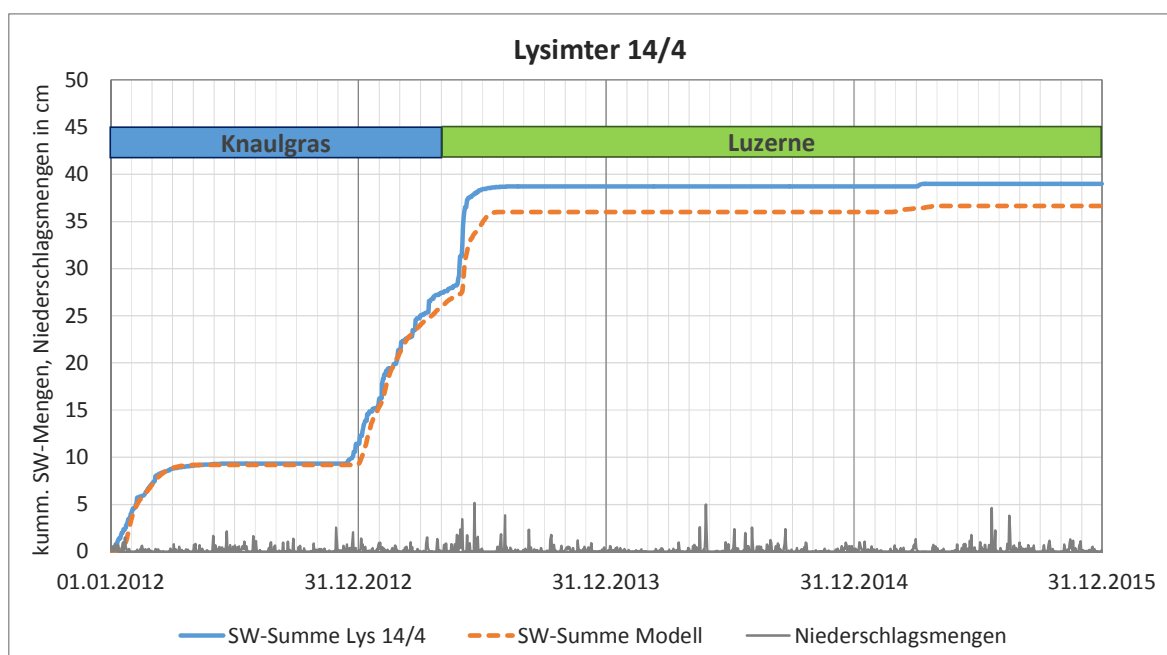


Abb. 6-2 Kalibrierungsergebnis für das Knautgras bzw. Luzerne-Lysimeter 14/4

In **Tab. 6-1** sind die gemessenen und vom Modell berechneten realen Verdunstungsmengen und die Abweichungen angegeben. Im ersten Modelljahr weist das Modell jeweils eine höhere Evapotranspiration aus. Dies ist ggf. dem Startzeitpunkt des Modells geschuldet. Bei einer längeren Vorlaufzeit wären die pflanzenphysiologischen Eingangsparameter für das Pflanzenmodell „Knautgras“ – wie max. Wurzeltiefe, Wurzeltiefe zu Beginn der Vegetationsperiode sowie Dauer der Vegetationsperiode – besser kalibrierbar. Dass die Sickerwassermengen zu Beginn des Modellstarts eine gute Übereinstimmung zeigen (vgl. Abb. 6-1 und Abb. 6-2), resultiert aus der anfänglich gewählten Verteilung des Wassergehaltes der Bodensäule.

Tab. 6-1 Auf den Lysimetern gemessene und vom Modell berechnete reale Evapotranspiration ET_a

reale ET_a				
	Modell	gemessen	Abweichung	
Lys 14/2	mm	mm	mm	%
2012	616,0	534,6	-81,4	-15%
2013	627,7	662,5	34,8	5%
2014	643,4	613,1	-30,3	-5%
2015	643,9	645,6	1,7	0%
Lys 14/4				
2012	594,9	524,55	-70,4	-13%
2013	633,6	661,8	28,1	4%
2014	673,3	710,29	37,0	5%
2015	707,5	671,62	-35,9	-5%

6.2 Grundwassermodell

Bei der Laufendhaltung des Grundwasserströmungsmodells erfolgte durch die IBGW GmbH im Jahr 2016

- das Einpflegen aktueller Grundwasserstände,
- die Aktualisierung des Flutungsszenarios für den Kahnsdorfer See sowie
- die Ausweisung von berechneten Hydroisohypsen und Grundwasserganglinien.

Das Modell bildet in der Prognose derzeit ausschließlich mittlere Grundwasserneubildungsverhältnisse ab. Eine klimabedingte Variabilität wird in der Prognose derzeit modellseitig nicht berücksichtigt. Zum Bearbeitungszeitpunkt lagen die Messwerte des Jahres 2016 noch nicht vor.

Abb. 6-3 zeigt die auf der Basis des Modells **berechneten Hydroisohypsen** für die Jahreskarte 2016. Nördlich der Pleißequerung wird eine Grundwasserhochlage mit maximalen Wasserständen um +141 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. +139 m NHN aus, von wo aus der GW-Abstrom ebenfalls in Richtung Pleiße erfolgt. Die in der **Abb. 6-3** weiterhin enthaltenen gemessenen Grundwasserstände des letzten zur Verfügung stehenden Monitoringzeitraumes (10/2015) belegen eine grundsätzlich plausible Modellanpassung. Nur im Zentrum der beiden Hochlagen auf den Kippen werden durch das Modell bis zu 2 m höhere Wasserstände berechnet als gemessen. Im Zuge der Feinkalibrierung des HGMS (Version 2016) werden die Werte nachgeführt.

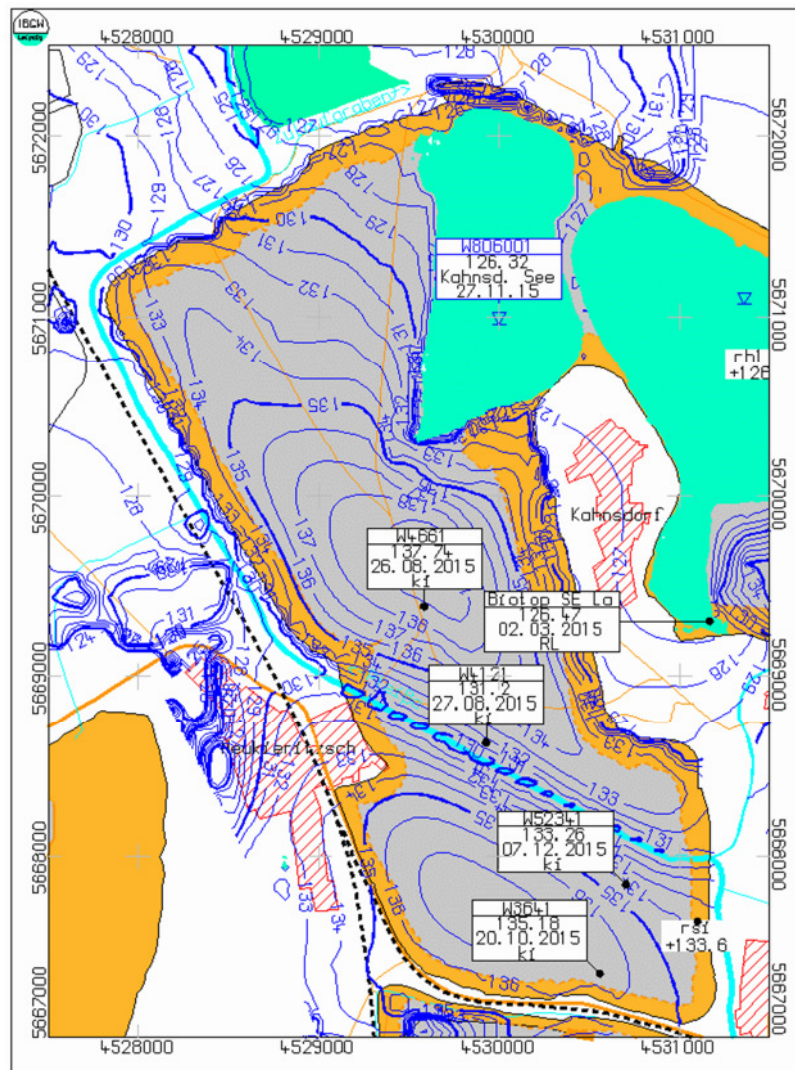


Abb. 6-3 Berechneter Hydroisohypsenplan für die Jahresscheibe 2016 (10/2015)

Abb. 6-4 und **Abb. 6-5** zeigen 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. 6-3**. Insgesamt wird die gemessene Entwicklung an allen vier Messstellen mit dem Modell hinreichend gut nachvollzogen, obwohl das GW-Modell ausschließlich mittlere klimatische Verhältnisse berücksichtigt. Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung der Ganglinien ist grundlegend zwischen Nord- und Südanstrom zur Pleiße zu unterscheiden.

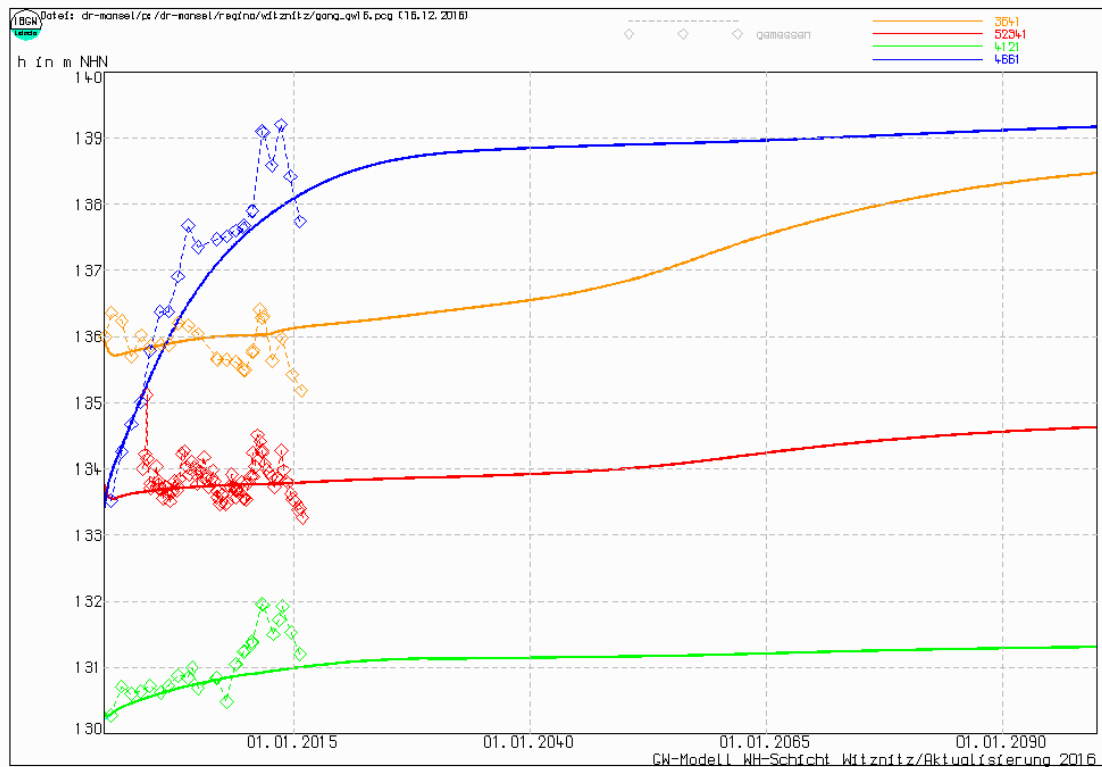


Abb. 6-4 Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen im Kippengebiet Witznitz; 3641 und 52341 im Südanstrom zur Pleiße, 4661 und 4121 im Nordanstrom zur Pleiße

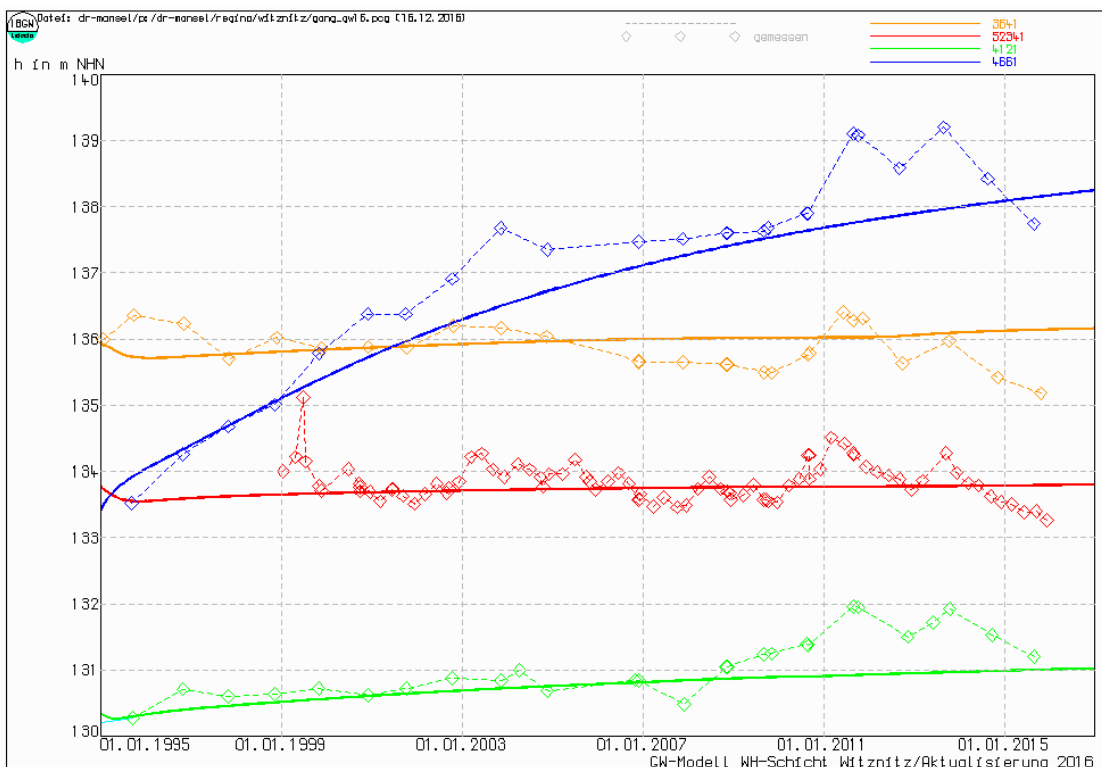


Abb. 6-5 Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen im Kippengebiet Witznitz; 3641 und 52341 im Südanstrom zur Pleiße, 4661 und 4121 im Nordanstrom zur Pleiße (Ausschnitt bis 2015)

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 (grüne und blaue Linie), kommt es im Südanstrom ab ca. 2040 noch einmal zu einem Grundwasserspiegelanstieg, welcher auf die Einstellung der Wasserhaltung im Tagebau Vereinigtes Schleenhain der MIBRAG zurückzuführen ist (orangefarbene und rote Linie).

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

Aus den Grundwasserstandsganglinien in Abb. 6-5 sind noch keine Trends ableitbar, die die Wirksamkeit der Maßnahmen zur Reduzierung der Grundwasserneubildung eindeutig belegen. Hierfür müssen insgesamt längere Zeiträume betrachtet werden.

7 Prognose

7.1 Prognose der Grundwasserneubildung mit dem Wasserhaushaltsmodell

Die Auswertung der Sickerwassermengen der 14er Lysimeter von 2012 bis 2016 bestätigt die erwartete Reduzierung der Sickerwasserrate auf 25 %. Auf dem Lysimeter 14/4 (reiner Luzernebestand) war die Sickerwassermenge in 2 m Tiefe (Höhe Bodenmonolith) 2014, 2015 und 2016 annähernd Null bzw. Null. Damit konnte die Wirksamkeit der Luzerne eindrucksvoll nachgewiesen werden. Für die Wirksamkeit der Luzerne auf der Kippe Witznitz bestand daher die Fragestellung, inwiefern der vertraglich vereinbarte Fruchtfolgewechsel diese vermindert bzw. wie sich der Fruchtfolgewechsel auf die langfristige Entwicklung der GW-Stände in der Kippe auswirkt. Die Fruchtfolge ist notwendig, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten.

Im Vertrag zwischen LMBV und der Osterland Agrar GmbH sind für die Fruchtfolge 3 Jahre vorgesehen, d. h. 4 Jahre Luzerne, 3 Jahre Getreide/Fruchtanbau.

Für die im Folgenden betrachteten Szenarien sollte der langfristige Einfluss auf die GW-Standsentwicklung aufgezeigt werden, wenn

- keine Luzerne angebaut werden würde, d. h. langfristige konventionelle Landwirtschaft betrieben wird
- reiner Luzerneanbau stattfindet (Dauergrünland)
- 1 Jahr Fruchtwechsel stattfindet
- 3 Jahre Fruchtwechsel stattfindet, wie es derzeit vorgesehen ist.

Folgende Szenarien wurden betrachtet:

Basisszenario 0 **100 %-ige konventionelle Landwirtschaft** auf allen Flächen, d. h. gem. dem BWHM von 2011 wurden folgende GWN-Bildungsraten für die ausgewiesenen Hydrotope für konventionelle Landwirtschaft ermittelt:

Hydrotop 1:	100 mm
Hydrotop 2:	53 mm
Hydrotop 3:	69 mm
Hydrotop 4:	85 mm
Hydrotop 10:	106 mm
Hydrotop 15:	18 mm

Szenario 1 **dauerhafter Luzerneanbau** auf den Teilflächen A-E (Hydrotop 1 südl. und Hydrotop 4 – s. Abb. 7-1), d. h. Absinken der GW-Neubildung auf 25%; auf den restlichen Flächen erfolgt weiterhin konventionelle Landwirtschaft

Szenario 2 a auf den Teilflächen A-E (Hydrotop 1 südl. und Hydrotop 4) erfolgt 4-jähriger Luzerneanbau (25%) und **1-jähriger Fruchtfolgewechsel** (100 %); auf den restlichen Flächen erfolgt konventionelle Landwirtschaft

Szenario 2 b auf Teilfläche A-E (Hydrotop 1 südl. und Hydrotop 4) erfolgt 4-jähriger Luzerneanbau (25%) und **3-jähriger Fruchtfolgewechsel** (100 %); auf den restlichen Flächen erfolgt konventionelle Landwirtschaft

Die GWN-Raten für die oben genannten Szenarien auf den beiden zu betrachtenden Hydrotopen 1 und 4 ergeben sich wie folgt:

Tab. 7-1 angenommene GWN-Rate für die Prognose der Sickerwasserraten im Bodenwasserhaushaltsmodell HYDUS 1D

Hydrotop	GWN-Bildung in mm/a			
	Szenario 0	Szenario 1	Szenario 2a	Szenario 2b
1	100	25	4 Jahre: 25 1 Jahr: 100	4 Jahre: 25 3 Jahre: 100
4	85	21	4 Jahre: 21 1 Jahr: 85	4 Jahre: 21 3 Jahre: 85
Fruchtfolge	konvent. Anbau	dauerhaft Luzerne	4 Jahre Luzerne 1 Jahr Fruchtwechsel	4 Jahre Luzerne 3 Jahre Fruchtwechsel

Der Luzerneanbau auf der Kippe Witznitz erfolgt nur für den südlichen Kippenbereich. Gemäß den festgelegten Hydrotopen betrifft das überwiegend die Hydrotope 1 (südlich) und 4 (s. Abb. 7-1). Der südliche Teil des Hydrotops 2, der ebenfalls mit Luzerne bewirtschaftet wird, wurde in der Modellbetrachtung **nicht berücksichtigt**.

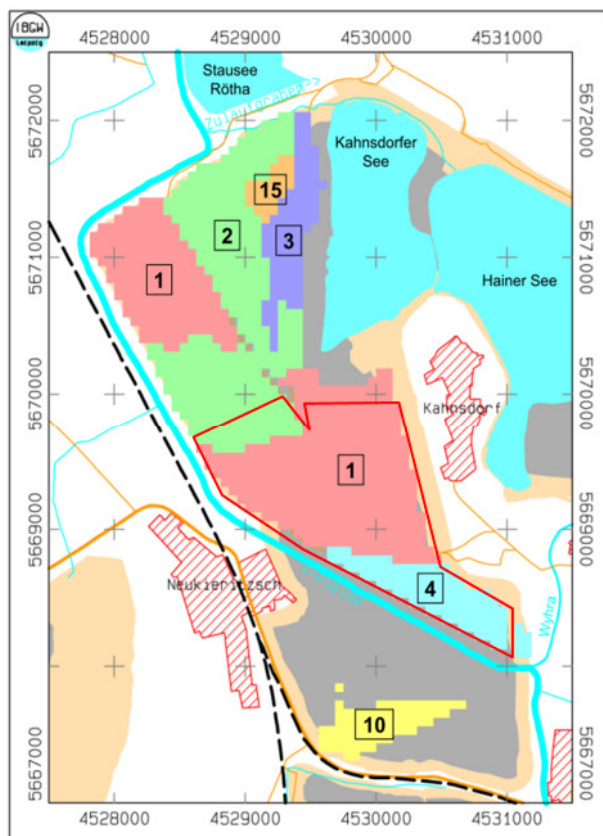


Abb. 7-1
Im Grundwassermodell ausgewiesene Hydrotope (rote Umrandung: aktuelles Anbaugelände Luzerne)

Anhand der kalibrierten Bodenparameter der Lysimetermodelle erfolgte der Aufbau eines 1-Schichtmodells für die Kippenhydrotope. Folgende van Genuchten-Parameter wurden angesetzt:

$$\alpha = 0,012 \text{ cm}^{-1} \quad n = 1,3.$$

Die Sickerwassermengen wurden als Tagesmittelwerte in das Modell eingebunden (RB 2. Art).

Die Berechnung der zeit- und flurabstandsabhängigen Sickerwasserraten für das Hydrotop 1 (mittlerer GW-Flurabstand 8 m) und Hydrotop 4 (mittlerer GW-Flurabstand 15 m) erfolgte mit dem Programm HYDRUS-1D. Die Ergebnisse mit dem HYDRUS-Modell für die Szenarien 1, 2a und 2b sind in **Abb. 7-2** bis **Abb. 7-4** dargestellt.

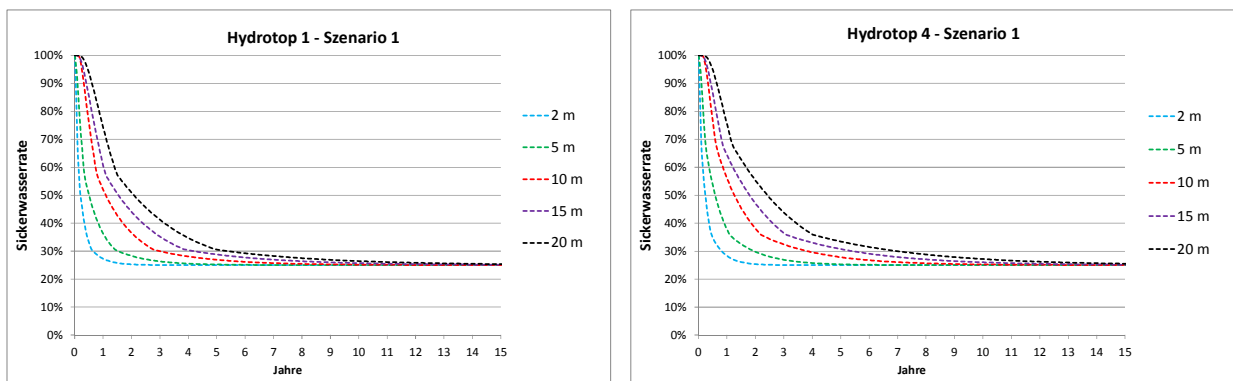


Abb. 7-2 Sickerwasserraten auf den Hydrotopen 1 (südl.) und 4 für das **Szenario 1** (dauerhafter Luzerneanbau)

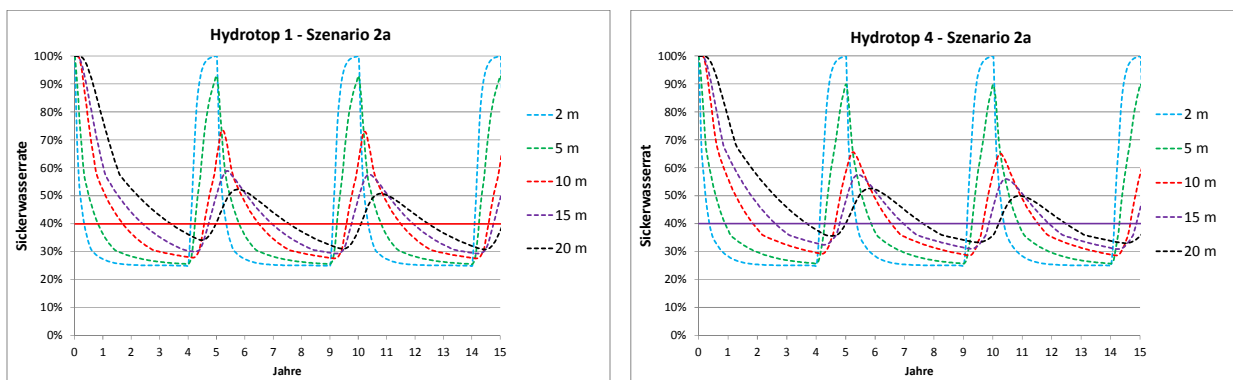


Abb. 7-3 Sickerwasserraten auf den Hydrotopen 1 (südl.) und 4 für das **Szenario 2a** (4 Jahre Luzerne, 1 Jahr Fruchtfolgewechsel)

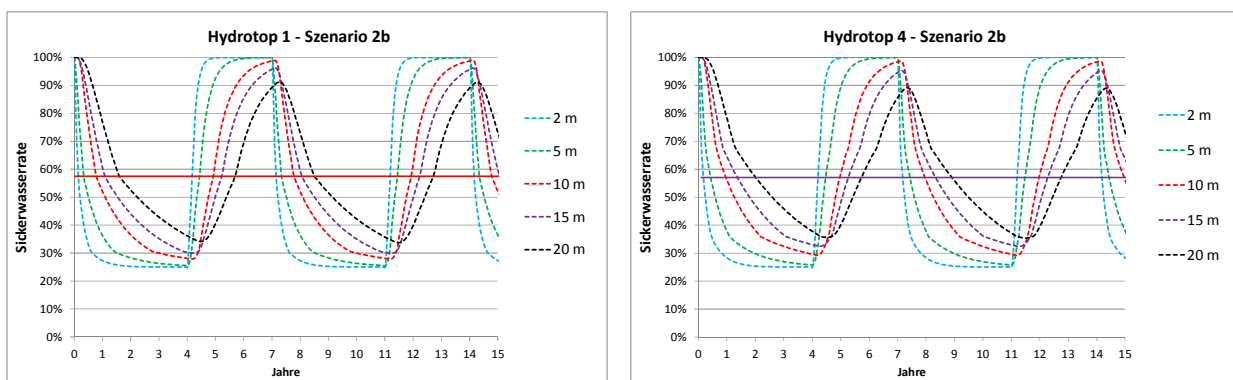


Abb. 7-4 Sickerwasserraten auf den Hydrotopen 1 (südl.) und 4 für das **Szenario 2b** (4 Jahre Luzerne, 3 Jahre Fruchtfolgewechsel)

In **Abb. 7-6** sind die Ganglinien des Grundwasserspiegels h in m NHN (durchgezogene Linien) sowie die jeweiligen GWN-Raten in m^3/min (gepunktete Linien) für jedes Szenario am Beobachtungspunkt im **Hydrotop 1** dargestellt.

Im **Szenario 0** liegt die GWN gleichbleibend bei $0,000743 \text{ m}^3/\text{min}$ (blau gepunktet). Die dazugehörige Grundwasserspiegelkurve (blau durchgezogen) zeigt einen leichten Anstieg über die Zeit, von $134,8 \text{ m NHN}$ im Jahr 2016 bis $135,4 \text{ m NHN}$ im Jahr 2100. Grund hierfür ist nicht die angesetzte GWN, sondern der generelle Grundwasserwiederanstieg im Gebiet. Durch eine gleichbleibende GWN kann keine Absenkung des GW-Spiegels erreicht werden.

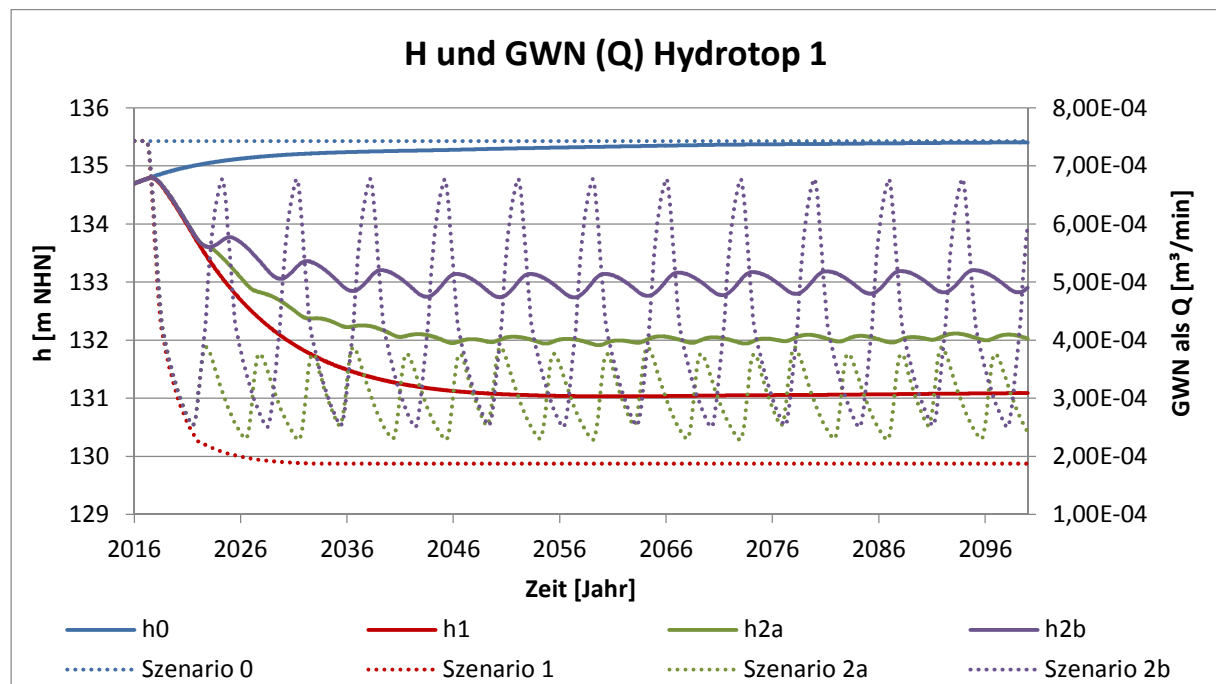


Abb. 7-6 Ganglinien der mittleren GWN und entsprechender GW-Spiegel am Beobachtungspunkt im Hydrotop 1

Für das **Szenario 1** mit seiner dauerhaft abgeminderten GWN (rot gepunktet) ergibt sich ein dauerhaft abgesenkter Grundwasserspiegel (rot durchgezogen). Diese Kurve beginnt bei $134,8 \text{ m NHN}$ im Jahr 2016 und sinkt zunächst auf einen Wert von etwa 131 m NHN nach 2056 ab, steigt dann aber ebenfalls durch den generellen, nachbergbaulich verursachten Grundwasseranstieg im Untersuchungsgebiet bis 2100 wieder leicht an. Dabei wird 2100 ein Wert von $131,1 \text{ m NHN}$ erreicht. Die dem Szenario zugrundeliegende vollständige Bewirtschaftung mit Luzerne erzielt somit eine Absenkung des GW-Spiegels um knapp 4 m am Beobachtungspunkt im Hydrotop 1.

Die grüne Kurve für das **Szenario 2a** zeigt einen erwartbaren Verlauf. Aufgrund der kurzen Phase des Fruchtfolgewechsels von einem Jahr, kommt es nur zu einem geringen kurzzeitigen Anstieg der GWN, die keinen Anstieg des verringerten GW-Spiegels bewirkt. Dabei folgt die h -Kurve (durchgezogen) den Schwankungen der GWN-Kurve (gepunktet). Die GW-Spiegelwerte bewegen sich dabei um einen Mittelwert von etwa 132 m NHN am Beobachtungspunkt. Durch

die jeweils 1-jährige Unterbrechung des Luzerneanbaus mit anderen Nutzpflanzen wird der GW-Spiegel am Beobachtungspunkt im Hydrotop 1 um 1 m weniger abgesenkt als bei vollständigem Luzerneanbau. Es ist allerdings noch immer ein deutliches Absenken des GW-Spiegels im Vergleich zum Ist-Zustand zu erkennen (etwa 3 m am Beobachtungspunkt).

Für das **Szenario 2b** mit dem Wechsel 4 Jahre Luzerne – 3 Jahre Fruchtfolge wird eine höhere GWN als im vorigen Szenario angesetzt (violette gepunktete Kurve). Die korrespondierende GW-Spiegelkurve zeigt daher höhere Werte. Insgesamt schwanken diese um einen Mittelwert von etwa 133 m NHN, nachdem sie von anfänglich 134,8 m NHN periodisch schwankend gesunken waren. Deutlich wird hier in der h-Kurve, dass das Absinken durch den periodischen Anstieg der GWN während des Fruchtfolgewechsels immer wieder unterbrochen wird. Das Schwanken um den Mittelwert stellt sich erst nach 2040 ein. Hier liegt der Wert für das Absenken des GW-Spiegels bei etwa 2 m.

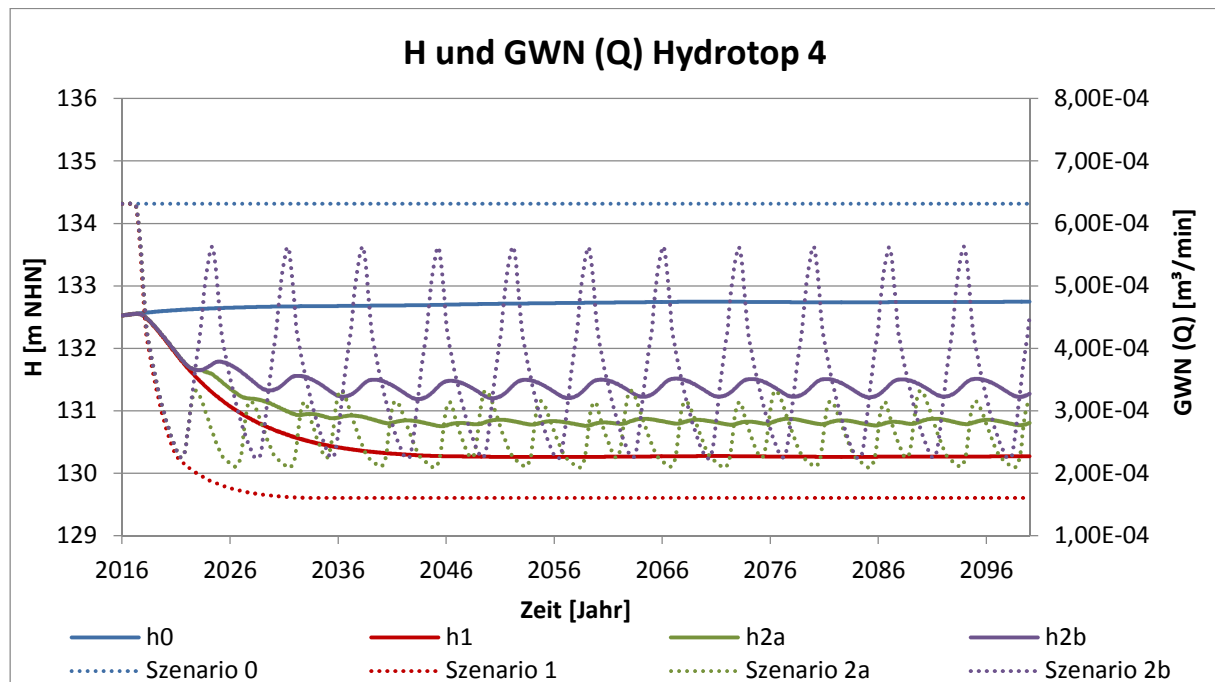


Abb. 7-7 Ganglinien der mittleren GWN und entsprechender GW-Spiegel am Beobachtungspunkt im Hydrotop 4

In **Abb. 7-7** sind die Ganglinien der GWN (gepunktet) sowie des GW-Spiegels (durchgezogen) für das **Hydrotop 4** dargestellt. In diesem Hydrotop war eine niedrigere GWN von 0,000632 m³/min für den Ist-Zustand ermittelt worden. Die Kurven zeigen hierbei einen ähnlichen Verlauf wie in Hydrotop 1.

In **Szenario 0** (Ist-Zustand) bleibt die GWN gleich (blau gepunktet), der GW-Spiegel steigt aufgrund der nachbergbaulichen Gegebenheiten über den gesamten Berechnungszeitraum von etwa 132,5 m NHN auf 132,8 m NHN leicht an (blau durchgezogen).

Für **Szenario 1** fällt die GWN von anfänglich 0,00063 m³/min auf 0,00014 m³/min ab (rot gepunktet). Die entsprechende h-Kurve (rot durchgezogen) sinkt von zunächst 132,5 auf 130,2

m NHN ab. Es wird am Beobachtungspunkt im Hydrotop 4 somit eine GW-Absenkung von etwa 2,5 m erzielt.

In **Szenario 2a** sinken die GW-Stände ebenfalls, aber aufgrund der einjährigen Unterbrechung des Luzerneanbaus mit Fruchtfolgewechsel in einem geminderten Maße. Es stellt sich am Beobachtungspunkt langfristig eine Schwankung um den Mittelwert von etwa 130,8 m NHN ein (grün durchgezogen). Die Absenkung des GW-Spiegels beträgt hier im Vergleich zum Ist-Zustand 2 m.

Das **Szenario 2b** mit der zugrundeliegenden höheren GWN (violett gepunktet) ergibt nach einer Absenkphase eine langfristige Schwankung um einen etwas erhöhten Mittelwert von etwa 131,4 m NHN. Die GW-Spiegelminderung beträgt für diesen Fall im Hydrotop 4 etwa 1,4 m.

Generell lässt sich feststellen, dass im Hydrotop 1 mit einer höheren GWN im Ist-Zustand ein stärkerer Einfluss der geringeren GWN in den einzelnen Szenarien auf die jeweiligen GW-Stände zu verzeichnen ist. Hier werden die deutlichsten Absenkungen von bis zu 4 m erzielt, während im Hydrotop 4 dieser Effekt weniger stark ausgeprägt ist. Jedoch lässt sich auch hier mit einer geringeren GWN der Grundwasserspiegel deutlich absenken.

7.2.2 Isohypsen- und Differenzenpläne

In den Abbildungen 13 bis 16 in Anlage 3 sind die Isohypsen zu Beginn und Ende der Modelllaufzeit (2016 – 2100) für die einzelnen Szenarien dargestellt. Die Hydrotope 1 und 4 sind jeweils gekennzeichnet. In der oberen rechten Ecke sind die ehemaligen Restlöcher Hainer See sowie Kahnsdorfer See abgebildet. Die dargestellten Isohypsenpläne des GW-Spiegels im Untersuchungsgebiet bestätigen die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Ergebnisse. In **Abb. 7-8** sind die Differenzen der Isohypsen von 2016 zu 2100 dargestellt.

In **Szenario 0** steigt der GW-Spiegel im Untersuchungsgebiet während der Modelllaufzeit leicht an. Die gleichbleibende GWN verringert den GW-Spiegel erwartungsgemäß nicht. Durch einen generellen GW-Wiederanstieg in nachbergbaulicher Zeit werden leicht höhere Wasserstände erreicht als zu Beginn der Modelllaufzeit.

In **Szenario 1** wird deutlich, dass der vollkommene Luzerneanbau auf den Versuchsflächen zu einer deutlichen Absenkung der GWN und damit auch zu einer Absenkung des GW-Spiegels von bis zu 4 m führt, welche bis weit in nördlich und östlich angrenzende Gebiete hinein wirkt.

In **Szenario 2a** bewirkt die kurzzeitige Unterbrechung des Luzerneanbaus im Untersuchungsgebiet eine maximale GW-Absenkung von etwa 3 m. Auch hier ist eine Auswirkung auf östliche und nördliche Nachbarflächen erkennbar.

In **Szenario 2b** bewirkt der lange Wechsel zwischen Luzerneanbau und Fruchtfolgewechsel zur geringsten GW-Absenkung im Untersuchungsgebiet. Hier werden zwischen 2016 und 2100 lediglich maximal 2 m Absenkung erreicht.

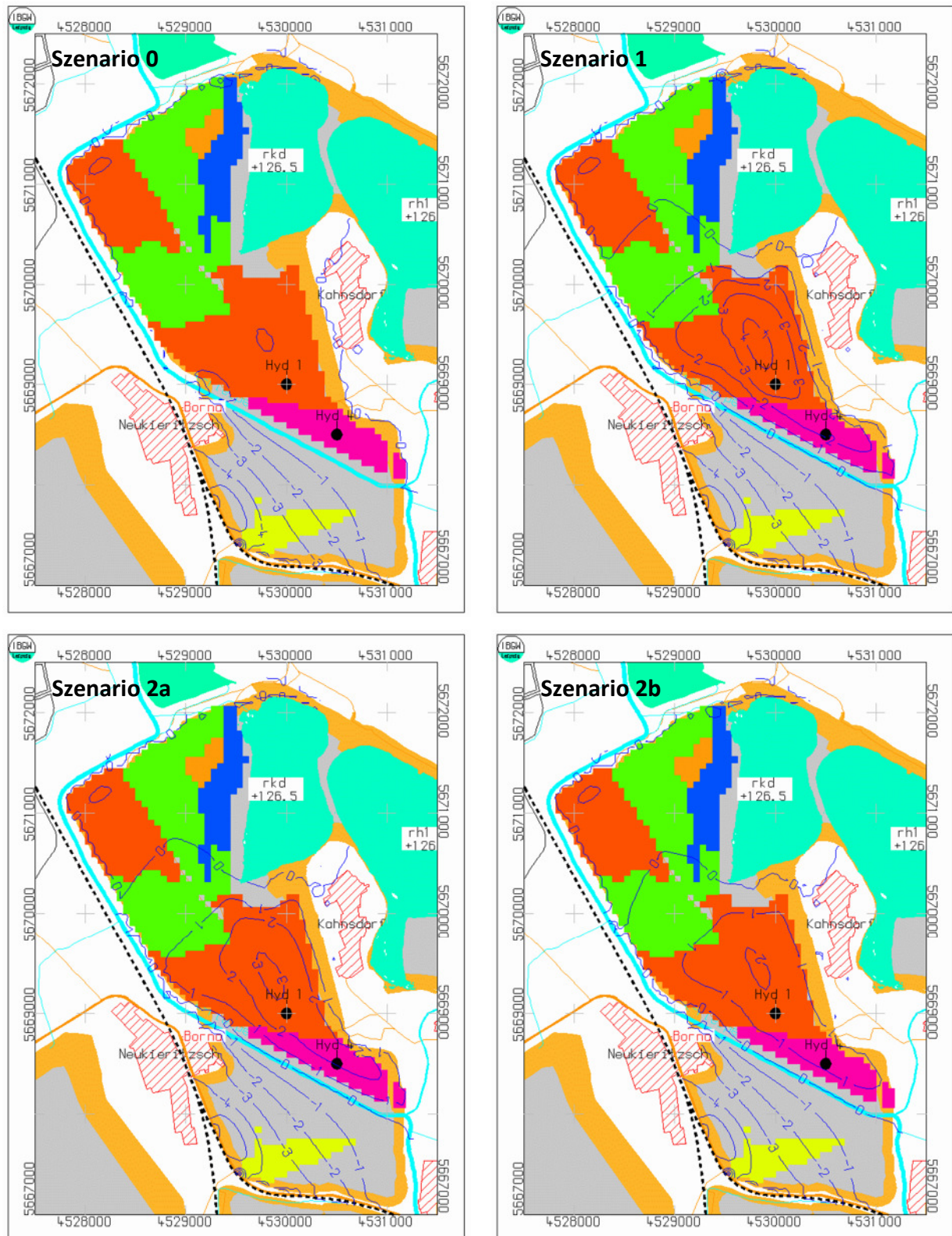


Abb. 7-8 Differenzen der Isohypsen von 2016 zu 2100

7.2.3 Auswirkung auf den Grundwasserspiegelgradienten – Schnittbetrachtung

Für die Verringerung des Eiseneintrags ist angedacht, den Gradienten und damit den Volumenstrom abzusenken. Im Folgenden soll der Gradient zwischen Hydrotop 1 und dem Gerinne

der Pleiße sowie zwischen Hydrotop 4 und dem Gerinne der Pleiße betrachtet werden (höchster GW-Spiegel Ist-Zustand 01.01.2016). Dazu werden die Druckhöhen entlang einer Schnittpur (**Abb. 7-9**) ausgewertet.

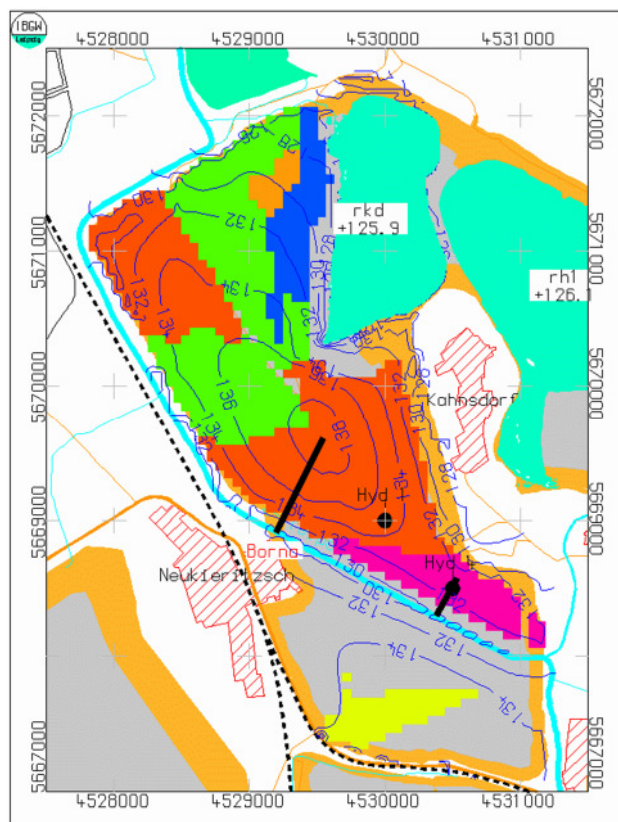


Abb. 7-9
Schnittpuren (schwarze, fette Linien) von Hydrotop 1 sowie Hydrotop 4 in südwestliche Richtung zum Gerinne der Pleiße mit berechneten Isohypsen Stand 01.01.2016

In den Abbildungen 18 bis 27 in Anlage 3 sind die GW-Druckhöhen und Potentiallinien für alle Szenarien für die Zeitpunkte 01.01.2016 und 01.01.2100 dargestellt. In der folgenden **Tab. 7-2** werden die berechneten Gradienten für die in **Abb. 7-9** abgebildeten Schnittpuren der einzelnen Szenarien zusammenfassend dargestellt.

Tab. 7-2 Für den Ist-Zustand (01.01.2016) und die Szenarien 0 bis 2b berechneten Gradienten entlang der Schnittpur aus Abb. 7 9

Gradient entlang der Schnittpur in Abb. 7-9 in m / 100 m		
	Hydrotop 1	Hydrotop 4
Ist-Zustand (01.01.2016)	1,2 m	1,1
Szenario 0	> 1,2 m	1,2
Szenario 1	0,7 m	0,4
Szenario 2a	0,8 m	0,6
Szenario 2b	0,9 m	0,7

Insgesamt lässt sich feststellen, dass Szenario 1 die deutlichste GW-Absenkung (lokal bis zu 4 m) und damit Verringerung des Gradienten auf 0,7 bzw. 0,4 m/100m bewirkt. Die Werte für Szenario 2a mit einer 1-jährigen Unterbrechung der Luzernebepflanzung zeigen aber ähnlich

gute Werte (bis zu 3 m Absenkung). Für dieses Szenario liegt der GW-Spiegel im Untersuchungsgebiet etwa 1 m höher bei 132 m NHN als im Szenario 1 (131 m NHN) im Hydrotop 1. Im Hydrotop 4 liegt er bei reichlich 130 m NHN für Szenario 1 und bei etwa 131 m NHN für Szenario 2a. In beiden Fällen bildet sich jedoch ein ähnlicher Gradient aus, der im Szenario 1 etwas geringer ist als im Szenario 2a.

7.2.4 Betrachtung der Volumenströme

Tab. 7-3 enthält eine Übersicht zu den Volumenströmen [m^3/min] im Ist-Zustand (2016) und zum Auswertezeitpunkt 2100 in den 4 Szenarien für die Hydrotope 1 und 4, jeweils auf 1 Meter Fließbreite, sowie für die gesamte angrenzende Fließlänge der Pleiße (Fluss-km 17,6 bis 21,5). Letztere entspricht der Grenze des Bilanzgebiets 4 Ost im Zwischenbericht [6]¹ – s. Literaturverzeichnis in Anlage 3. Diese Volumenströme sind für den Ist-Zustand sowie Szenario 0 und Szenario 1 zum Zeitpunkt 2100 aufgeführt.

Die Werte wurden jeweils basierend auf den Gradienten sowie den hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerten der verbreiteten Schichten ermittelt und für den Fließquerschnitt in Abhängigkeit von der Mächtigkeit des Strömungsraumes auf 1 Meter sowie 3900 m Fließbreite angegeben.

Für Hydrotop 1 liegen die Volumenströme jeweils höher als für Hydrotop 4, da dort die GWN und somit der Gradient jeweils höher sind.

Es wird deutlich, dass ausgehend vom Ist-Zustand (2016, $0,18 \text{ m}^3/\text{min}$) für die Volumenströme im Jahr 2100 höhere Werte zu erwarten sind ($0,21 \text{ m}^3/\text{min}$). Im Szenario 1 ergibt sich durch die reduzierte GWN ein geringerer Volumenstrom mit $0,12 \text{ m}^3/\text{min}$ als im Szenario 0. Die Volumenströme in den Szenarien 2a und 2b entsprechen den jeweiligen Reduktionsraten der GWN: in Szenario 2a ergibt sich ein Volumenstrom von $0,14 \text{ m}^3/\text{min}$ und im Szenario 2b ein Volumenstrom von $0,16 \text{ m}^3/\text{min}$.

Weiterhin ist ersichtlich, dass die hier ermittelten Werte denen für das Bilanzgebiet 4 OST aus [6] weitestgehend entsprechen: Ist-Zustand (2016) $0,17 \text{ m}^3/\text{min}$, Szenario 0 (2100) $0,2 \text{ m}^3/\text{min}$ sowie Szenario 1 (2100) $0,1 \text{ m}^3/\text{min}$. Die Unterschiede sind auf die unterschiedliche Ermittlung der Volumenströme zurückzuführen: während in [6] eine Bilanzierung für ein Bilanzgebiet erfolgte, wurden in dieser Studie Volumenströme für zwei Schnitte anteilmäßig auf die Fließbreite hochgerechnet.

Insgesamt müssen die Werte als **Abschätzung** angesehen werden. Sie machen deutlich, welche Volumenstromgrößenordnungen bzw. -änderungen für die einzelnen Szenarien zu erwarten sind.

¹ Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH, Hydrogeologische Modellierung zur Ableitung der Wirksamkeit einer flächenspezifischen Nutzungsänderung auf den Eiseneintrag in die Pleiße, Baseline- und Best-Case-Szenario, Zwischenbericht, Stand 01/2017

Tab. 7-3 Volumenströme in [m³/min] für die hydrogeologischen Schnitte in den Hydrotopen 1 und 4 sowie basierend auf dem Bilanzgebiet 4 OST (siehe Anlage 3 [6])

Szenario	Volumenstrom [m ³ /min] auf 1 m Breite		Volumenstrom [m ³ /min] auf 3,9 km Flusslänge (≙ Bilanzgebiet 4 OST)	
	Hydrotop 1	Hydrotop 4	Berechnet für Hydrotop 1 und 4 zusammen	
				aus Anlage 3 [6]
Ist (2016)	1,2E-04	1,2E-05	0,18	0,17
0 (2100)	1,5E-04	1,3E-05	0,21	0,20
1 (2100)	9,1E-05	3,4E-06	0,12 (57 % von Sz.0)	0,10
2a (2100)	1,0E-04	4,2E-06	0,14 (66 % von Sz. 0)	-
2b (2100)	1,1E-04	4,8E-06	0,16 (75 % von Sz. 0)	-

8 Zusammenfassung

Im Jahr 2014 wurde der Pilotversuch nach einer Übergangszeit in den großtechnischen Versuch überführt. Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung der produktionswirksamen Maßnahme wurden 2015 und 2016 die 6 Parzellen der Versuchsfläche 1 mit Luzerne und einem Luzerne-Gras-Gemisch betrieben. Zwei von den 4 Lysimetern in Brandis werden analog zu Versuchsfläche 1 ebenfalls mit Luzerne bzw. einem Luzerne-Gras-Gemisch bewirtschaftet. Auf den beiden anderen Lysimetern wurde im Frühjahr 2014 Mais, 2015 Winterweizen und 2016 Winterraps angebaut. Damit sollten vorab die Auswirkungen des für die Produktionsfläche nach 4 Jahren geplanten Fruchtwechsels untersucht werden.

Zusätzlich wurden 8 Kontrollflächen auf der Luzernefläche im Südbereich der Kippe Witznitz in das Untersuchungsprogramm einbezogen. Die Standorte wurden mit der LMBV abgestimmt.

Durch die für das Pflanzenwachstum günstigen Witterungsverhältnisse erfolgten 2016 am 17.05., 28.06., 25.08. und 26.10. insgesamt 4 Ernten. Dabei wurden alle begleitenden Untersuchungen wie z. B. Ermittlung von Frischmasse, Trockenmasse und Wuchshöhe durchgeführt. Weiterhin lassen sich folgende Kernaussagen treffen:

- 2016 war ein im Vergleich zum langjährigen Mittelwert ein relativ trockenes Jahr mit negativer klimatischer Wasserbilanz, aber mit hohen Niederschlagsmengen im Juni.
- Die Ernteerträge auf der Versuchsfläche waren auch im 8. Vegetationsjahr noch hoch. Allerdings war ein erhöhter Beiwuchs (Gras/Löwenzahn) auf der Versuchsfläche VF1 ersichtlich.
- Die Ernteerträge auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche waren im Mittel und in der Jahressumme geringfügig höher, als die Erträge auf den Luzerneparzellen der Versuchsfläche VF1.
- Die Luzerne auf der Teilfläche E ist gut aufgegangen. Die Gesamtfläche beträgt nun 187 ha und wird im Jahr 2017 durch die Teilfläche B um weitere 37,5 ha erweitert.
- Die Ernteerträge im Jahr 2016 auf den 14er Lysimetern mit Luzerne bzw. Knautgras-Luzerne-Gemisch entsprachen in etwa den Erträgen aus den Vorjahren. Die Ernteerträge der Luzerne waren dabei geringfügig höher, als von Knautgras-Luzerne.
- Die Sickerwassermengen auf den 14er Lysimetern und dem Referenzlysimeter betrugen im Jahr 2016
 - Luzerne: 0 mm
 - Knautgras/Luzerne: 0 mm
 - Referenzwert (Winterraps): 83,8 mm
- Die Ergebnisse des Jahres 2016 bestätigen wiederholt, dass Luzerne gut zur Reduzierung der Grundwasserneubildung geeignet ist. Mit steigendem Alter der Pflanzen ist ein Anstieg der Bodenwasserausschöpfung erkennbar, insbesondere auch im Winterhalbjahr.

- Aus den Grundwasserstandsganglinien sind noch keine Trends ableitbar, die die Wirksamkeit der Maßnahmen zur Reduzierung der Grundwasserneubildung eindeutig belegen. Hierfür müssen insgesamt längere Zeiträume betrachtet werden.

Im Jahr 2016 erfolgte eine modellgestützte Prognosefortschreibung für die Maßnahmewirkung auf der Kippe Witznitz. Mit den Messdatenreihen der Jahre 2012 bis 2016 der Lysimeter Witznitz und Brandis wurden das WH-Modell nachkalibriert und die GWN-Verteilung abgebildet. Die betrachteten Prognoseszenarien wurden auf MIN (worst case), MAX (best case) und zwei realistische Bewirtschaftungsszenarien (2a und 2b) festgelegt und die langjährige Entwicklung der Sickerwasserraten tiefenabhängig präzisiert. Die zeitlich aufgelösten Sickerwasserraten wurden als RB ins GW-Modell implementiert. Für zwei auf der bewirtschafteten Kippe liegende repräsentative Abstromprofile zur Pleiße wurden die spezifischen Volumenströme prognostiziert.

- Die modelltechnische Betrachtung einer Fruchtfolgebewirtschaftung hat ergeben, dass bei 1-jähriger Unterbrechung (Szenario 2a) des Luzerneanbaus noch etwa 40 % und bei 3-jähriger Unterbrechung (Szenario 2b) noch etwa 57 % der Sickerwasserraten erreicht werden. Bei dauerhaftem Luzerneanbau (Szenario 1) wird eine mittlere Sickerwasserrate von 25 % erreicht.
- Gegenüber dem Basisszenario (konventionelle Landwirtschaft mit gleichbleibend hoher GWN) ist bei allen Bewirtschaftungsszenarien mit Luzerne eine generelle Trendumkehr des GW-Wiederanstiegs sicher erreichbar.
- Für die Entwicklung der GW-Stände auf der Kippe werden folgende max. Absenkung prognostiziert
 - Szenario 0: 0 m mit einem Gradient von 1,2 m auf 100 m
 - Szenario 1: 4 m mit einem Gradient von 0,7 m auf 100 m
 - Szenario 2a: 3 m mit einem Gradient von 0,8 m auf 100 m
 - Szenario 2b: 2 m mit einem Gradient von 0,9 m auf 100 m.
- Die Schnittbetrachtung hat folgende Volumenströme in die Pleiße gegenüber dem Basisszenario 0 ergeben:

➤ Szenario 0:	Hydrotop 1	100 %	Hydrotop 4	100 %
➤ Szenario 1:	Hydrotop 1	61 %	Hydrotop 4	26 %
➤ Szenario 2a:	Hydrotop 1	67 %	Hydrotop 4	32 %
➤ Szenario 2b:	Hydrotop 1	73 %	Hydrotop 4	37 %
- Die Minderung des Volumenstroms zur Pleiße sinkt proportional mit dem Gradienten und proportional mit der Minderung der GWN.

9 Empfehlungen

9.1 Empfehlung für das Jahr 2017

Die weitere Gewinnung von Daten, insbesondere der Ernteerträge, von der Versuchsfläche VF1 wird als nicht mehr relevant bewertet. Es wird daher empfohlen, die Versuchsfläche aufzugeben.

Dagegen wird die Fortführung der Lysimeteruntersuchungen von 2017 bis 2022 in Brandis zur Gewinnung einer belastbaren Datenreihe (bisher 3 Jahre) für die Wirkung auf die mittlere GWN und für die Optimierung des Fruchtfolgewechsels als erforderlich angesehen und empfohlen.

Die Laufendhaltung und Wartung des Wasserhaushaltsmodells wie auch des GW-Modell gilt es im Jahr 2017 fortzuführen.

Der aktuelle Bewirtschaftungsplan sieht einen 3-jährigen Fruchtwechsel vor. Hierbei ist nach 4-jährigem Luzerneanbau die Fruchtfolge Silomais – Wintergetreide – Wintergetreide vorgesehen. Der Anbau von Wintergetreide als direkte Fruchtfolge nach Luzerne (Aussaat im Oktober) ist aufgrund des erhöhten Unkrautdrucks ungünstig. Um die Sickerwassermengen bzw. die GW-Neubildung möglichst gering zu halten (vgl. Abb. 7-3), wird aber eine einjährige Fruchtwechselfolge gem. Szenario 2a empfohlen. Mit der Agrargenossenschaft ist deshalb zu beraten, welche Kulturpflanzen für den einjährigen Fruchtwechsel in Frage kämen.

Neben dem Jahresbericht 2017 ist ein zusammenfassender Kurzbericht zu erstellen, der die Ergebnisse der letzten 5 Jahre widerspiegelt und daraus resultierende Handlungsempfehlungen zum weiteren Vorgehen ableitet.

9.2 Prognose- und Erfolgskontrolle 2018 – 2022

Es wird empfohlen, die vorliegende Wasserhaushaltsprognose standortbezogen zu überprüfen und fortzuschreiben. Dazu ist eine Bewertung der Bodenwasserspeicherung in der ungesättigten Zone der Kippe Witznitz notwendig. Die Bewertung sollte wenn möglich an zwei Profilen auf der Kippe Witznitz zur Pleiße hin erfolgen (s. Anlage 4). Der Messzeitraum sollte mindestens 5 Jahre umfassen, um

- das GW-Signal messtechnisch erfassen zu können (minimale Wirkdauer der geminderten GWN auf den GW-Spiegel gem. Abb. 7-6 und Abb. 7-7),
- um das Bodenwasserhaushaltsmodell hinsichtlich der Wirkung der Fruchtfolgebewirtschaftung auf den Hydrotopen 1 und 4 überprüfen und nachkalibrieren zu können und
- eine Kosten-Nutzen-Kontrolle an den gewonnenen Ist-Daten (2017 bis 2022) durchführen zu können.

Des Weiteren ist eine Ganglinienanalyse mittels der statistisch-stochastischen Ganglinienseparation zur Abgrenzung der GWN-Anteile zu erarbeiten und die Pufferwirkung des GW-Speichers Kippe Witznitz zu bewerten.

Anschließend sind die Sickerwasserraten mittels des neu kalibrierten WH-Modells mit der optimierten Fruchtwechselbewirtschaftungsvariante zu berechnen und in das überarbeitete GW-Modell einzubinden.