

# **Untersuchungen zum Nitratstickstoff- gehalt des Bodens unter durchwach- sener Silphie an vier Standorten**

**Untersuchungszeitraum Oktober 2016 bis April 2017**

<b>Auftraggeber</b>	<b>Bundesverband der Energie- und Wasser- wirtschaft (BDEW)</b>
<b>Auftragnehmer</b>	<b>Technologiezentrum Wasser Karlsruhe Abteilung Grundwasser und Boden</b>
<b>Bearbeiter</b>	<b>Dipl.-Ing. Thomas Ball Dipl.-Hydr. Matthias Geiges</b>

**Karlsruhe, Juli 2017**

## Inhaltsverzeichnis

1	Auftrag und Untersuchungsumfang .....	1
2	Auswertungsgrundlagen und Ergebnisdokumentation .....	3
2.1	Trockenrohdichten der Böden	3
2.2	Ergebnislieferung und -dokumentation	3
2.3	Klimatische Verhältnisse	3
2.4	Bodenwassersättigung	4
3	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen .....	5
3.1	Vorbemerkungen	5
3.2	Gesamtdüngermengen	5
3.3	Nitratstickstoffgehalte	6
3.4	Ammoniumstickstoffgehalte	7
4	Sonderuntersuchungen zur Nitratverlagerung .....	9
4.1	Grundlagen der INVAM-Simulationsrechnungen	9
4.2	Ergebnisse der INVAM-Simulationsrechnungen und Bewertung	10
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	13

### **Abbildungen in Anhang A**

- A1: Nitratstickstoffgehalte und Bodenwassermengen im Zeitraum Oktober 2016 bis April 2017 für die Fläche Si1
- A2: Nitratstickstoffgehalte und Bodenwassermengen im Zeitraum Oktober 2016 bis April 2017 für die Fläche Si2
- A3: Nitratstickstoffgehalte und Bodenwassermengen im Zeitraum Oktober 2016 bis April 2017 für die Fläche Si3
- A4: Nitratstickstoffgehalte und Bodenwassermengen im Zeitraum Oktober 2016 bis April 2017 für die Fläche Si4
- A5: Nitratstickstoffgehalte und Bodenwassermengen im Zeitraum Oktober 2016 bis April 2017 für die Fläche Si5
- A6: Nitratstickstoffgehalte und Bodenwassermengen im Zeitraum Oktober 2016 bis April 2017 für die Fläche Si6
- A7: Nitratstickstoffgehalte und Bodenwassermengen im Zeitraum Oktober 2016 bis April 2017 für die Fläche Si7
- A8: Nitratstickstoffgehalte und Bodenwassermengen im Zeitraum Oktober 2016 bis April 2017 für die Fläche Si8
- A9: Nitratstickstoffgehalte und Bodenwassermengen im Zeitraum Oktober 2016 bis März 2017 für die Fläche Si9
- A10: Nitratstickstoffgehalte und Bodenwassermengen im Zeitraum Oktober 2016 bis April 2017 für die Fläche Si10

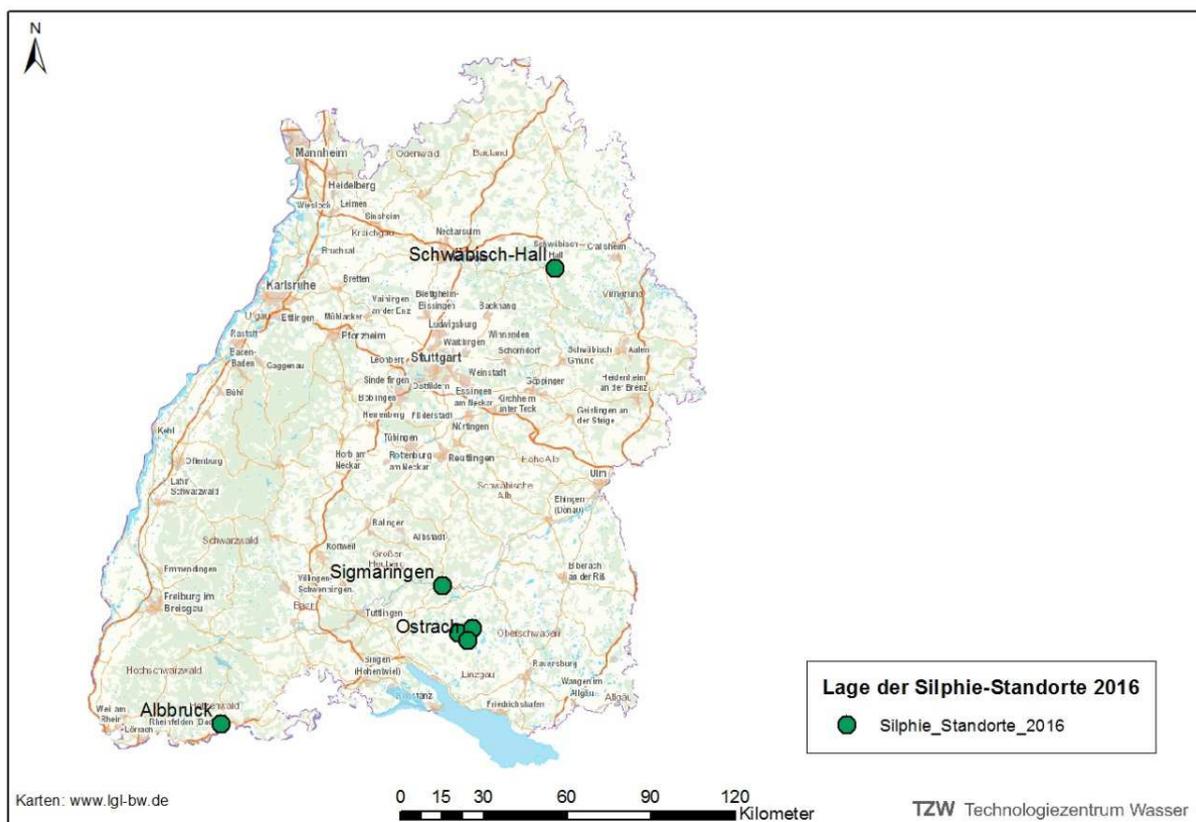
### **Tabellen in Anhang B**

- B1 – B2: TZW-Bodenkontrollergebnisse auf Nitrat- und Ammoniumstickstoff für die untersuchten Flächen Si1 – Si10

# 1 Auftrag und Untersuchungsumfang

Der BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft) erteilte dem Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe am 02.11.2016 den Auftrag (Zeichen: LBe), auf der Basis des TZW-Angebots vom 18.10.2016 (GWB/akAng16031), die Nitratauswaschung von Silphie-Ertragsflächen mit Hilfe von Modellrechnungen auf der Basis von Bodenkontrolldaten zu berechnen. Dieser Auftrag wurde am 30.03.2017 im Rahmen einer Telefonkonferenz mit dem Fachausschuss Biogas des BDEW um eine weitere Probennahme gegen Ende April 2017 erweitert. Ziel der Untersuchungen war, eine Abschätzung und Bewertung der Nitratauswaschung aus Silphie-Ertragsflächen auf verschiedenen Standorten mit Hilfe von Auswaschungsmodellrechnungen vorzunehmen und einen Vergleich mit der Nitratauswaschung von Energiemaisflächen durchzuführen.

Im vorliegenden Bericht werden die Bodenkontrollergebnisse sowie die zugehörigen Simulationsergebnisse bzgl. der Nitratauswaschung für den Zeitraum Ende Oktober 2016 bis Ende April 2017 dokumentiert und erläutert. Die Untersuchungen fanden auf acht Praxisflächen mit durchwachsener Silphie sowie auf zwei Vergleichsflächen mit der Fruchtfolge Energiemais (2016) – Winterweizen (2016/2017) statt. Diese zehn Untersuchungsflächen befanden sich an unterschiedlichen Standorten in Baden-Württemberg (Ostrach, Sigmaringen, Albrück, Schwäbisch-Hall). Die Lage der vier Standorte zeigt **Abbildung 1**.



**Abbildung 1: Lage der Silphie-Standorte 2016 (Praxisflächen) in Baden-Württemberg**

Die Untersuchungsflächen erhielten das Kürzel „Si“ und wurden von 1 bis 10 durchnummeriert. In der **Tabelle 1** sind den einzelnen Flächen der jeweilige Standort, die jeweilige Nutzung sowie die Verwertungsart der Silphie nach deren Ernte zugeordnet. Hieraus geht u.a. hervor, dass vier der acht Silphieflächen zur Saatguterzeugung genutzt wurden, während der Aufwuchs der weiteren vier Silphieflächen als Substrat für Biogasanlagen verwendet wurde. Angaben zu den Erträgen der einzelnen Flächen lagen nicht vor (bei den Flächen zur Saatguterzeugung wird kein Ertrag erfasst, da zuerst das Saatgut abgeerntet wird).

**Tabelle 1: Standort, Nutzung und Verwertungsart der einzelnen Untersuchungsflächen**

	<b>Standort</b>	<b>Nutzung</b>	<b>Verwertung der Silphie</b>
<b>Si1</b>	Ostrach	Winterweizen nach Energiemais	(Vergleichsfläche)
<b>Si2</b>	Ostrach	Durchwachsene Silphie	Saatguterzeugung
<b>Si3</b>	Ostrach	Durchwachsene Silphie	Saatguterzeugung
<b>Si4</b>	Ostrach	Durchwachsene Silphie	Saatguterzeugung
<b>Si5</b>	Ostrach	Durchwachsene Silphie	Biogaserzeugung
<b>Si6</b>	Sigmaringen	Winterweizen nach Energiemais	(Vergleichsfläche)
<b>Si7</b>	Sigmaringen	Durchwachsene Silphie	Biogaserzeugung
<b>Si8</b>	Ostrach	Durchwachsene Silphie	Saatguterzeugung
<b>Si9</b>	Schwäbisch Hall	Durchwachsene Silphie	Biogaserzeugung
<b>Si10</b>	Albbruck	Durchwachsene Silphie	Biogaserzeugung

Die Erst-Probennahmen (Bodenbereich 0-90 cm) erfolgten am 26.10.2016 (Ostrach und Sigmaringen) sowie am 03.11.2016 (Schwäbisch Hall) durch einen TZW-Mitarbeiter gemeinsam mit einem Mitarbeiter der Energiepark Hahnennest GmbH & Co. KG oder einem Landwirt vor Ort. Damit wurde eine einheitliche Vorgehensweise bei der Probennahme sichergestellt.

Die weiteren Probennahmen im Zeitraum Ende November 2016 bis Ende April 2017 erfolgten jeweils im Bodenbereich von 0 - 90 cm durch regional ansässige Probennehmer.

Insgesamt wurden im Zeitraum Oktober 2016 bis April 2017 folgende Probennahmen durchgeführt (vgl. auch Tab. B1 und B2):

- Auf 9 Untersuchungsflächen wurden im Zeitraum Oktober 2016 bis April 2017 an jeweils 7 Terminen Probennahmen durchgeführt.
- Die Fläche Si9 wurde hingegen lediglich an fünf Terminen untersucht, da zum einen im Januar 2017 wegen des Dauerfrostes keine Probe gezogen werden konnte (die nachfolgende Probe wurde daraufhin auf den 11.02.2017 vorgezogen) und zum anderen auf die Probennahme im April aufgrund des relativ hohen Aufwandes (Einzelfläche, ein Termin, Lage) verzichtet wurde.

Die Bodenproben wurden vor Ort gekühlt und bis zum Probentransport tiefgefroren. Nach dem in regelmäßigen Abständen durchgeführten Probentransport ans TZW wurden die Pro-

ben dort auf deren Nitrat- und Ammoniumstickstoffgehalte untersucht. Bei dem am TZW durchgeführten Verfahren zur Bestimmung des Nitratstickstoffgehaltes werden gefrorene Bodenproben eingesetzt, die vor der Analyse nicht getrocknet werden. Bei diesem Analysenverfahren werden bei allen Bodenproben auch die Wassergehalte bestimmt. Insgesamt wurde die folgende Anzahl an Analysen durchgeführt:

- 68 Nitratstickstoffprofile (0-90 cm) incl. Wassergehaltsbestimmung
- 96 Ammoniumstickstoffanalysen, davon 68 im Bodenbereich 0-30 cm und 28 im Bodenbereich 30-60 cm

Auf Grundlage dieser Datenbasis sowie von Klimadaten für die Berechnung der klimatischen Wasserbilanz (vgl. Abschnitt 2.3) wurden Simulationsrechnungen zur Abschätzung der Nitratstickstoffverluste der zehn betrachteten Flächen mit dem Mischzellenmodell INVAM (= Integrales Nitrat-Verlagerungs- und Auswaschungs-Modell)- durchgeführt.

## 2 Auswertungsgrundlagen und Ergebnisdokumentation

### 2.1 Trockenrohdichten der Böden

Die Umrechnung der Analyseergebnisse (mg Nitrat/kg Boden) auf flächenbezogene Nitratstickstoffgehalte in kg N/ha erfolgte bei allen Flächen mit den pauschalen Lagerungsdichten (Trockenrohdichten) nach SchALVO (Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung Baden-Württemberg):

0 - 30 cm:	1,3 g/cm <sup>3</sup>
30 - 60 cm:	1,5 g/cm <sup>3</sup>
60 - 90 cm:	1,5 g/cm <sup>3</sup>

### 2.2 Ergebnislieferung und -dokumentation

Die Tabellen B1 und B2 im Tabellenanhang B enthalten alle Einzelergebnisse der Bodenuntersuchungen. Die Boden-Nitratstickstoffgehalte für die einzelnen Untersuchungsflächen sind in den Abbildungen A1 – A10 im Abbildungsanhang A zusammen mit den Simulationsergebnissen dargestellt.

### 2.3 Klimatische Verhältnisse

Für die Berechnungen der klimatischen Wasserbilanz, welche für die Anwendung des Simulationsprogramm INVAM grundlegend ist, wurden für den Untersuchungszeitraum die hierfür notwendigen Daten (u.a. Niederschlag; Temperatur, Feuchte) möglichst naheliegender und vergleichbarer Standorte (Höhenlage etc.) herangezogen. Diesbezüglich wurden die vier nachfolgend genannten Messstationen ausgewählt:

- DWD-Station Sigmaringen Laiz für die Standorte Si6 und Si7 in Sigmaringen

- DWD-Station Pfullendorf für Si1 bis Si5 und Si8 in Ostrach
- LTZ-Station Ilshofen für Si9 in Schwäbisch Hall
- LTZ-Station Waldshut für Si10 in Albruck

In der **Tabelle 2** sind die Monatsniederschlagssummen von August 2016 bis April 2017 sowie die Summe für den Zeitraum September 2016 bis März 2017 zum Vergleich einander gegenüber gestellt.

**Tabelle 2: Monatsniederschlagssummen von August 2016 bis April 2017**

Station	2016					2017				Summe Sept. 2016 - März 2017	Gebiet	Flächenzuordnung
	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jan	Febr	März	April			
Sigmaringen	96,9	30,6	44,3	59,9	1,9	24,8	21,5	39,6	78,6	222,6	Sigmaringen	Si6, Si7
Pfullendorf	80,9	37,5	45,5	76,0	1,2	30,8	25,2	38,9	108,8	255,1	Ostrach	Si1-Si5, Si8
Ilshofen	41,7	26,7	84,6	69,0	9,0	18,9	43,4	64,0	39,2	315,6	Schwäbisch-Hall	Si9
Waldshut	34,2	38,7	28,7	58,1	3,0	55,1	87,2	125,9	74,5	396,7	Albruck	Si10

Die beiden nur etwa 20 km (Luftlinie) voneinander entfernt liegenden Klimastationen Sigmaringen und Pfullendorf wiesen sowohl hinsichtlich der Monatsniederschlagssummen als auch hinsichtlich der Gesamtsumme für den Herbst-Winterzeitraum (September 2016 bis März 2017) mit 223 und 255 mm ähnliche Werte auf. Demgegenüber lag die Summe für den Herbst-Winterzeitraum in Ilshofen mit 316 mm um ca. 40 % und in Waldshut mit knapp 400 mm um etwa 80 % höher als in Sigmaringen.

Die Höhe der Grundwasserneubildung im Herbst-Winterzeitraum beeinflusst maßgebend die Höhe der Nitratauswaschung.

## 2.4 Bodenwassersättigung

Die Bodenwassersättigung <sup>1</sup> wurde anhand des Verlaufs der Bodenwassergehalte für jede einzelne Bodenschicht jeder Fläche auf Basis der Wassergehaltsmessungen abgeschätzt.

Zum ersten Probennahmetermin Ende Oktober/Anfang November 2016 war lediglich die Fläche Si1 bereits bis zur Feldkapazität <sup>2</sup> wassergesättigt, bei allen anderen Flächen wurde die Wassersättigung bis zur Feldkapazität zwischen dem ersten Probennahmetermin und dem zweiten Probennahmetermin Ende November/Anfang Dezember erreicht. Daher kann es bei der Fläche Si1 auch schon vor dem ersten Probennahmetermin zu frühzeitigen Auswaschungseffekten gekommen sein. Bei den anderen Probennahmeflächen traten die ersten Auswaschungseffekte dementsprechend zwischen dem ersten und zweiten Probennahmetermin (d.h. im November) auf.

Zwischen dem zweiten und dem dritten Probennahmetermin Ende Dezember war aufgrund sehr geringer Niederschläge keine Grundwasserneubildung zu verzeichnen, weshalb auch

<sup>1</sup> Bodenwassersättigung = gesamter Porenraum des Bodens ist mit Wasser gefüllt

<sup>2</sup> Feldkapazität = Wassermenge die ein zunächst wassergesättigter Boden im Gleichgewichtszustand nach 2 – 3 Tagen noch halten kann

keine Auswaschungseffekte auftraten. Dies war auch weitgehend im Januar 2017 aufgrund des herrschenden Dauerfrostes der Fall. Weiterhin dürfte es auch im Zeitraum zwischen dem sechsten Probennahmetermin Ende März 2017 und dem siebten Probennahmetermin Ende April 2017 aufgrund geringer Niederschläge bei gleichzeitig zunehmender Verdunstung zu lediglich geringer Grundwasserneubildung gekommen sein.

Auswaschungseffekte traten somit bei den untersuchten Flächen im Herbst-Winter-Zeitraum 2016/2017 vor allem zwischen dem ersten und zweiten Probennahmetermin (d.h. etwa im November 2016) und/oder in den Monaten Februar und März 2017 auf.

## **3 Ergebnisse der Bodenuntersuchungen**

### **3.1 Vorbemerkungen**

Die Durchführung dieses Projektes wurde im Oktober 2016 beschlossen. Die Suche nach Projektbeteiligten (Landwirte) erfolgte daher auch erst ab Mitte Oktober 2016. Für die kurzfristige Bereitschaft zur Teilnahme an diesem Projekt möchten wir uns an dieser Stelle bei allen Beteiligten bedanken. Die kurzfristige Entscheidung zur Durchführung dieses Projektes hatte aber auf der anderen Seite auch den Vorteil, dass die ins Projekt einbezogenen Flächen keine gesonderte Düngung oder Behandlung erfahren konnten, da zum Düngungszeitpunkt (Frühjahr 2016) die Durchführung dieses Projektes noch nicht angedacht war. Dementsprechend handelt es sich um Praxisflächen mit betriebsüblicher Düngung. Man kann daher davon ausgehen, dass es sich bei den im Folgenden vorgestellten Untersuchungsergebnissen um Untersuchungsergebnisse handelt, welche die tatsächlichen Verhältnisse bei Silphie-Ertragsflächen aufzeigen.

### **3.2 Gesamtdüngermengen**

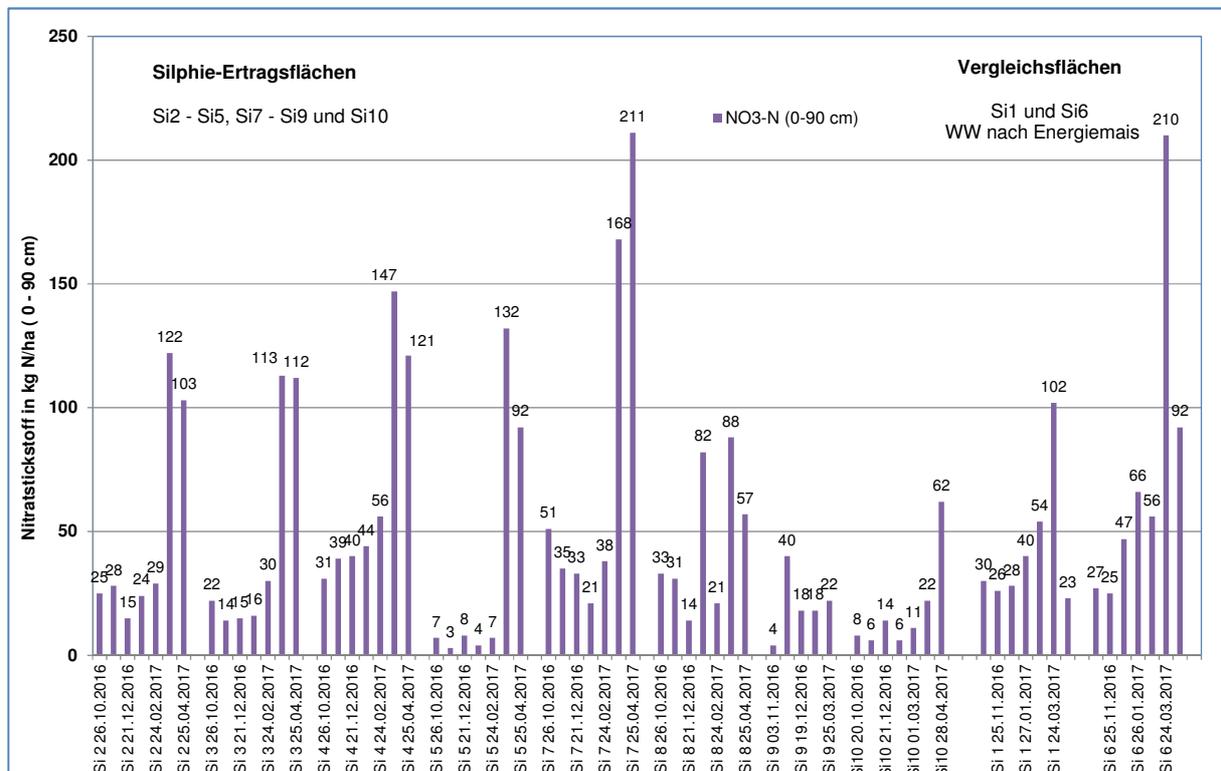
Die Düngung der Silphiefläche Si9 erfolgte im Jahr 2016 ausschließlich in Form von Gärresten. Sie wurde im Frühjahr 2016 mit 35 m<sup>3</sup> Gärrest gedüngt (3,95 kg N-Gesamt/m<sup>3</sup>). Dies entspricht einer Gesamtdüngermenge von 138 kg N/ha.

In den anderen Fällen erfolgte die Düngung sowohl in Form von Gärresten als auch mit mineralischer Zusatzdüngung in Form von leichtlöslichem KAS-Dünger (Kalkammonsalpeter, 27 % N, davon 50 % als Ammoniumstickstoff). Beispielsweise wurden die Silphieflächen Si2, Si3, Si4 und Si5 im März & April 2016 mit 2 x 20 m<sup>3</sup> Gärrest gedüngt (3 kg N-Gesamt/m<sup>3</sup>, entspr. 120 kg N/ha) zudem im April 2016 mit 185 kg KAS (50 kg N/ha). Die Gesamtdüngermengen reichten insgesamt von 138 kg N/ha bis 200 kg N/ha. Die ausgebrachten Gärrestmengen lagen zwischen 30 und 40 m<sup>3</sup>/ha (2 x 20 m<sup>3</sup>/ha), die Mineraldüngermengen zw. 50 und 100 kg N/ha.

Die Obergrenze für organisch und organisch-mineralische Düngemittel der Düngeverordnung von 170 kg N-Gesamt je Hektar wurde nach den vorliegenden Angaben eingehalten.

### 3.3 Nitratstickstoffgehalte

Die **Abbildung 2** zeigt eine Übersicht über die Entwicklung der Nitratstickstoffgehalte im Bodenbereich 0 – 90 cm während des Untersuchungszeitraums.



**Abbildung 2: Nitratstickstoffgehalte der Silphieflächen sowie von zwei Vergleichsflächen von Oktober 2016 bis Ende April 2017**

Die Nitratstickstoffgehalte (0-90 cm) reichen von 3 bis 211 kg N/ha. Zur weiteren Auswertung wurden die Spannweiten und Mittelwerte der Nitratstickstoffgehalte (0-90 cm) auf den acht Silphieflächen und den beiden Vergleichsflächen für die sieben Probennahmeaktionen von Oktober 2016 bis April 2017 in der **Tabelle 3** zusammengestellt.

Die Nitratstickstoffgehalte der Silphieflächen lagen im Zeitraum von Ende Oktober 2016 bis Ende Februar 2017 im Mittel zwischen 20 und 27 kg N/ha. Die Ergebnisse der Probennahmetermine Ende März und Ende April 2017 sind teilweise bereits durch Düngungsmaßnahmen beeinflusst, was sich in erhöhten Nitratstickstoffgehalten im Oberboden aber auch in erhöhten Ammoniumstickstoffgehalten zeigt (vgl. Abschn. 3.4, Tab. 4, Tab. B1 und B2).

Nachdem die mittleren Nitratstickstoffgehalte der beiden Vergleichsflächen bis Anfang Dezember nur geringfügig über den Werten der Silphieflächen lagen, nahmen diese bei den weiteren Probennahmetermine deutlich stärker zu als bei den Silphieflächen. Erst bei der Untersuchung Ende April zeigten die Silphieflächen erstmals höhere mittlere Nitratstickstoffgehalte als die Vergleichsflächen.

Aufgrund der Dauerfrostphase im Januar 2017 war der Neuaustrieb aus den Silphiepflanzen nicht so ausgeprägt wie in klimatisch milderen Jahren. Bei den Saatguterzeugungsflächen

(Si2, Si3, Si4 und Si8) ist dies wegen der späteren Ernte dort zeitlich verzögert und auch nicht so stark wie bei Flächen, die als Substrat für Biogasanlagen (Si5, Si7, Si9 und Si10) genutzt werden.

**Tab. 3: Mittelwerte und Spannweiten der Nitratstickstoffgehalte (0-90 cm) auf den Silphieflächen und den beiden Vergleichsflächen von Oktober 2016 bis April 2017**

Flächen	PN-Aktion	Datum	Anzahl	Nitratstickstoffgehalte (0-90 cm) kg N/ha		
				Minimum	Maximum	Mittel
<b>Silphie- flächen</b>	1	20.10.-3.11.16	8	4	51	<b>23</b>
	2	24./25.11./2.12.16	8	3	40	<b>25</b>
	3	19./21.12.16	8	8	40	<b>20</b>
	4	20.-26.01. & / 11.02.17	8	4	82	<b>27</b>
	5	24.02. & 01.03.17	7	7	56	<b>27</b>
	6	23.-25.03.17	8	22	168	<b>102</b>
	7	25.-28.04.17	7	57	211	<b>108</b>
<b>Vergleichs- flächen</b>	1	26.10.2016	2	27	30	<b>29</b>
	2	25.11.2016	2	25	26	<b>26</b>
	3	21.12.2016	2	28	47	<b>38</b>
	4	26./27.01.2017	2	40	66	<b>53</b>
	5	24.02.2017	2	54	56	<b>55</b>
	6	24.03.2017	2	102	210	<b>156</b>
	7	25.04.2017	2	23	92	<b>58</b>

### 3.4 Ammoniumstickstoffgehalte

In der **Tabelle 4** sind die Spannweiten und Mittelwerte der Ammoniumstickstoffgehalte des Oberbodens für die acht Silphieflächen und die beiden Vergleichsflächen für die sieben Probenahmeaktionen von Oktober 2016 bis April 2017 zusammengestellt.

Im Zeitraum Oktober bis Dezember 2016 lagen die Ammoniumstickstoffgehalte des Bodens für die Silphieflächen bei maximal 9 kg N/ha und für die Vergleichsflächen bei maximal 5 kg N/ha und damit in beiden Fällen auf niedrigem Niveau.

Gegen Ende Januar und im Februar 2017 kam es vermutlich nach dem Auftauen des Bodens zu Mineralisierungseffekten, weshalb die mittleren Ammoniumstickstoffgehalte von 15 bzw. 10 kg N/ha für die Silphieflächen und 11 bzw. 16 kg N/ha für die Vergleichsflächen gegenüber den Werten vom Zeitraum Oktober bis Dezember 2016 um etwa 5 – 10 kg N/ha höher lagen. Bei drei Silphieflächen waren in diesem Zeitraum auch in der mittleren Bodenschicht (30-60 cm) erhöhte Ammoniumgehalte festzustellen (max. 15 kg N/ha) Bei den Ver-

gleichsflächen (Winterweizen) könnte auch eine Frühjahrsdüngung mit zu den Ursachen der höheren Ammoniumstickstoffgehalte beigetragen haben.

Die Ammoniumstickstoffgehalte bei den Probennahmeaktionen 6 und 7 lagen bei den Silphieflächen Ende März 2017 mit Werten zwischen 15 und 95 kg N/ha im Oberboden sowie Ende April 2017 mit Gehalten zwischen 15 und 39 kg N/ha auf einem erhöhten Niveau. Ende März waren auf drei Flächen auch im Bodenbereich 30 – 60 cm leicht erhöhte Ammoniumstickstoffgehalte bis max. 13 kg N/ha anzutreffen. Bei den Vergleichsflächen lagen im Oberboden ähnlich hohe Werte vor. Diese Ammoniumstickstoffgehalte dürften in beiden Fällen vor allem auf die zuvor erfolgten Düngungen zurückzuführen sein.

**Tab. 4: Mittelwerte und Spannweiten der Ammoniumstickstoffgehalte (0-30 cm) auf den Silphieflächen und den beiden Vergleichsflächen von Oktober 2016 bis April 2017**

Flächen	PN-Aktion	Datum	Anzahl	Ammoniumgehalte (0-30 cm) kg N/ha		
				Minimum	Maximum	Mittel
<b>Silphie- flächen</b>	1	20.10.-3.11.16	8	3	8	<b>6</b>
	2	24./25.11./2.12.16	8	6	11	<b>8</b>
	3	19./21.12.16	8	6	18	<b>9</b>
	4	20.-26.01. & / 11.02.17	8	10	21	<b>15</b>
	5	24.02. & 01.03.17	7	8	13	<b>10</b>
	6	23.-25.03.17	8	15	95	<b>47</b>
	7	25.-28.04.17	7	15	39	<b>29</b>
<b>Vergleichs- flächen</b>	1	26.10.2016	2	3	4	<b>4</b>
	2	25.11.2016	2	4	5	<b>5</b>
	3	21.12.2016	2	3	4	<b>4</b>
	4	26./27.01.2017	2	9	12	<b>11</b>
	5	24.02.2017	2	5	26	<b>16</b>
	6	24.03.2017	2	33	92	<b>63</b>
	7	25.04.2017	2	11	41	<b>26</b>

## 4 Sonderuntersuchungen zur Nitratverlagerung

### 4.1 Grundlagen der INVAM-Simulationsrechnungen

Um die Verluste durch Nitrat auswaschung mit Hilfe von INVAM-Simulationsrechnungen (vgl. ROHMANN 1996 <sup>1)</sup> sowie STURM, KIEFER und RÖDELSPERGER 2004 <sup>2)</sup>) abschätzen zu können, sind folgende Eingangsdaten erforderlich:

- Sickerungsrelevante Niederschlagsmengen
- N-Deposition (bei einem 3-4 Wochen Zeitraum ca. 1 kg N/ha)
- Feldkapazität des Bodens
- Bodenwassergehalte zu den Messzeitpunkten
- Boden-Nitratstickstoffgehalte

Die sickerungsrelevante Niederschlagsmenge wird durch eine klimatische Wasserbilanz unter Einbeziehung der potentiellen Evapotranspiration nach Haude (s.u.) abgeschätzt. Die klimatische Wasserbilanz stellt die Differenz zwischen Niederschlagshöhe und potentieller Evapotranspiration dar. Als Niederschlagshöhen wurden die täglichen Aufzeichnungen der unter Abschnitt 2.3 genannten Wetterstationen verwendet. Die potentielle Evapotranspiration wurde mittels einer Berechnung nach HAUDE abgeschätzt.

- Unter der potentiellen Evapotranspiration (ETp) versteht man eine Näherung für die obere Grenze der Verdunstung bewachsener Landflächen bei den herrschenden meteorologischen Bedingungen und unter unbehinderter Wasserverfügbarkeit. Daraus folgt, dass sie der aktuellen (realen) Verdunstung nur in Zeitabschnitten mit hoher Bodenfeuchte bzw. häufigen Regenfällen entspricht (DVWK 1996 <sup>3)</sup>). Die aktuelle Evapotranspiration hängt von der Art und Form der Bodenbedeckung, der Bodenart und Bodenfeuchtigkeit und den jeweiligen Witterungsbedingungen ab.
- Aus der Berechnung nach Haude resultieren tägliche Werte der potentiellen Evapotranspiration, die jedoch aufgrund der Unsicherheiten möglichst zu Monatssummen zusammengefasst werden sollten. Im hier praktizierten Fall wird über den Zeitraum zwischen den einzelnen Probennahmeterminen aufsummiert.
- Nach dem HAUDE-Verfahren wird ein jahreszeitlich variierender, empirischer Koeffizient („Haude-Faktor“) in die Berechnung einbezogen, der die unterschiedliche Verdunstung der Kulturen im Jahresverlauf berücksichtigt. Der Berechnung liegen daher neben den genannten

---

<sup>1)</sup> ROHMANN, U.: Nitratrestgehalte von Böden unter verschiedenen Nutzungsbedingungen und standortabhängige Nitrat auswaschung“. In: Von der Analytik zur Problemlösung - Ausgewählte Beispiele aus der Arbeit des TZW“. Veröffentlichungen aus dem TZW Karlsruhe Bd. 1 (1996) S. 51-69.

<sup>2)</sup> STURM, S.; KIEFER, J.; RÖDELSPERGER, M.: Validierung und Weiterentwicklung eines standortunabhängigen Bodenkontrollverfahrens zur Ermittlung der Nitrat auswaschung mit Modellrechnungen. Veröffentlichungen aus dem TZW Karlsruhe (TZW), Bd. 26 (2004), 111 Seiten + Anhang.

<sup>3)</sup> DVWK 1996: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. DVWK Merkblätter zur Wasserwirtschaft 238/1996, Bonn.

Parametern auch entsprechende Verdunstungsfaktoren für unterschiedliche Kulturen und die einzelnen Monate zu Grunde, die sich zwischen 0,1 und 0,4 [mm/d/hPa] bewegen.

- Für Mais liegen entsprechende Verdunstungsfaktoren vor, wobei allerdings bei HAUDE nicht nach Silomais bzw. Energiemais oder Körnermais unterschieden wird. Für die Silphieflächen wurden im Berechnungszeitraum aufgrund des geringen Bewuchses die Haundefaktoren für Brache verwendet. Die Differenz der so gewählten Verdunstungsfaktoren zu den tatsächlichen kulturspezifischen Faktoren ist nicht bekannt.
- Die berechneten Verdunstungen können in diesen Fällen daher noch deutlicher von den tatsächlichen Werten abweichen, als dies auch bei vorhandenen kulturspezifischen Faktoren ohnehin der Fall ist. Die mit diesen Daten berechnete klimatische Wasserbilanz kann aus den genannten Gründen daher nur einen Näherungswert für die tatsächlichen Verhältnisse darstellen.

Zusätzlich zu den Tagesniederschlägen wurden die Aufzeichnungen der mittleren Tagestemperaturen sowie der relativen Luftfeuchte um 14 Uhr MEZ (DWD-Wetterstationen Pfullendorf und Sigmaringen-Laiz) bzw. der mittleren Tagesluftfeuchte (LTZ-Wetterstationen Waldshut und Ilshofen) herangezogen.

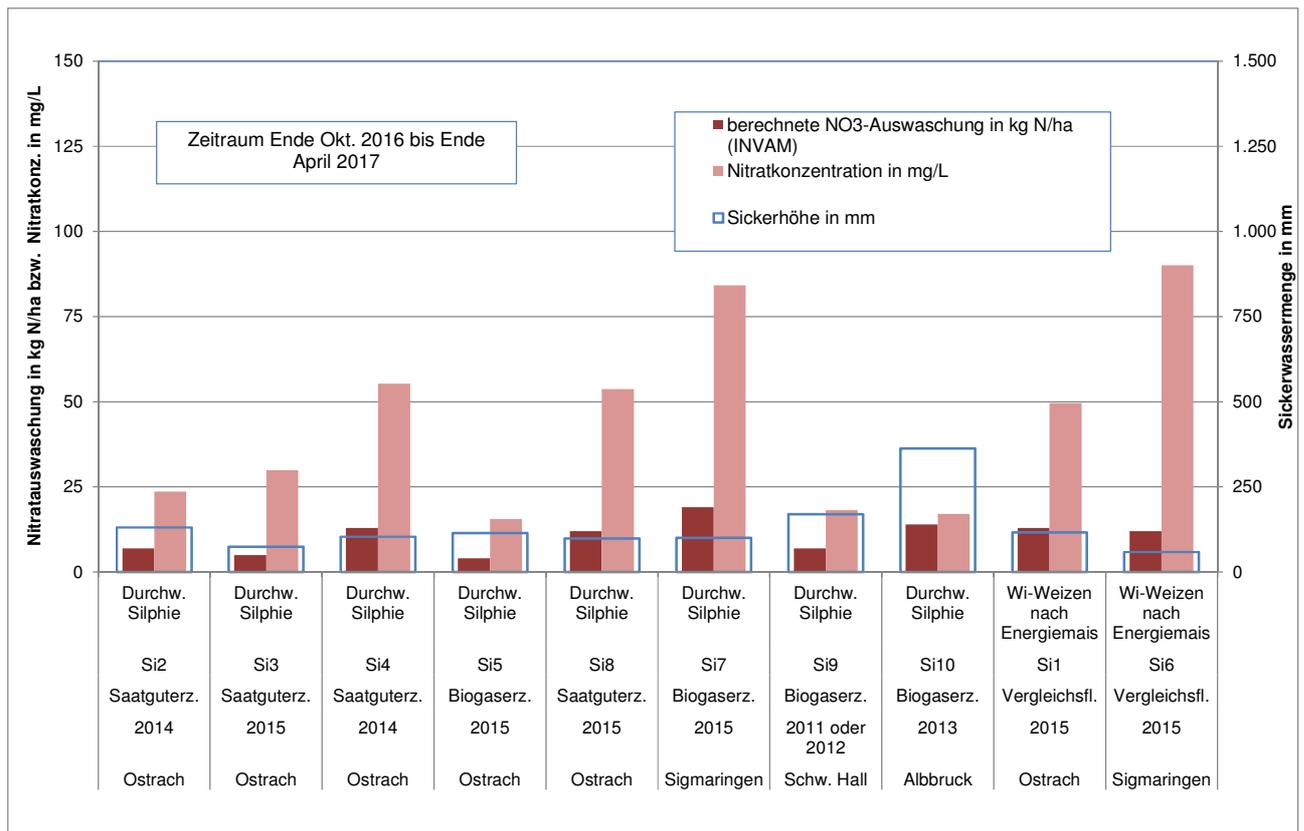
Auf Basis der klimatischen Wasserbilanz, des tatsächlichen Bodenwassergehalts zum Messzeitpunkt sowie der Feldkapazität wird von INVAM eine theoretische Sickerwassermenge berechnet. Bei gesättigten Bodenwasserverhältnissen entspricht die klimatische Wasserbilanz der theoretischen Sickerwassermenge. Liegen zu Beginn des Berechnungszeitraums ungesättigte Bodenwasserverhältnisse vor, wird das Bodenfeuchtedefizit zunächst aufgefüllt, bevor die Sickerung beginnt. Liegt zum Starttermin Wassersättigung vor und wird diese danach zeitweise unterschritten, so wird dies durch INVAM nicht berücksichtigt, d.h. INVAM rechnet in diesem Fall mit Bodenwassersättigung weiter.

Können die Änderungen der Nitratstickstoffgehalte in den entsprechenden Bodenschichten und der Profilsommenwerte durch die reine Auswaschungsrechnung nicht mit hinreichender Genauigkeit nachvollzogen werden, so kann die Auswaschungsrechnung beispielsweise durch zusätzliche Berücksichtigung einer mineralisierungsbedingten Nitratfreisetzung oder von Nitratverlusten durch Denitrifikation oder auch andere Stickstoffsinken und -quellen erweitert werden. Voraussetzung für diese Modellanpassung ist, dass die naturgesetzlichen Bedingungen im jeweiligen Zeitraum erfüllt sind, wie z. B. Gefrier-/Auftauprozesse, Bodenbearbeitung oder das Abfrieren der Begrünung für die Mineralisierung. Da diese Anpassungen auf das am folgenden Probennahmetermin gemessene Nitratstickstoffprofil ausgerichtet sind, ist eine Durchführung dieser Anpassungen nur dann zulässig, wenn bis zu diesem Termin tatsächlich von Sickerwasserbildung ausgegangen werden kann, also gesättigte Bodenwasserbedingungen vorliegen.

## 4.2 Ergebnisse der INVAM-Simulationsrechnungen und Bewertung

Im Folgenden wurde, die Entwicklungen der Nitratstickstoffgehalte bei den einzelnen Flächen mithilfe des Simulationsmodells INVAM nachvollzogen, um daraus die Größenordnung der Nitratstickstoffauswaschung zu ermitteln. Die Einzelergebnisse der Berechnungen sind den Abbildungen A1 – A10 im Abbildungsanhang zu entnehmen.

Die durch die INVAM Modellierung abgeschätzten Nitratauswaschungen (Angaben in kg N/ha), die berechneten Sickerwassermengen (Angaben in mm) und die damit abgeschätzten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser (Angaben in mg/L) sind in der **Abbildung 3** zusammengestellt. Es handelt sich dabei um die zusammengefassten Ergebnisse aus den Abb. A1 bis A10. Dabei sind auch die jeweilige Nutzung des Aufwuchses (für Saatguterzeugung oder als Substrat zur Biogaserzeugung) sowie das Alter der Anlage angegeben (Pflanzjahr).



**Abbildung 3: Zusammenstellung der durch die INVAM Modellierung abgeschätzten Nitratauswaschungen (Angaben in kg N/ha für 0 - 90 cm), die berechneten Sickerwassermengen (Angaben in mm) und die damit abgeschätzten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser (Angaben in mg/L)**

Die Untersuchungsergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Nitratauswaschungen für die acht Silphief lächen reichten im Untersuchungszeitraum Ende Oktober 2016 bis Ende April 2017 in der Summe je Fläche von 4 bis 19 kg N/ha.
- Zwischen Flächen zur Saatguterzeugung und Flächen zur Erzeugung von Biogas-substrat kann hinsichtlich der Nitratauswaschung kein wesentlicher Unterschied festgestellt werden (Mittelwert von 9 bzw. 11 kg N/ha).

- Hinsichtlich des Alters der Silphieanlagen ist kein eindeutiger Zusammenhang mit der Höhe der Nitratauswaschung erkennbar.
- Bei der Vergleichsfläche Si6 (Standort Sigmaringen) führt die geringe Sickerwassermenge (59 mm) bei einer Nitratauswaschung von 12 kg N/ha zur höchsten berechneten Nitratkonzentration von 90 mg/L unter allen untersuchten Flächen. Für die Silphiefläche Si7 am gleichen Standort resultierte bei einer berechneten Nitratauswaschung von 19 kg N/ha und einer Sickerwassermenge von 100 mm mit 84 mg/L die höchste Nitratkonzentration unter den Silphieflächen.
- Für die Silphiefläche Si10 in Albrück resultieren aufgrund der sehr hohen Sickerwassermenge von 363 mm trotz der zweithöchsten Nitratauswaschung (14 kg N/ha) mit 17 mg/L die niedrigsten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter diesen Flächen.
- Fünf der acht Silphieflächen (drei Flächen für Biogas- und zwei Flächen für Saatguterzeugung) wiesen berechnete Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von 17 bis 30 mg/L auf.
- Für drei der acht Silphieflächen (zwei Flächen für Saatgut- und eine Fläche für Biogaserzeugung) lagen die Nitratkonzentrationen zwischen 54 und 84 mg/L.
- Für die beiden Energiemais-Vergleichsflächen lagen die Nitratauswaschungen bei 12 bzw. 13 kg N/ha, die berechneten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter diesen Flächen bei 50 und 90 mg/L.

Der Anbau von durchwachsener Silphie kann auf Basis der vorliegenden Ergebnisse aus Gewässerschutzsicht wie folgt bewertet werden:

- Die berechneten Nitratkonzentrationen lagen bei etwa zwei Drittel (5 von 8 Flächen) der untersuchten Flächen in einem niedrigen Bereich ( $\leq 30$  mg/L).
- Die Ursachen für die erhöhten Nitratgehalte der anderen (drei) Flächen sind unklar. Sehr wahrscheinlich könnten die Nitratkonzentrationen aber auch bei diesen Flächen bei optimierter standortgerechter Düngung auf Basis konkreter Düngeempfehlungen (Messprinzip) noch etwas reduziert werden.
- Im Vergleich zu den Energiemais-Vergleichsflächen ergibt sich für die Silphieflächen im Mittel eine niedrigere Nitratauswaschung

Die vorliegenden Ergebnisse geben einen ersten Eindruck über die Nitratauswaschungen von Silphie-Ertragsanlagen an vier Standorten in Baden-Württemberg, die von vier unterschiedlichen Bewirtschaftern unter Praxisbedingungen angebaut wurden. Diese Untersuchungen sind keinesfalls als repräsentativ für Silphie-Flächen auf anderen Standorten oder unter anderen Anbaubedingungen zu werten, sie geben jedoch erste Hinweise hinsichtlich der Größenordnung der Nitratauswaschung von Praxisflächen mit betriebsüblicher Düngung.

Die Nitratauswaschungen der untersuchten Silphie-Standorte in Baden-Württemberg waren überwiegend niedrig, d.h. die Silphie kann bei pflanzenbedarfsgerechter Düngung gewässerschützend angebaut werden. Sie kann insbesondere in Gebieten mit Fruchtfolge-Anbaubeschränkungen für Mais (z.B. wg. Maiswurzelbohrer) oder mit hohem Maisanteil eine dringend benötigte gute Alternative als Energiepflanze darstellen.

Ein verstärkter Anbau der durchwachsenen Silphie wäre daher grundsätzlich wünschenswert, sollte aber mit weiterer Beobachtung insbesondere der Verhältnisse im Pflanzjahr, aber auch in Ertragsanlagen direkt nach der Ernte (September) sowie nach Umbruch des Silphiebestandes (bei Kulturwechsel) verknüpft werden. Aufgrund der Flächenauswahl sind hierzu auf Basis der vorliegenden Untersuchungen noch keine Aussagen möglich. Derartige Flächen müssten separat betrachtet werden.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Zeitraum Ende Oktober 2016 bis Ende April 2017 erfolgten im Abstand von 3 – 4 Wochen mehrfache Bodenkontrollen auf acht Praxisflächen mit durchwachsener Silphie sowie auf zwei Vergleichsflächen mit der Fruchtfolge Energiemais (2016) – Winterweizen (2016/2017) in insgesamt vier Regionen in Baden-Württemberg (Ostrach, Sigmaringen, Albbruck, Schwäbisch-Hall). Die Pflanzung der Silphie erfolgte überwiegend in den Jahren 2014 und 2015. Der Aufwuchs von vier Silphieflächen wurde als Substrat zur Biogaserzeugung genutzt, vier weitere Silphieflächen dienten zur Saatguterzeugung. Hinsichtlich der Düngung wurde diesbezüglich nicht unterschieden. Lediglich die Ernte erfolgte bei den Flächen, die zur Saatguterzeugung eingesetzt wurden, ca. einen Monat später (zur Samenreife, ca. Ende Oktober).

Neben den Nitratstickstoffgehalten wurden auch die Wassergehalte der Bodenproben gemessen. Klimadaten von vier Messstationen dienten als Basis für die Verdunstungsberechnungen für diesen Zeitraum, womit die regionalen Grundwasserneubildungen abgeschätzt werden konnten.

Mit Hilfe des bislang schon an verschiedenen Standorten erfolgreich eingesetzten und validierten Simulationsmodells INVAM (= Integrales Nitrat-Verlagerungs- und Auswaschungs-Modell) erfolgte auf der Basis der Bodenkontrolldaten eine Abschätzung der Nitratauswaschung über den Herbst-Winter-Zeitraum ab dem ersten Wassersättigungs- bzw. Probenahmezeitpunkt. Mit dieser Methode war es möglich, die untersuchten Silphieflächen hinsichtlich der Nitratauswaschung im Herbst-Winterzeitraum zu überprüfen und die Nitrateinträge ins Grundwasser für den Untersuchungszeitraum abzuschätzen.

Die Untersuchungsergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Nitratauswaschungen für die acht Silphieflächen reichten im Untersuchungszeitraum Ende Oktober 2016 bis Ende April 2017 in der Summe je Fläche von 4 bis 19 kg N/ha.

- Fünf der acht Silphieflächen (drei Flächen für Biogas- und zwei Flächen für Saatguterzeugung) wiesen berechnete Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von 17 bis 30 mg/L auf.
- Für drei der acht Silphieflächen (zwei Flächen für Saatgut- und eine Fläche für Biogaserzeugung) lagen die Nitratkonzentrationen zwischen 54 und 84 mg/L.
- Für die beiden Energiemais-Vergleichsflächen lagen die Nitratkonzentrationen bei 12 bzw. 13 kg N/ha, die berechneten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter diesen Flächen bei 50 und 90 mg/L.

Der Anbau von durchwachsener Silphie kann auf Basis der vorliegenden Ergebnisse aus Gewässerschutzsicht wie folgt bewertet werden:

- Die berechneten Nitratkonzentrationen lagen bei etwa zwei Drittel (5 von 8 Flächen) der untersuchten Flächen in einem niedrigen Bereich ( $\leq 30$  mg/L).
- Die Ursachen für die erhöhten Nitratgehalte der anderen (drei) Flächen sind unklar. Sehr wahrscheinlich könnten die Nitratkonzentrationen aber auch bei diesen Flächen bei optimierter standortgerechter Düngung auf Basis konkreter Düngeempfehlungen (Messprinzip) noch etwas reduziert werden.
- Im Vergleich zu den Energiemais-Vergleichsflächen ergibt sich bei den Silphieflächen im Mittel eine niedrigere Nitratkonzentration

Entsprechend den vorliegenden Literaturinformationen (Landwirtschaftliches Technologiezentrum Karlsruhe-Augustenberg, LTZ) ist die durchwachsene Silphie unter „unseren“ klimatischen Bedingungen sehr gut zur Substratproduktion für Biogasanlagen geeignet. Eine Behandlung mit Herbiziden ist nur im ersten Jahr erforderlich. Ab dem zweiten Jahr ist aufgrund des raschen Bestandsschlusses keine Unkrautbekämpfung mehr erforderlich. Die lange Bodenbedeckung minimiert zudem die Erosion. Auch weitere Vorteile aus agrarökologischer Sicht werden in der Literatur genannt (F&E-Vorhaben „Agrarökologische Bewertung der durchwachsenen Silphie...“, Johann-Heinrich von Thünen-Institut und Julius Kühn-Institut 2016) wie z.B. die Pflanzenrückstände der Silphie, die in hohem Maße zur Erhaltung bzw. Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit beitragen.

Die durchwachsene Silphie weist den grundsätzlichen Vorteil auf, dass es sich um eine Dauerkultur handelt, bei der nach der Ernte der Boden nicht bearbeitet wird, weshalb auch keine Freisetzung von organisch gebundenem Stickstoff infolge einer Bodenbearbeitung erfolgt. Über den Winter kommt es witterungsabhängig zum (frühzeitigen) Wiederaustrieb, wodurch bereits ein erster Stickstoffentzug stattfindet.

Die Nitratkonzentrationen der untersuchten Silphie-Standorte in Baden-Württemberg waren überwiegend niedrig, d.h. die Silphie kann bei pflanzenbedarfsgerechter Düngung gewässerschützend angebaut werden. Sie kann insbesondere in Gebieten mit Fruchtfolge-Anbaubeschränkungen für Mais (z.B. wg. Maiswurzelbohrer) oder mit hohem Maisanteil eine dringend benötigte gute Alternative als Energiepflanze darstellen.

Ein verstärkter Anbau der durchwachsenen Silphie wäre daher grundsätzlich wünschenswert, sollte aber mit weiterer Beobachtung insbesondere der Verhältnisse im Pflanzjahr, aber auch in Ertragsanlagen direkt nach der Ernte (September) sowie nach Umbruch des Silphiebestandes (bei Kulturwechsel) verknüpft werden. Aufgrund der Flächenauswahl sind hierzu auf Basis der vorliegenden Untersuchungen noch keine Aussagen möglich. Derartige Flächen müssten separat betrachtet werden.

Karlsruhe, 14.07.2017



i. A. Dipl.-Ing. Th. Ball



i. A. Dipl.-Hyd. M. Geiges

**Anhang A:**  
**Abbildungen A1 – A10**

Abbildung A1

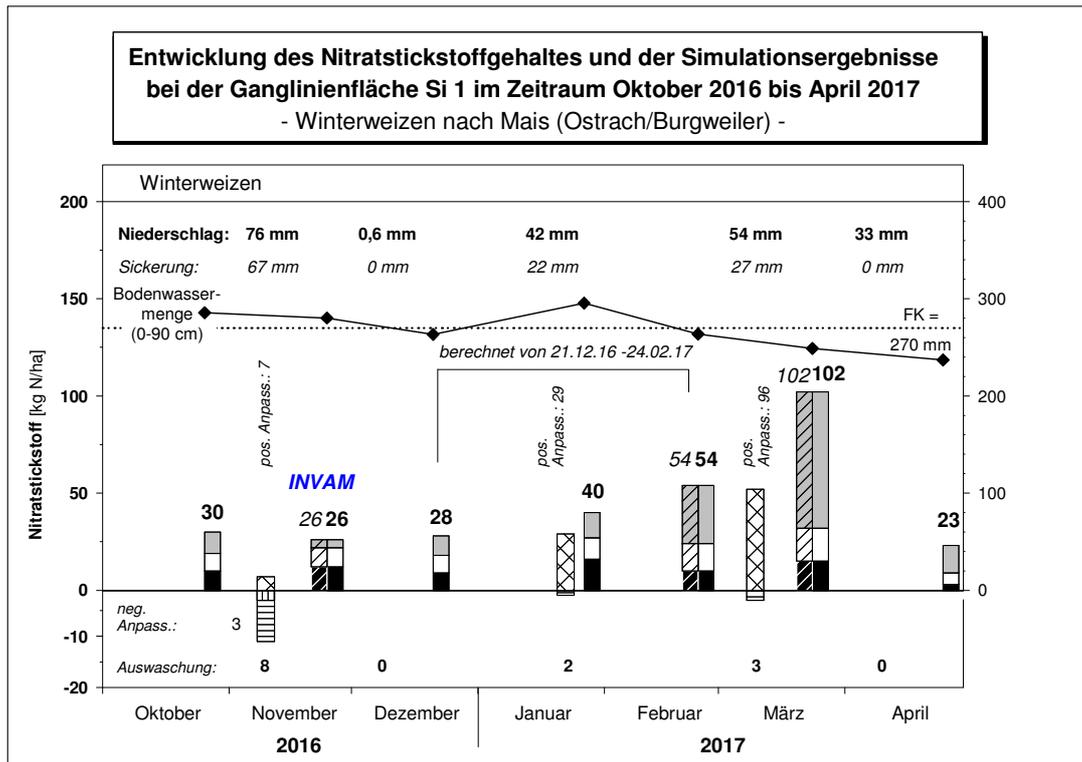


Abbildung A2

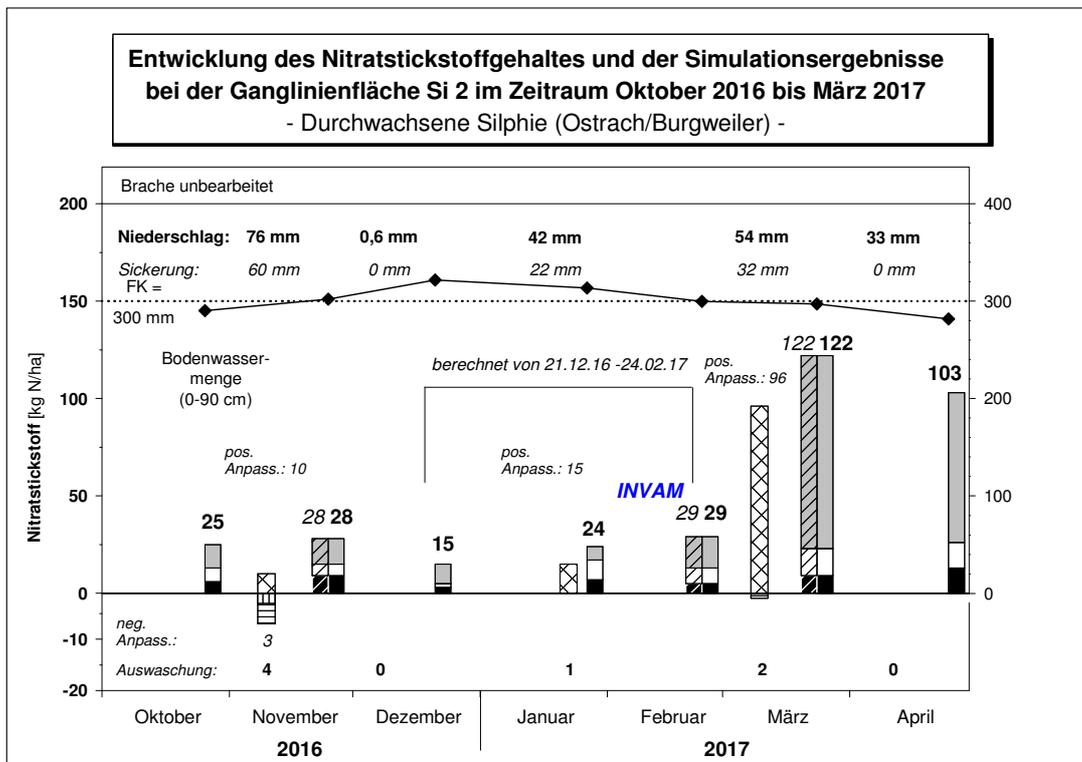


Abbildung A3

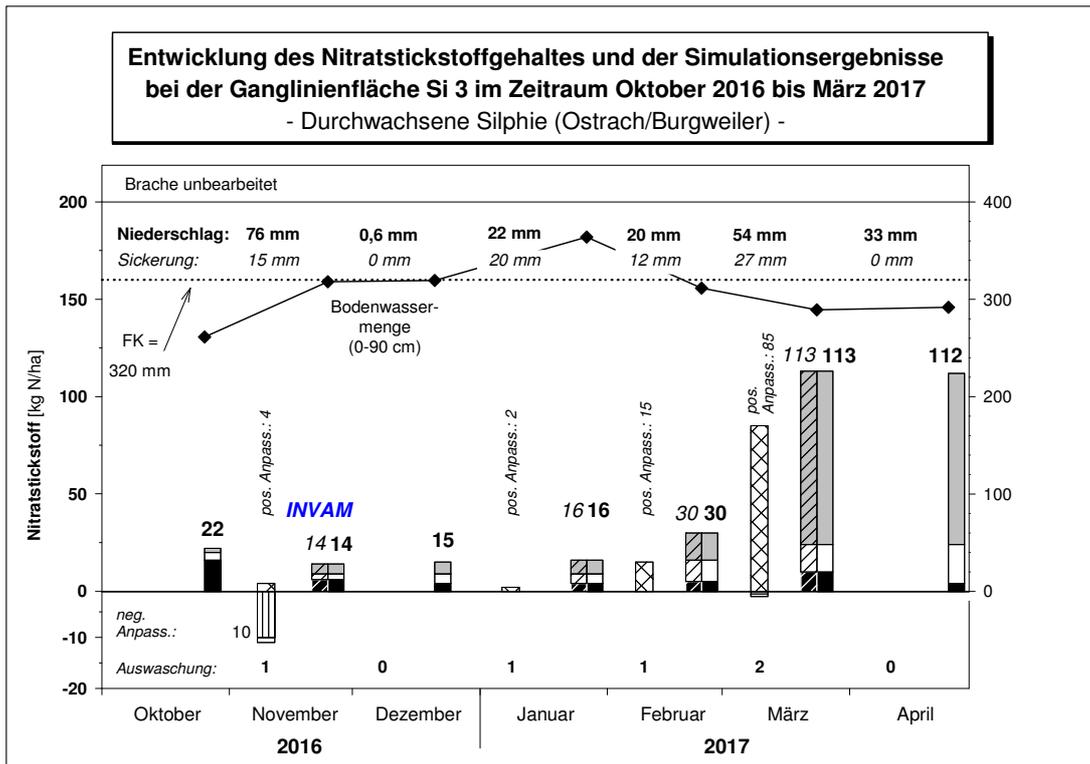


Abbildung A4

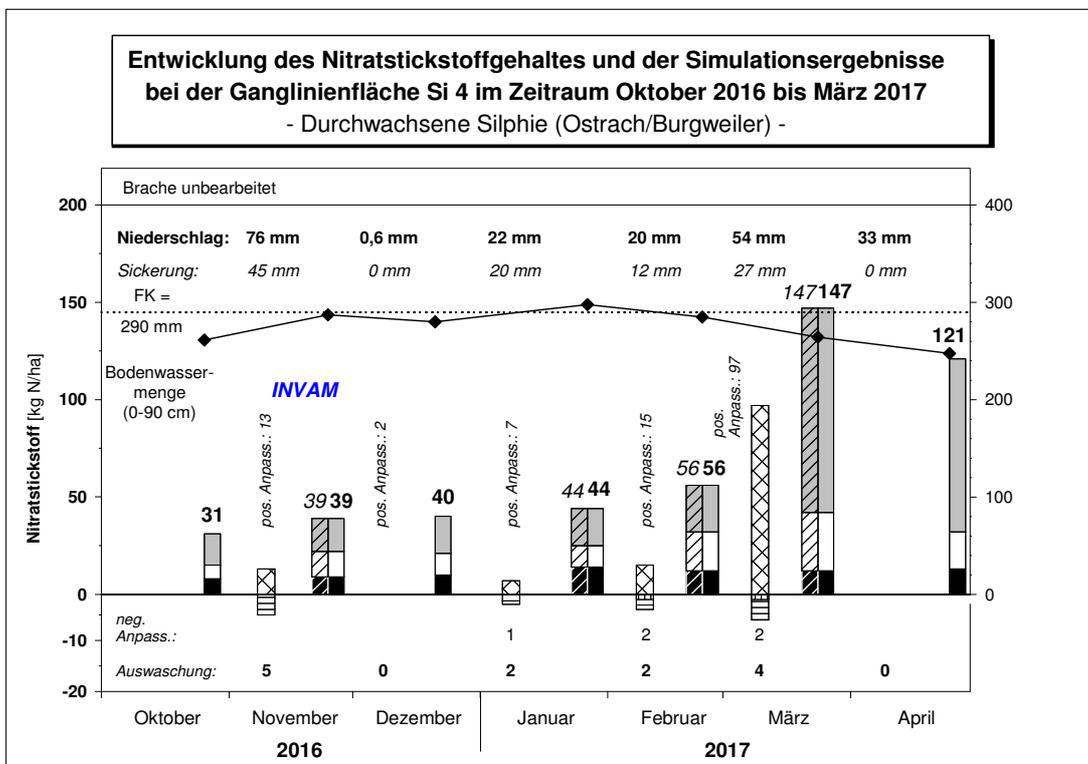


Abbildung A5

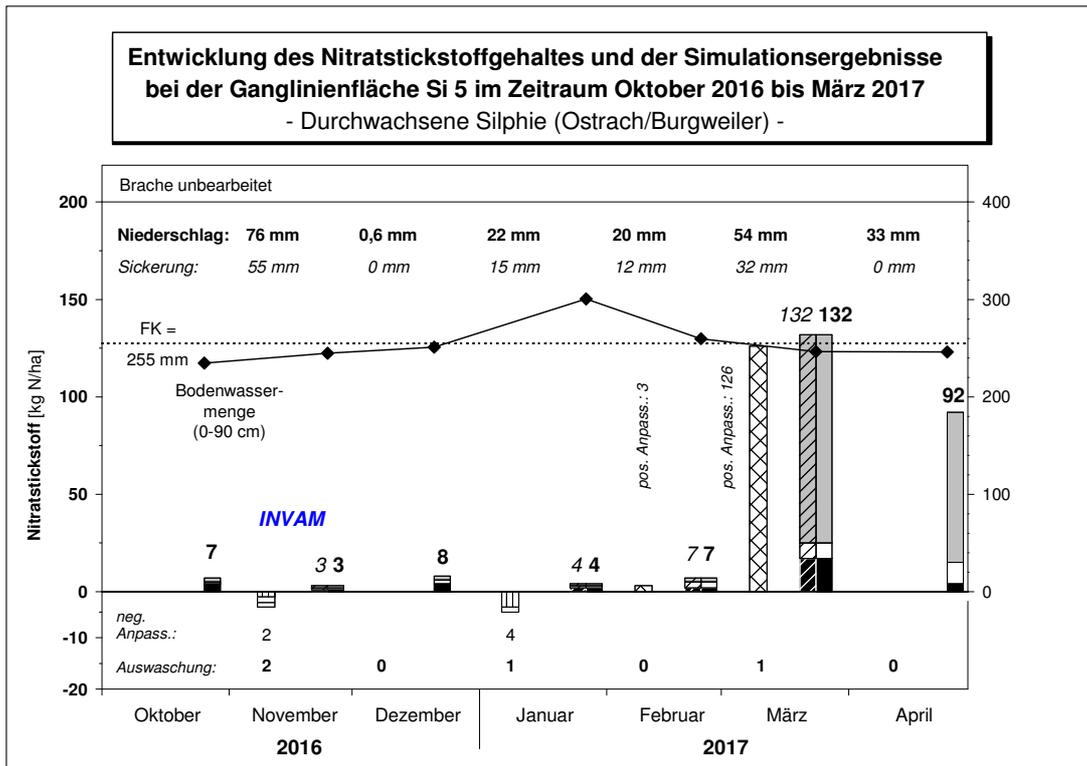


Abbildung A6

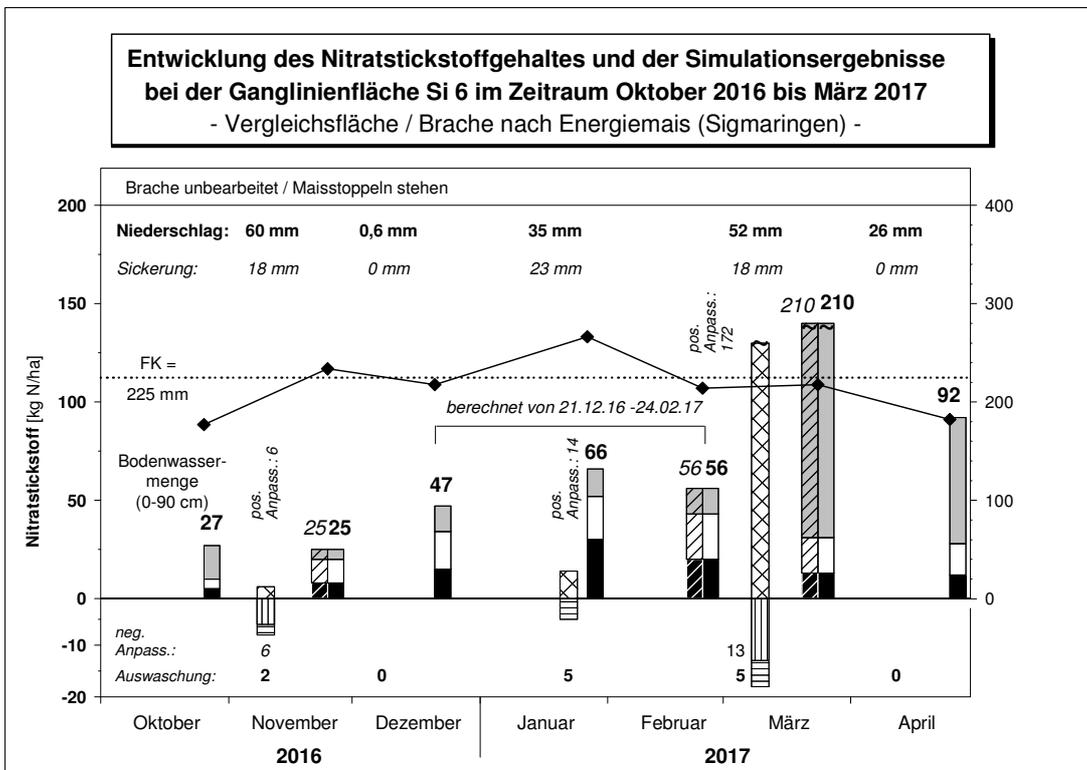


Abbildung A7

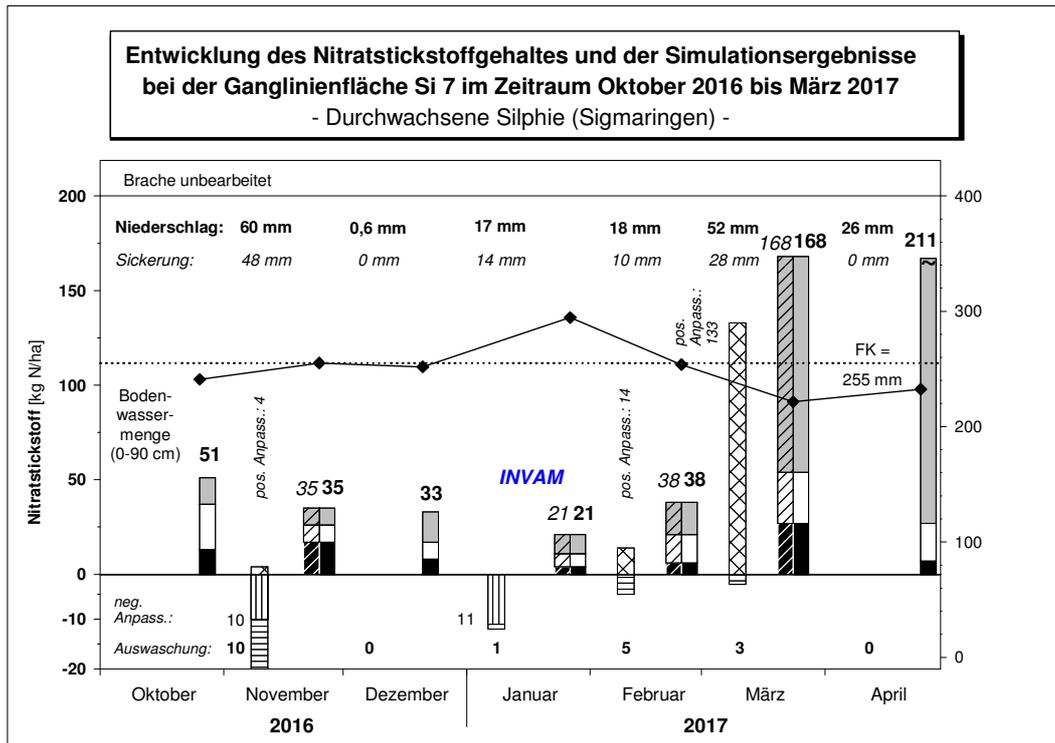


Abbildung A8

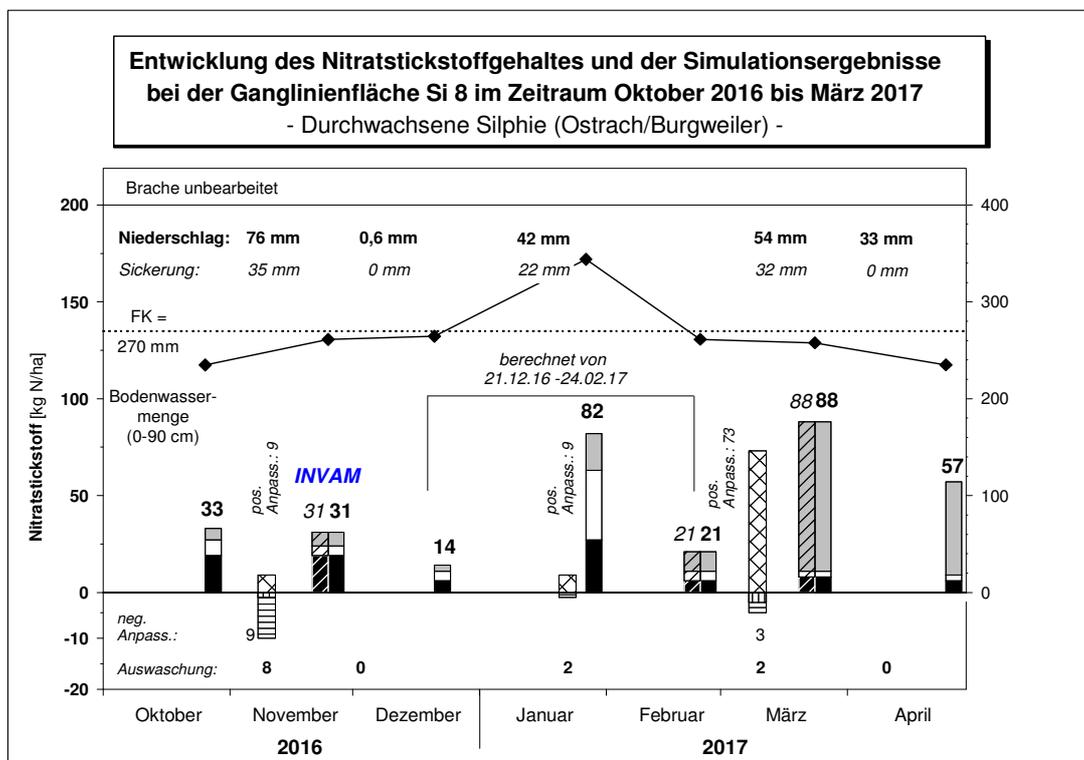


Abbildung A9

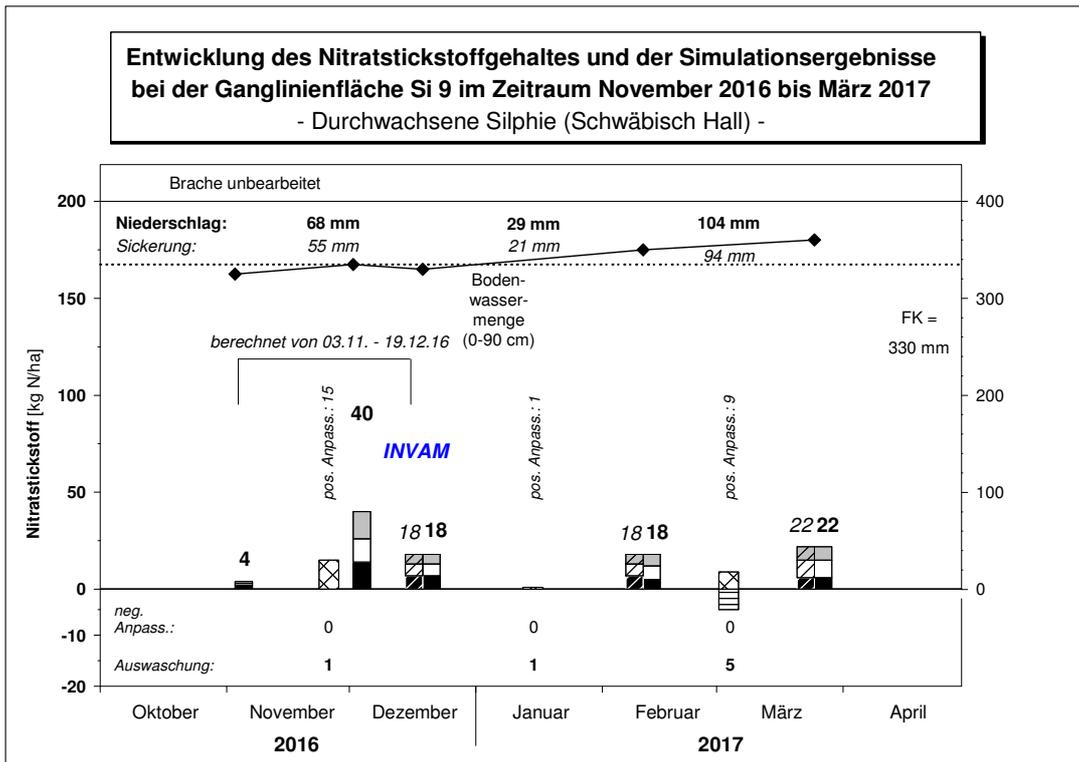
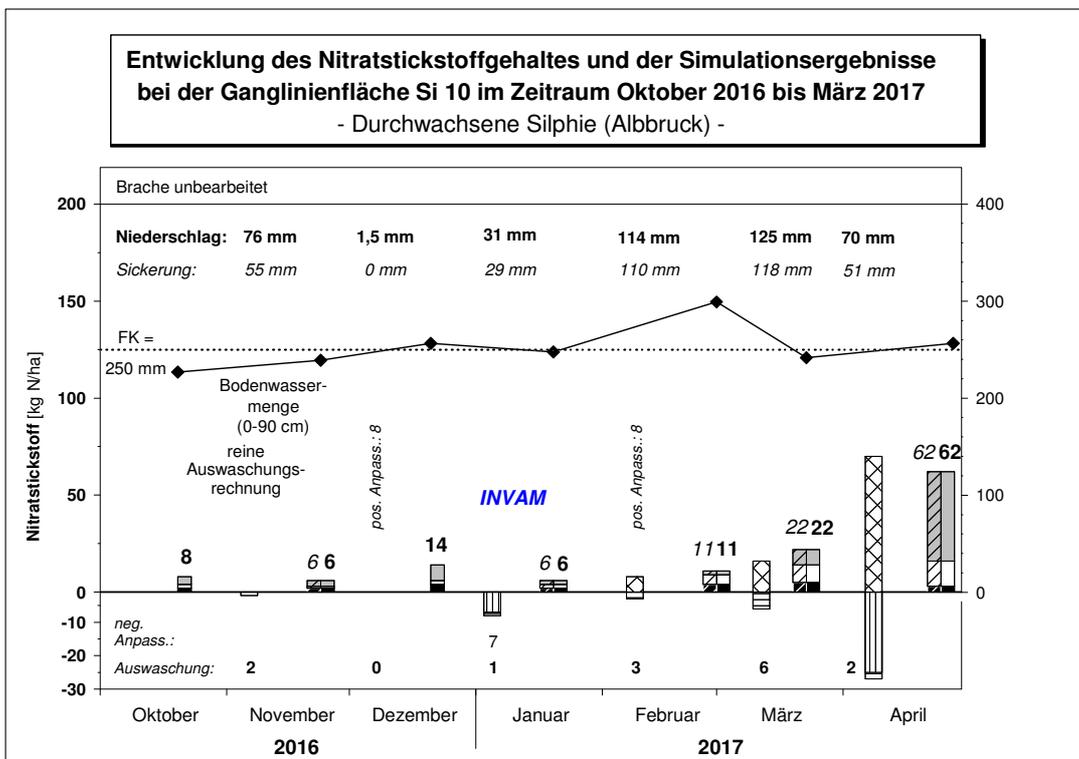


Abbildung A10



**Anhang B:**  
**Tabellen B1 – B2**

Tabelle B1: Bodenkontrollen auf Nitratstickstoffrestgehalte 2016-2017

Durchwachsene Silphie und Vergleichsflächen

Probennahmezeitraum: 26.10.2016 – 25.04.2017

Bez.	Datum	NO3-N in kg N/ha						NH4-N			Fläche ha	aktuelle Nutzung		Hauptfrucht		Bemerkungen	WG tr [%]			Bodenwassermenge in mm			BW Summe 0-90 cm	
		0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-90 cm	0-60 cm	30-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm		Hauptfrucht 1	Hauptfrucht 2	0-30 cm	30-60 cm		60-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm				
Si 1	26.10.2016	11	9	10	30	20	19	3			5,97	Getreide	Winterw eizen	Mais	Energiemais	Winterw eizen	Bestandshöhe : 5 cm	24,8	17,1	24,9	96,7	77,0	112,1	285,7
Si 1	25.11.2016	4	10	12	26	14	22	5			5,97	Getreide	Winterw eizen	Mais	Energiemais	Winterw eizen		23,3	19,1	23,0	90,9	86,0	103,5	280,3
Si 1	21.12.2016	10	9	9	28	19	18	4			5,97	Getreide	Winterw eizen	Mais	Energiemais	Winterw eizen		23,5	18,7	19,5	91,7	84,2	87,8	263,6
Si 1	27.01.2017	13	11	16	40	24	27	12	7		5,97	Getreide	Winterw eizen	Mais	Energiemais	Winterw eizen	10-15 cm tief gefroren	31,5	18,1	20,3	122,9	81,5	91,4	295,7
Si 1	24.02.2017	30	14	10	54	44	24	26	5		5,97	Getreide	Winterw eizen	Mais	Energiemais	Winterw eizen	Proben 15h ungekühlt!	22,7	19,0	19,9	88,5	85,5	89,6	263,6
Si 1	24.03.2017	70	17	15	102	87	32	33			5,97	Getreide	Winterw eizen	Getreide	Winterw eizen	Winterw eizen		19,3	19,0	19,6	75,3	85,5	88,2	249,0
Si 1	25.04.2017	14	6	3	23	20	9	11			5,97	Getreide	Winterw eizen	Getreide	Winterw eizen	Winterw eizen		15,9	16,9	22,0	62,0	76,1	99,0	237,1
Si 2	26.10.2016	12	7	6	25	19	13	7			1,45	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	21,7	21,2	24,5	84,6	95,4	110,3	290,3
Si 2	25.11.2016	13	6	9	28	19	15	8			1,45	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	24,4	20,7	25,3	95,2	93,2	113,9	302,2
Si 2	21.12.2016	10	2	3	15	12	5	18	1		1,45	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	27,0	21,2	26,9	105,3	95,4	121,1	321,8
Si 2	26.01.2017	7	10	7	24	17	17	14	15		1,45	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet; 10-15 cm tief gefroren	30,8	19,1	23,9	120,1	86,0	107,6	313,6
Si 2	24.02.2017	16	8	5	29	24	13	13	6		1,45	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet / Proben 15h ungekühlt!	26,3	21,5	22,3	102,6	96,8	100,4	299,7
Si 2	24.03.2017	99	14	9	122	113	23	45	4		1,45			Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	23,7	22,0	23,5	92,4	99,0	105,8	297,2
Si 2	25.04.2017	77	13	13	103	90	26	28			1,45			Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	20,3	18,8	26,2	79,2	84,6	117,9	281,7
Si 3	26.10.2016	2	4	16	22	6	20	7			0,76	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	21,3	18,6	21,0	83,1	83,7	94,5	261,3
Si 3	25.11.2016	5	3	6	14	8	9	7			0,76	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	31,7	25,2	18,0	123,6	113,4	81,0	318,0
Si 3	21.12.2016	6	5	4	15	11	9	9			0,76	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	30,4	24,8	19,8	118,6	111,6	89,1	319,3
Si 3	27.01.2017	7	5	4	16	12	9	18	14		0,76	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet; 10-15 cm tief gefroren	40,8	23,1	22,4	159,1	104,0	100,8	363,9
Si 3	24.02.2017	14	11	5	30	25	16	11	9		0,76	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet / Proben 15h ungekühlt!	26,6	25,1	21,1	103,7	113,0	95,0	311,6
Si 3	24.03.2017	89	14	10	113	103	24	50	9		0,76			Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	26,6	21,4	19,8	103,7	96,3	89,1	289,1
Si 3	25.04.2017	88	20	4	112	108	24	39			0,76			Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	26,8	22,1	19,5	104,5	99,5	87,8	291,7
Si 4	26.10.2016	16	7	8	31	23	15	7			1,03	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	21,3	18,6	21,0	83,1	83,7	94,5	261,3
Si 4	25.11.2016	17	13	9	39	30	22	9			1,03	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	25,0	21,6	20,6	97,5	97,2	92,7	287,4
Si 4	21.12.2016	19	11	10	40	30	21	9			1,03	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	21,6	18,7	24,8	84,2	84,2	111,6	280,0
Si 4	27.01.2017	19	11	14	44	30	25	20	6		1,03	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet; 10-15 cm tief gefroren	25,8	18,9	24,9	100,6	85,1	112,1	297,7
Si 4	24.02.2017	24	20	12	56	44	32	12	4		1,03	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet / Proben 15h ungekühlt!	22,3	21,7	22,3	87,0	97,7	100,4	285,0
Si 4	24.03.2017	105	30	12	147	135	42	41	13		1,03			Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	20,6	20,4	20,5	80,3	91,8	92,3	264,4
Si 4	25.04.2017	89	19	13	121	108	32	18			1,03			Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	18,6	16,8	22,1	72,5	75,6	99,5	247,6
Si 5	26.10.2016	2	1	4	7	3	5	5			0,46	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	20,6	17,5	16,8	80,3	78,8	75,6	234,7
Si 5	25.11.2016	1	1	1	3	2	2	8			0,46	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	20,3	18,6	18,2	79,2	83,7	81,9	244,8
Si 5	21.12.2016	2	2	4	8	4	6	6			0,46	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	18,7	19,5	20,1	72,9	87,8	90,5	251,1
Si 5	26.01.2017	1	1	2	4	2	3	12	8		0,46	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet; 10-15 cm tief gefroren	32,3	20,0	18,8	126,0	90,0	84,6	300,6
Si 5	24.02.2017	2	3	2	7	5	5	8			0,46	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet / Proben 15h ungekühlt!	20,0	20,8	19,6	78,0	93,6	88,2	259,8
Si 5	24.03.2017	107	8	17	132	115	25	95	5		0,46			Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	20,5	18,6	18,4	80,0	83,7	82,8	246,5
Si 5	25.04.2017	77	11	4	92	88	15	36			0,46			Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	18,0	19,4	19,7	70,2	87,3	88,7	246,2

**Tabelle B2: Bodenkontrollen auf Nitratstickstoffrestgehalte 2016-2017**  
**Durchwachsene Silphie und Vergleichsflächen**

Probennahmezeitraum : 26.10.2016 – 28.04.2017

Bez.	Datum	NO3-N in kg N/ha						NH4-N			Fläche ha	aktuelle Nutzung		Hauptfrucht		Bemerkungen	WG tr [%]			Bodenwasser- menge in mm			BW Summe 0-90 cm	
		0-30 cm		30-60 cm		60-90 cm		0-30 cm		30-60 cm		60-90 cm		Hauptfrucht 1	Hauptfrucht 2		0-30 cm	30-60 cm	60-90cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm		
		30	60	90	0-90	0-60 cm	30-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm														
Si 6	26.10.2016	17	5	5	27	22	10	4			1,80	Brache	MSS	Mais	Energiemais	Brache unbearbeitet	21,5	11,2	9,5	83,9	50,4	42,8	177,0	
Si 6	25.11.2016	5	12	8	25	17	20	4			1,80	Getreide	Winterw eizen	Mais	Energiemais	Winterw eizen	22,9	18,4	13,7	89,3	82,8	61,7	233,8	
Si 6	21.12.2016	13	19	15	47	32	34	3			1,80	Getreide	Winterw eizen	Mais	Energiemais	Winterw eizen	18,3	17,9	14,6	71,4	80,6	65,7	217,6	
Si 6	26.01.2017	14	22	30	66	36	52	9			1,80	Getreide	Winterw eizen	Mais	Energiemais	Winterw eizen	32,4	16,4	14,7	126,4	73,8	66,2	266,3	
Si 6	24.02.2017	13	23	20	56	36	43	5			1,80	Getreide	Winterw eizen	Mais	Energiemais	Winterw eizen	18,9	16,6	14,6	73,7	74,7	65,7	214,1	
Si 6	24.03.2017	179	18	13	210	197	31	92	8		1,80	Getreide	Winterw eizen	Getreide	Winterw eizen	Winterw eizen	18,7	17,8	14,4	72,9	80,1	64,8	217,8	
Si 6	25.04.2017	64	12	16	92	76	28	41	9		1,80	Getreide	Winterw eizen	Getreide	Winterw eizen	Winterw eizen	15,3	14,2	13,0	59,7	63,9	58,5	182,1	
Si 7	26.10.2016	14	24	13	51	38	37	6				Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	27,4	18,6	11,2	106,9	83,7	50,4	241,0
Si 7	25.11.2016	9	9	17	35	18	26	10	7			Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	26,1	18,2	15,9	101,8	81,9	71,6	255,2
Si 7	21.12.2016	16	9	8	33	25	17	9				Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	22,1	19,9	16,9	86,2	89,6	76,1	251,8
Si 7	26.01.2017	10	7	4	21	17	11	17	13			Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	37,0	20,4	13,0	144,3	91,8	58,5	294,6
Si 7	24.02.2017	17	15	6	38	32	21	10	6			Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet / Proben 15h ungekühlt!	20,3	22,0	16,8	79,2	99,0	75,6	253,8
Si 7	24.03.2017	114	27	27	168	141	54	46	12					Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	17,9	16,6	17,1	69,8	74,7	77,0	221,5
Si 7	25.04.2017	184	20	7	211	204	27	26						Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	19,2	17,8	17,2	74,9	80,1	77,4	232,4
Si 8	26.10.2016	6	8	19	33	14	27	5			2,47	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	21,0	16,4	17,6	81,9	73,8	79,2	234,9
Si 8	25.11.2016	7	5	19	31	12	24	6			2,47	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	22,8	19,1	19,2	88,9	86,0	86,4	261,3
Si 8	21.12.2016	3	5	6	14	8	11	7			2,47	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	24,8	19,0	18,3	96,7	85,5	82,4	264,6
Si 8	26.01.2017	19	36	27	82	55	63	21	8		2,47	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet; 10-15 cm tief gefroren	37,3	25,7	18,4	145,5	115,7	82,8	343,9
Si 8	24.02.2017	10	5	6	21	15	11	8			2,47	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet / Proben 15h ungekühlt!	24,9	19,0	17,5	97,1	85,5	78,8	261,4
Si 8	24.03.2017	77	3	8	88	80	11	67	3		2,47			Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	24,9	18,5	17,2	97,1	83,3	77,4	257,8
Si 8	25.04.2017	48	3	6	57	51	9	15			2,47			Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	21,5	16,4	17,2	83,9	73,8	77,4	235,1
Si 9	03.11.2016	1	1	2	4	2	3	3			1,00	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	24,7	22,6	27,8	96,3	101,7	125,1	323,1
Si 9	02.12.2016	14	12	14	40	26	26	11	0		1,00	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	28,9	25,7	22,5	112,7	115,7	101,3	329,6
Si 9	19.12.2016	5	6	7	18	11	13	6			1,00	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	26,1	23,2	26,3	101,8	104,4	118,4	324,5
Si 9	11.02.2017	6	7	5	18	13	12	10	6		1,00	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	34,8	27,1	21,2	135,7	122,0	95,4	353,1
Si 9	25.03.2017	7	9	6	22	16	15	15	11		1,00	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	34,1	24,9	25,4	133,0	112,1	114,3	359,3
Si10	20.10.2016	4	2	2	8	6	4	8			0,40	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	22,5	18,0	12,9	87,8	81,0	58,1	226,8
Si10	24.11.2016	3	1	2	6	4	3	8			0,40	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	20,8	17,5	17,6	81,1	78,8	79,2	239,1
Si10	21.12.2016	8	2	4	14	10	6	10	1		0,40	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	22,4	19,7	17,9	87,4	88,7	80,6	256,6
Si10	20.01.2017	2	2	2	6	4	4	10	3		0,40	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	22,2	18,4	17,4	86,6	82,8	78,3	247,7
Si10	01.03.2017	2	5	4	11	7	9	11	9		0,40	Brache	unbearbeitet	Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	28,7	22,2	19,4	111,9	99,9	87,3	299,1
Si10	23.03.2017	8	9	5	22	17	14	17			0,40			Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	20,9	18,8	16,8	81,5	84,6	75,6	241,7
Si10	28.04.2017	46	13	3	62	59	16	39			0,40			Naw aRo	Durchw .Silphie	Brache unbearbeitet	Silphie abgeerntet	23,1	19,8	17,2	90,1	89,1	77,4	256,6