



HBLFA Francisco Josephinum  
Wieselburg

## *Abschlussbericht*

# **Boden.Biodiversität**

## *Bestimmung von Bestandesunterschieden mittels Spektralindices*

Autoren: Andreas Ettliger, Fabian Butzenlechner, Andreas Wilhelm, Peter Prankl,  
Markus Gansberger



Mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union

 Bundesministerium  
Land- und Forstwirtschaft,  
Regionen und Wasserwirtschaft



Europäischer  
Landwirtschaftsfonds für  
die Entwicklung des  
ländlichen Raums:  
Hier investiert Europa in  
die ländlichen Gebiete.



1 – Einleitung.....	4
1.1 - Ausgangslage und Problemstellung .....	4
1.2 - Stand der Technik.....	4
2 - Material und Methoden.....	6
2.1 - Systemversuche und Bearbeitungsvarianten .....	6
2.2 - Berechnung der Vegetationsindices und Zeitreihen.....	8
2.3 - Polynomregression und statistischer Test .....	12
3 - Ergebnisse und Diskussion .....	15
3.1 - Wahl des Polynom-Grades.....	15
3.2 - Ergebnisse der statistischen Tests .....	17
4 – Zusammenfassung.....	22
Literaturverzeichnis.....	23
Anhang .....	24
Betrieb Donabauer .....	24
Winterraps - Aussaat 20.08.2021.....	24
Wintergerste - Aussaat 22.09.2022.....	26
Körnermais - Aussaat 25.04.2024 .....	28
Zwischenfrüchte.....	30
Betrieb Gnauer .....	31
Winterraps - Aussaat 06.09.2021.....	31
Winterweizen - Aussaat 16.10.2022 .....	33
Kartoffel - Aussaat 10.04.2024.....	35
Zwischenfrüchte.....	37
Betrieb Mayr .....	38
Winterweizen - Aussaat 02.10.2021 .....	38
Winterraps - Aussaat 18.08.2022.....	40
Winterweizen - Aussaat 07.10.2023 .....	42
Betrieb Schmidt.....	44
Sojabohne - Aussaat 08.05.2022.....	44

Einkorn - Aussaat 15.10.2022.....	46
Wintererbse - Aussaat 09.11.2023.....	48
Betrieb Winkelhofer .....	50
Winterraps - Aussaat 18.08.2021.....	50
Winterweizen - Aussaat 11.10.2022 .....	52
Körnermais - Aussaat 26.04.2024 .....	54
Zwischenfrüchte.....	56
Betrieb Zauner.....	57
Winterweizen - Aussaat 21.10.2021 .....	57
Sojabohne - Aussaat 30.05.2023.....	59
Sojabohne - Aussaat 15.05.2024.....	61
Zwischenfrüchte.....	63

# 1 – Einleitung

## 1.1 - Ausgangslage und Problemstellung

Im Projekt “Boden.Biodiversität”, sollen Anbausysteme implementiert und analysiert werden, welche die positiven Einflüsse von mikrobieller Diversität ausnutzen. Diese Anbausysteme sollen die Bodengesundheit steigern und damit die Ackerböden widerstandsfähiger gegenüber nachteiligen Umwelteinflüssen aufgrund des Klimawandels machen. Bestandteile dieser Anbausysteme sind Untersaaten, Begleitsaaten und biodiverse Zwischenfrüchte sowie bodenschonende Bearbeitungsmethoden (Mulch- und Direktsaat). Auf Basis von Exakt-Feldversuchen (zwei Standorte) und Systemversuchen bei sechs landwirtschaftlichen Betrieben sollen die Auswirkungen auf Bodenbiodiversität, Nährstoffnutzung, Humusaufbau, Bodenstruktur und Wassereffizienz bei Einsatz der neuen Anbausysteme evaluiert werden.

In den Systemversuchen soll von Josephinum Research zusätzlich der Einfluss auf das Pflanzenwachstum analysiert werden. Um das Pflanzenwachstum über die Vegetationsperiode zu überwachen und dieses in Form von Kilogramm Biomasse pro Fläche darzustellen, wären umfangreiche Drohnenbefliegungen sowie die regelmäßige Entnahme von Pflanzen-Biomasseproben notwendig. Mit den budgetären Mitteln ist das aber nicht darstellbar, wodurch ein anderer Ansatz zur Bestimmung des Pflanzenbestandes gewählt wird. Die Satellitenmission Sentinel-2 des Copernicus-Programms der ESA [1] liefert Bilddaten mit einer zeitlichen Auflösung von ca. 4-6 Tagen sowie einer räumlichen Auflösung von 10 bis 60 m je nach Kanal. Diese Bilddaten werden für die Berechnung von Vegetationsindices (Kapitel 2.2) verwendet, welche ausgeprägte Korrelationen mit dem Pflanzenbestand bzw. der Biomasse aufweisen (Kapitel 1.3). Somit werden Zeitreihen von ausgewählten Vegetationsindices für verschieden Varianten von Anbausystemen erzeugt (Kapitel 2.3) und mit Hilfe eines statistischen Tests die signifikanten Unterschiede ermittelt (Kapitel 2.4). Weist eine der Varianten signifikant höhere Werte bei den Vegetationsindices auf, so kann darauf geschlossen werden, dass diese Variante das Pflanzenwachstum begünstigt.

## 1.2 - Stand der Technik

Die von einer Pflanze reflektierte elektromagnetische Strahlung ist abhängig von verschiedenen Zustandsparametern des Pflanzenbestandes. Bilder aus Fernerkundungsdaten beinhalten diese Informationen aufgeteilt in verschiedene Wellenlängenbereiche, d.h. die Kanäle. Aus diesen Kanälen können sogenannte Vegetationsindices berechnet werden. Diese weisen ausgeprägte Korrelationen zum Pflanzenbestand und anderen zusammenhängenden Parametern (z.B. N-Aufnahme) auf [2,3].

Es gibt eine Vielzahl von Vegetationsindices, welche hierfür verwendet werden können [4]. In dieser Arbeit werden vier Vegetationsindices aus den Sentinel-2 Satellitenbildern berechnet:

- Der “normalized difference vegetation index” (NDVI) ist der gebräuchlichste Vegetationsindex und reagiert besonders sensitiv auf den Gesundheitszustand der Pflanzen bzw. Chlorophyll [5]
- Der “enhanced vegetation index” (EVI) reagiert verstärkt auf die Ausformung des Blattwerks [6]
- Der “modified soil adjusted vegetation index” (MSAVI) berücksichtigt auch die Reflexion des Bodens, was vor allem zu Beginn der Vegetationsperiode nützlich ist [7]
- Der “red edge inflection point” (REIP) reagiert ebenfalls sehr sensitiv auf Chlorophyll und unterscheidet sich durch die zur Berechnung beteiligten Kanäle deutlich von den anderen drei gewählten Vegetationsindices [8]

Für die gewählten Vegetationsindices kann mit den vorhandenen Satellitenbildern eine Zeitreihe über die Vegetationsperiode erzeugt werden. Aufgrund möglicher Inkonsistenzen in der zeitlichen Auflösung bzw. den Zeitabständen zwischen den berechneten Vegetationsindices ist es notwendig, ein Modell zu verwenden, welches die vorhandenen Datenpunkte bestmöglich annähert. Hierfür wird die Methode der Polynomapproximation angewandt [9] pp. 362 ff. Die aus dem zu Grunde liegenden Ausgleich nach kleinsten Quadraten abgeleiteten Polynomkoeffizienten können anschließend in einem statistischen Test verglichen und ausgewertet werden.

## 2 - Material und Methoden

Sämtliche Berechnungen und Prozessierungsschritte der folgenden Kapitel werden mit der Programmiersprache Python (Version 3.12.7) durchgeführt, wobei numpy (numerische Berechnungen, Version 1.26.4), geopandas (Vektordaten-Bearbeitung, Version 0.14.4) und rasterio (Raster- bzw. Bilddaten-Bearbeitung, Version 1.3.10) die grundlegenden Python-Pakete darstellen. Visualisierungen erfolgen mit matplotlib (Version 3.9.0) sofern nicht anders spezifiziert in den Abbildungsunterschriften.

### 2.1 - Systemversuche und Bearbeitungsvarianten

Die Systemversuche werden auf sechs landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt. Auf jedem Betrieb gibt es zumindest zwei Parzellen, welche den beiden Anbausystemen bzw. Bearbeitungsvarianten "Standard" und "Pionier" entsprechen. Bei der "Standard"-Variante wird die Parzelle betriebsüblich bewirtschaftet und bei der "Pionier"-Variante kommen die neuen Anbausysteme, welche die Bodenbiodiversität fördern sollen, zum Einsatz. Auf den Betrieben "Schmidt" und "Zauner" gibt es eine dritte Variante "Pionier Plus". Für die Versuchspartellen eines Betriebes wird die gleiche Fruchtfolge sowie übereinstimmende Aussaat- und Erntezeitpunkte angewandt.

Tab. 1 stellt die Fruchtfolgen der einzelnen Betriebe dar. Es werden für alle Kulturpflanzen sowie für die Zwischenfrüchte im Folgenden die Zeitreihen für die gewählten Vegetationsindices berechnet und mit einem statistischen Test signifikante Unterschiede bestimmt. Lediglich die Zwischenfrucht im Jahr 2023 am Betrieb "Winkelhofer" wird auf Grund unterschiedlicher Aussaat-Zeitpunkte nicht berücksichtigt.

**Tabelle 1:** Fruchtfolgen der landwirtschaftlichen Betriebe mit Versuchspartzen.

	Donabauer	Gnauer	Mayr	Schmidt	Winkelhofer	Zauner
2 0 2 2	Winterriaps	Winterriaps	Winterweizen		Winterriaps	Winterweizen
				Sojabohne		
		Zwischenfrucht (abfrostend)	Winterriaps		Zwischenfrucht (abfrostend)	Zwischenfrucht (abfrostend)
	Wintergerste	Winterweizen		Einkorn	Winterweizen	
2 0 2 3						Sojabohne
	Zwischenfrucht (abfrostend)	Zwischenfrucht (abfrostend)			Zwischenfrucht (abfrostend)	
			Winterweizen	Wintererbsen		Zwischenfrucht (winterhart)
2 0 2 4	Körnermais	Kartoffel			Körnermais	Sojabohne

--	--	--	--	--	--	--

## 2.2 - Berechnung der Vegetationsindices und Zeitreihen

Die Sentinel-2 Bilder werden von der STAC-API ("spatio temporal asset catalogs") von der Plattform [Planetary Computer](#) von Microsoft bezogen und als [GeoTIFF](#) Dateien lokal abgespeichert. Es werden die [Level 2A](#) Bilder verwendet, welche die Erdoberflächen-Reflexion repräsentieren, d.h. Atmosphären-Korrekturen wurden bereits durchgeführt (Absorption und Streuung aufgrund von verschiedenen Molekülen und Partikeln in der Atmosphäre).

Die Parzellen der sechs landwirtschaftlichen Versuchsbetriebe mit den unterschiedlichen Bewirtschaftungsvarianten liegen als Polygone in einer [GeoPackage](#)-Datei vor. Für sämtliche Parzellen werden die verfügbaren Sentinel-2 Bilder vom 01.07.2021 bis 31.10.2024 heruntergeladen, was in etwa 230 Bildern pro Betrieb entspricht (leichte Abweichungen abhängig von der Lage der Parzellen). Die Vegetationsindices werden nur für jene Bilder berechnet, welche sich mit der Vegetationsperiode der Kulturpflanzen als auch der Zwischenfrüchte überschneiden. Da direkt nach der Aussaat noch keine oberirdische Biomasse vorhanden ist, müssen die Start- und Endzeitpunkte der Vegetationsindex-Zeitreihen weiter eingeschränkt werden. Bei Winterungen muss diese Zeitspanne noch weiter eingeschränkt werden, um Bilder mit Schneedecke ausschließen zu können. Diese sind in Tab. 2 dargestellt.

**Tabelle 2:** Start- und Endzeitpunkte der Vegetationsindex-Zeitreihen für die unterschiedlichen Pflanzenbestände

	Startzeitpunkt	Endzeitpunkt
Winterung	1. März des Folgejahres nach Aussaat	Ein Tag vor Ernte
Sommerung	Ein Monat nach Aussaat	Ein Tag vor Ernte
Zwischenfrucht (abfrostend)	Zwei Wochen nach Aussaat	15. November im Jahr der Aussaat
Zwischenfrucht (winterhart)	Zwei Wochen nach Aussaat	Zwei Wochen vor Aussaat der nächsten Kultur

In einem ersten Schritt werden für alle Bilder, welche in den zuvor definierten Zeitfenstern liegen, die ausgewählten Vegetationsindices in sämtlichen Pixeln  $p_{ij}$  berechnet ( $i$  ... Zeilenindex,  $j$  ... Spaltenindex des aktuellen Bildes). Der NDVI errechnet sich nach

$$NDVI_{ij} = \frac{NIR_{ij} - RED_{ij}}{NIR_{ij} + RED_{ij}} \quad (1)$$

worin  $NIR_{ij}$  der Nahinfrarot-Kanal im entsprechenden Pixel ist (Band 8 eines Sentinel-2 Bildes, Wellenlänge  $\lambda = 842 \text{ nm}$ ) und  $RED_{ij}$  der Kanal des sichtbaren roten Lichtes (Band 4,  $\lambda = 665 \text{ nm}$ ). Die Formel für den EVI ist

$$EVI_{ij} = c_g \frac{NIR_{ij} - RED_{ij}}{NIR_{ij} + c_1 RED_{ij} - c_2 BLUE_{ij} + a} \quad (2)$$

wobei  $BLUE_{ij}$  der Kanal des sichtbaren blauen Lichtes ist (Band 2,  $\lambda = 490 \text{ nm}$ ) und  $a$  ist ein Absolut-Term, dessen Wert abhängig von der Einheit der Kanäle ist (bei Reflexionswerten von 0 bis 1 wäre  $a = 1$ ). Die Standardwerte für die Koeffizienten sind  $c_g = 2.5$ ,  $c_1 = 6.0$  und  $c_2 = 7.5$ .

Der MSAVI errechnet sich folgendermaßen

$$MSAVI_{ij} = \frac{2 NIR_{ij} + a - \sqrt{(2 NIR_{ij} + a)^2 - 8 (NIR_{ij} - RED_{ij})}}{2} \quad (3)$$

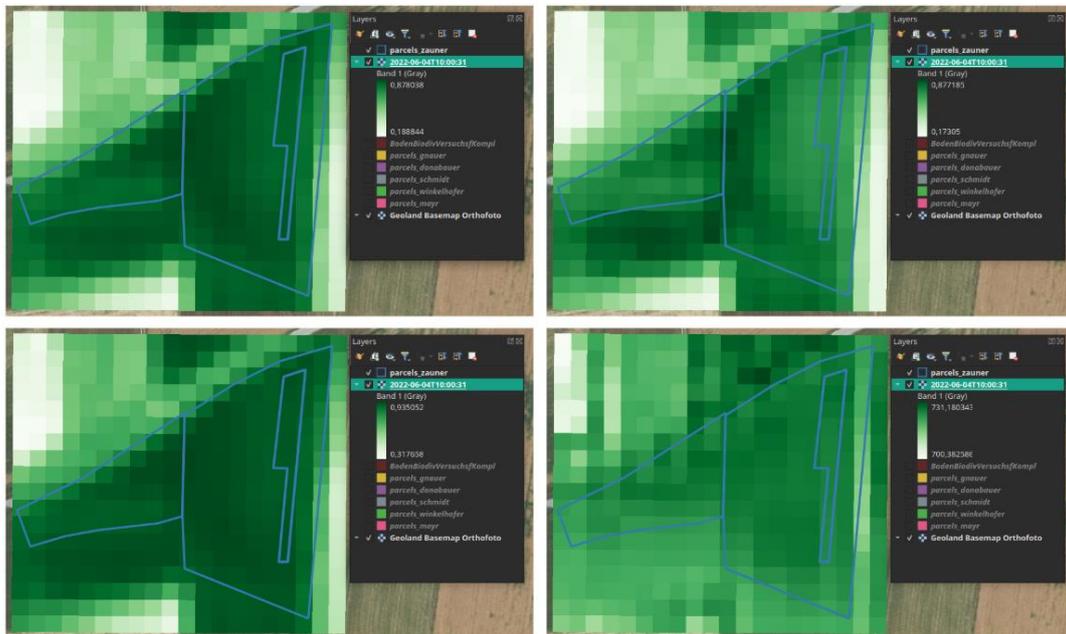
Für  $a$  gilt gleiches wie beim EVI.

Als vierter Vegetationsindex wird der REIP verwendet

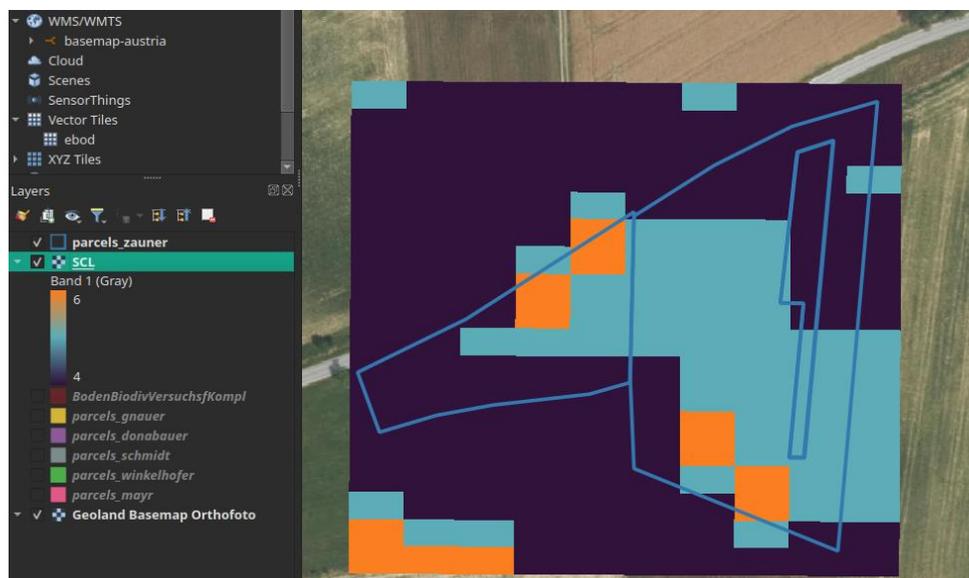
$$REIP_{ij} = a + c_g \frac{0.5 (RED_{ij} + NIR_{2,ij}) - RE_{ij}}{NIR_{1,ij} - RE_{ij}} \quad (4)$$

$a$  ist wieder ein Absolut-Term, welcher für Sentinel-2 Bilddaten auf 705.0 (einheitenlos) gesetzt wird und für den Koeffizient gilt  $c_g = 35.0$ . Für den REIP wird nicht der übliche Nahinfrarot-Kanal (Band 8) verwendet, welcher eine hohe Bandbreite von  $115 \text{ nm}$  aufweist. Stattdessen kommen die beiden Nahinfrarotkanäle  $NIR_{1,ij}$  (Band 6,  $\lambda = 740 \text{ nm}$ , Bandbreite  $15 \text{ nm}$ ) und  $NIR_{2,ij}$  (Band 7,  $\lambda = 783 \text{ nm}$ , Bandbreite  $20 \text{ nm}$ ) mit geringer Bandbreite zum Einsatz.  $RE_{ij}$  ist der "Red-Edge" Kanal (Band 5,  $\lambda = 705 \text{ nm}$ ).

Abb. 1 zeigt die berechneten Vegetationsindices für einen ausgewählten Zeitpunkt und landwirtschaftlichen Betrieb. Neben den einzelnen Spektralkanälen, wird auch der "[Scene-Classification Layer](#)" (SCL) verwendet. Dieser enthält für jedes Pixel einen Zahlenwert von 0 bis 11, wobei jeder Wert für eine Bodenbedeckungsklasse steht. In den folgenden Auswertungen, werden nur jene Pixel berücksichtigt, welche die Klassen 4 (Vegetation), 5 (keine Vegetation, wie z.B. sichtbarer Ackerboden) oder 6 (nicht klassifiziert) aufweisen. Die Klasse 6 wird ebenfalls mitberücksichtigt, da sich bei einer Durchsicht der Bilder von den einzelnen Parzellen gezeigt hat, dass viele "brauchbare" Pixel in dieser Klasse liegen (z.B. ersichtlich in Abb. 2).



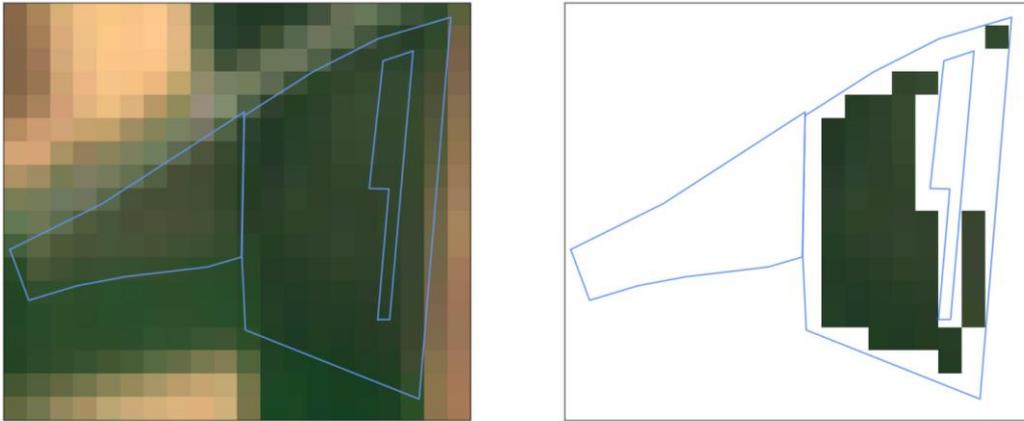
**Abbildung 1:** NDVI (links oben), EVI (rechts oben), MSAVI (links unten) und REIP (rechts unten) am 04.06.2022, Betrieb "Zauner" (Screenshots aus QGIS).



**Abbildung 2:** SCL-Layer für Sentinel-2 Bild, Betrieb "Zauner", 19.06.2023 (Screenshot aus QGIS).

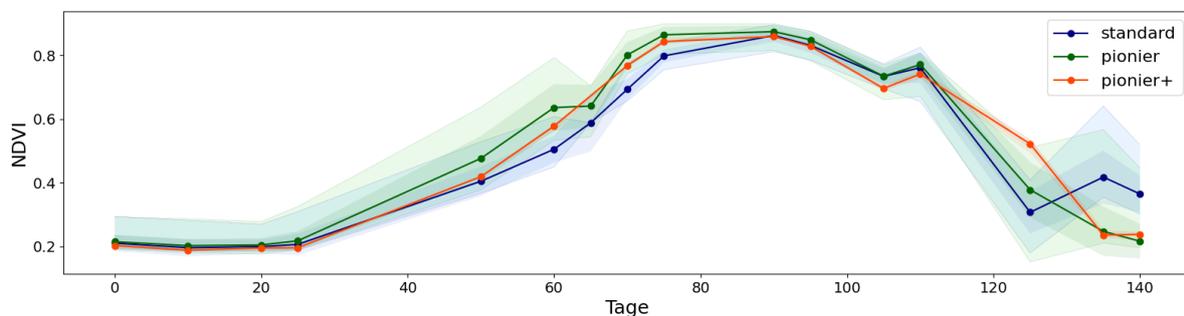
Im nächsten Schritt zur Erstellung der Zeitreihen müssen die Pixel den Parzellen mit einheitlichem Anbausystem zugeordnet werden. Hierfür werden die Polygone verwendet und nur jene Pixel, welche vollständig in dem jeweiligen Polygon liegen, werden zur Berechnung für die Zeitreihen herangezogen (siehe Abb. 3). Eine Ausnahme bildet die Standard-Variante am Betrieb Gnauer, da die zugehörige

Parzelle zu schmal ist, als dass hier vollständige Pixel enthalten sein könnten. Hier werden alle Pixel verwendet, welche mit zumindest 10 % ihrer Fläche im entsprechenden Polygon enthalten sind.



**Abbildung 3:** Zuordnung der Pixel zu den einzelnen Parzellen, hier am Beispiel des Betriebes "Zauner", Variante "Pionier".

Aus allen Pixeln, welche einer Variante zugeordnet wurden, werden anschließend der Median, die Standardabweichung sowie die minimalen und maximalen Werte für jeden gewählten Vegetationsindex pro Bildepoche berechnet. Diese zwei Werte werden zur Erstellung und Charakterisierung der Zeitreihe herangezogen. Der Median ist ein robuster Schätzer für den Mittelwert. Die Eigenschaft der Robustheit, hilft bei der Reduktion des Einflusses von Ausreißern in einzelnen Pixeln. Die Standardabweichung dient einerseits zur Visualisierung der Streuung der Werte in der Zeitreihe und wird andererseits auch zur Quantifizierung des Beobachtungsrauschens in der Polynomapproximation (Kapitel 2.3) verwendet. Abb. 4 zeigt die resultierende Zeitreihen für den NDVI am Betrieb "Zauner" für Winterweizen. Wie bereits oben erwähnt, entspricht der Tag 0 auf der x-Achse dem 1. März (hier das Jahr 2022). Die eingefärbten Bereiche um die Linien entsprechen der Streuung (minimaler Wert bis maximaler Wert) der Werte pro Bildepoche



**Abbildung 4:** NDVI-Zeitreihen, Betrieb "Zauner", Winterweizen (Aussaat 21.10.2021).

## 2.3 - Polynomregression und statistischer Test

Bei der Bestimmung von Bestandsunterschieden, werden die Vegetationsindex-Zeitreihen der zwei bzw. drei Bewirtschaftungsvarianten an einem Standort (d.h. bei einem landwirtschaftlichen Betrieb des Systemversuche) miteinander verglichen und mittels eines statistischen Tests (Kapitel 2.4) signifikante Differenzen detektiert. Aus zweierlei Gründen werden nicht direkt die berechneten Mediane (siehe Kapitel 2.2) der Zeitreihen miteinander verglichen. Einerseits sind diese Werte statistisch nicht unabhängig voneinander, da sie als beobachtete Größen eines zugrunde liegenden physikalischen Phänomens (d.h. der Wachstumsverlauf des Pflanzenbestandes) anzusehen sind. Dieser Umstand ließe sich durch die Verwendung der empirischen Autokovarianzfunktion [10] pp. 45 lösen. Andererseits kann die teilweise Bewölkung dazu führen, dass die zeitlichen Abstände in den zu vergleichenden Zeitreihen inkonsistent sind. Daher wird die Polynomregression zur Approximation der Zeitreihen verwendet, was zusätzlich den Vorteil der kontinuierlichen Darstellbarkeit bringt.

Bei der Polynomregression werden die einzelnen Datenpunkte einer Zeitreihe als Beobachtungen  $l_k$  angesehen, welche als Output einer zugrunde liegenden Funktion  $f(x_k) = l_k$  modelliert werden.  $k = 1, \dots, m$  ist ein aufsteigender Index und spezifiziert den Zeitpunkt des Datenpunktes (d.h. Bildepoche für den Median der berechneten Vegetationsindices) und  $x_k$  entspricht der Anzahl an Tagen seit Beginn der Zeitreihe (siehe Tab. 1) zur aktuellen Bildepoche. Eine weitere Annahme ist, dass eine Beobachtung nicht "perfekt" gemessen werden kann, weshalb sich folgende grundlegende Funktion für die Beobachtung ergibt

$$l_k = f(x_k) + \epsilon_k. \quad (5)$$

Die Beobachtung (d.h. die gemessene Größe) setzt sich aus zwei Teilen zusammen. Dem theoretisch wahren Wert  $f(x_k)$  und dem Term  $\epsilon_k$  welcher die Mess-Abweichungen repräsentiert. Für die Mess-Abweichungen ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung anzusetzen, welche hier der Normalverteilung entspricht. Die beiden Parameter der Normalverteilung (Erwartungswert und Varianz) sind vorzugeben. Der Erwartungswert wird auf null gesetzt und die Varianz entspricht den empirischen Varianzen der Vegetationsindex-Zeitreihen (siehe Kapitel 2.2). Die Varianz von  $\epsilon$  wird auch Beobachtungs- oder Messrauschen genannt.

$f(x_k)$  entspricht einem Polynom

$$f(x_k) = \sum_{i=0}^n a_i x_k^i \quad (6)$$

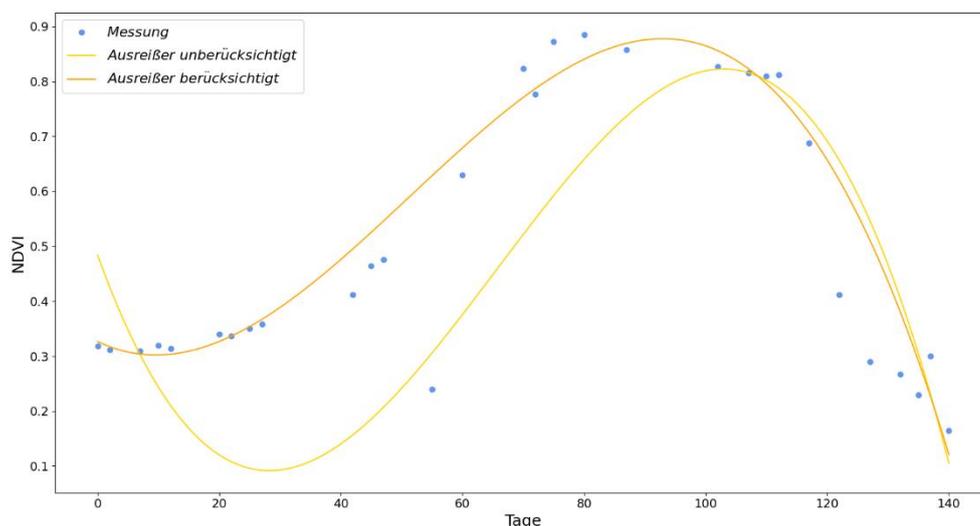
dessen Grad  $n$  festzulegen ist (siehe Kapitel 3.1). Für eine Zeitreihe ergeben sich somit  $m$  Gleichungen

$$l_1 = \sum_{i=0}^n a_i x_1^i + \epsilon_1$$

$$\begin{aligned}
 l_2 &= \sum_{i=0}^n a_i x_2^i + \epsilon_2 \quad (7) \\
 &\vdots \\
 l_m &= \sum_{i=0}^n a_i x_m^i + \epsilon_m
 \end{aligned}$$

Damit die unbekanntes Polynomkoeffizienten  $a_i$  aus diesem Gleichungssystem bestimmt werden können, muss dieses zumindest eindeutig  $m = n$ , besser, aber überbestimmt  $m > n$  sein. Erst bei einer Überbestimmung kann man von einer Regression sprechen, welches mittels eines Ausgleichs nach kleinsten Quadraten [10] pp. 129 ff. gelöst wird. Die so bestimmten (d.h. geschätzten) Polynomkoeffizienten werden als Vektor dargestellt  $\underline{a} = [a_0, a_1, \dots, a_n]^T \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ . Für die geschätzten Polynomkoeffizienten liegt auch die entsprechende Varianz-Kovarianzmatrix  $\underline{\Sigma}_{aa} \in \mathbb{R}^{n \times n}$  vor.

Trotz der Nutzung des Medians zur Berechnung der Zeitreihen, kann es sein, dass einzelne Datenpunkte in der Zeitreihe als Ausreißer zu betrachten sind. Abb. 5 zeigt hierfür ein Beispiel. Der stark abweichende Datenpunkt (ungefähr bei Tag 55) würde das resultierende Polynom stark verzerren. Um solche Fälle auszuschließen, wird in der Polynomregression eine statistische Testprozedur durchgeführt, bei der die Lösung der Regression iterativ passiert. Nach der erstmaligen Lösung der Regression wird für jeden Datenpunkt (d.h. für jede Messung) ein Ausreißertest durchgeführt. Sofern mindestens einer dieser Ausreißertests signifikant ist, wird jene Messung mit der signifikantesten Testgröße bei der nächsten Lösung der Regression ausgeschlossen. Diese Iteration wird so lange fortgesetzt bis keiner der Ausreißertests mehr signifikant ist. Eine genaue Erklärung und Darstellung dieser Testprozedur findet sich z.B. in [11].



**Abbildung 5:** Visualisierung des Einflusses von Ausreißern in den Datenpunkten einer Zeitreihe.

Für jede Variante werden die Polynomkoeffizienten der entsprechenden Zeitreihe geschätzt. Für die Erläuterungen in diesem Kapitel werden nur die beiden Varianten "Standard" (Index  $S$ ) und "Pionier" (Index  $P$ ) verwendet, was keine Einschränkung bezüglich weiterer Varianten darstellt. Für den statistischen Test muss in einem ersten Schritt die Differenz der geschätzten Polynomkoeffizienten der beiden Varianten berechnet werden

$$\underline{\Delta a} = \underline{a}_S - \underline{a}_P. \quad (8)$$

Ist  $\underline{\Delta a}$  signifikant verschieden von null, so ist von signifikanten Unterschieden der Vegetationsindex-Zeitreihen zwischen den beiden Varianten auszugehen. Die Nullhypothese des statistischen Tests ist daher  $\underline{\Delta a} = \underline{0}$  und die Testgröße

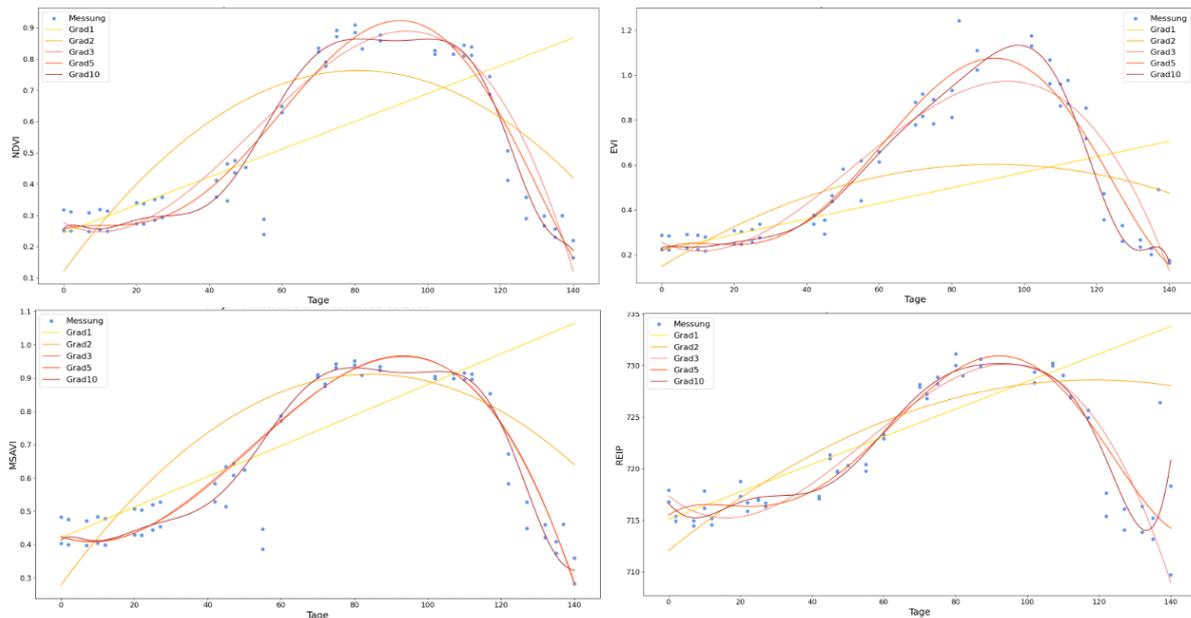
$$T_{\chi^2} = \underline{\Delta a}^T \underline{\Sigma_{\Delta\Delta}}^{-1} \underline{\Delta a} \quad (9)$$

worin  $\underline{\Sigma_{\Delta\Delta}}$  mittels Varianzfortpflanzung aus den Varianz-Kovarianzmatrizen  $\underline{\Sigma_{aa,S}}$  und  $\underline{\Sigma_{aa,P}}$  berechnet wird [10] pp. 50 ff.  $T_{\chi^2}$  folgt einer Chi-Quadrat-Verteilung und wenn der entsprechende p-Wert kleiner als das gewählte Signifikanzniveau  $\alpha = 5\%$  ist, dann wird die Nullhypothese verworfen.

## 3 - Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 - Wahl des Polynom-Grades

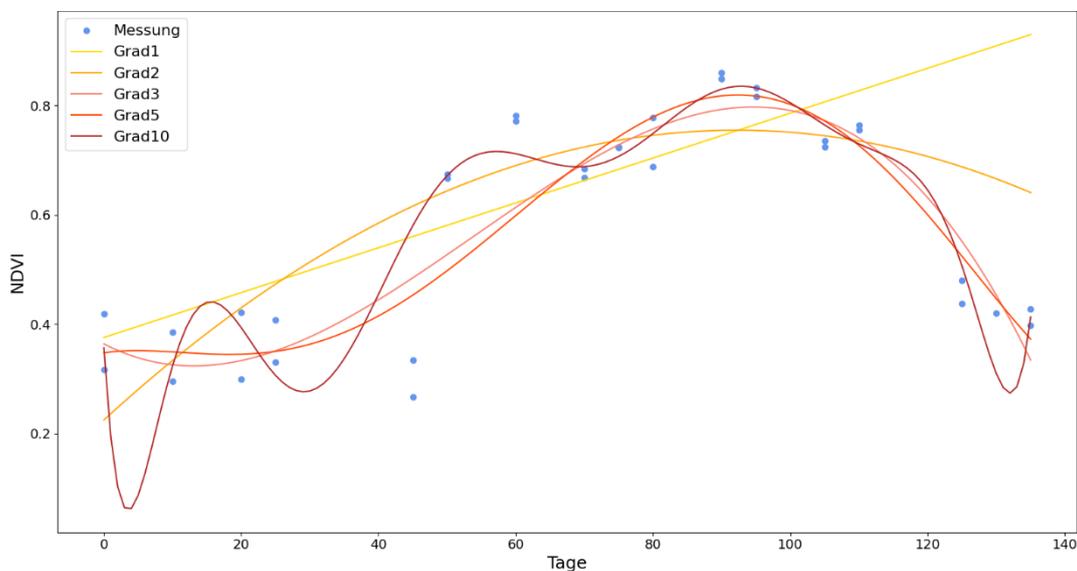
Bei der Polynomregression (Kapitel 2.3) ist der Grad  $n$  vorzugeben (d.h. die Anzahl der Polynomkoeffizienten). Diese Aufgabe wird auch Modellselektion genannt, da hier festgelegt wird, welches Modell zur Approximation der Zeitreihen anschließend verwendet wird. Hier wird der Ansatz verfolgt, den Grad des Polynoms unabhängig von der Kulturpflanze bzw. von der Zwischenfrucht sowie vom zu Grunde liegenden Vegetationsindex zu fixieren. In einem ersten Schritt werden für Winterweizen am Betrieb "Mayr" die Zeitreihen für die vier gewählten Vegetationsindices NDVI, EVI, MSAVI und REIP ausgewertet (Abb. 6). Es ist ersichtlich, dass der Verlauf der Zeitreihe bei allen vier Vegetationsindices nahezu gleich ist. Zu Beginn (in etwa die ersten 30 Tage) bleiben die Werte konstant und steigen dann bis ca. Tag 90 stark an. Bis zur Ernte gehen die Werte wieder zurück. Das spiegelt den zu erwartenden Vegetationsverlauf bei Winterweizen wider. Da sich die Verläufe der Vegetationsindex-Zeitserien nicht wesentlich voneinander unterscheiden, wird der Vegetationsindex bei der Bestimmung des optimalen Grades nicht berücksichtigt.



**Abbildung 6:** Variation des Polynom-Grades, Betrieb "Mayr", Winterweizen (Aussaat 02.10.2021).

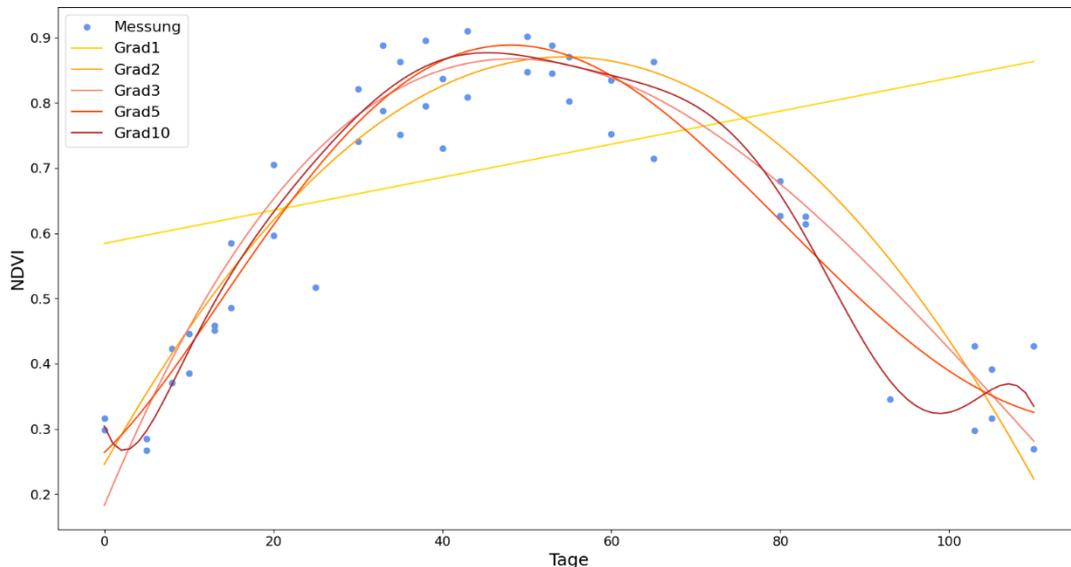
Die Wahl des optimalen Grades erfolgt nach zwei Kriterien. Zum einen sollen die Zeitreihen bestmöglich approximiert werden und zum anderen soll sich das resultierende Polynom aber nicht dem Messrauschen anpassen. Letzteres führt zum Problem des "Overfitting" was bei der Modellselektion nicht erwünscht ist und zu einer schlechten Generalisierbarkeit führt. Bei Polynomen tritt zusätzlich die Problematik des "Ausschwingens" auf, wenn der Grad zu hoch gewählt wird. Auf

Basis von Abb. 6 können die Grade  $n=1$  (lineare Funktion) und  $n=2$  (quadratische Funktion) ausgeschlossen werden, da diese Polynome nicht genug Freiheitsgrade (d.h. Polynomkoeffizienten) besitzen, um sich den Datenpunkten der Zeitreihe anzupassen. Die Polynome mit Grad  $n=10$  liefern in Abb. 6 noch annehmbare Ergebnisse. Betrachtet man hingegen Abb. 7 so sieht man deutlich die Tendenzen zum “Overfitting” und zum “Ausschwingen” bei diesem Polynom. Die Polynome mit Grad  $n=3$  und  $n=5$  unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander. Da der geringstmögliche Grad (bei gleichzeitig guter Anpassung) zu bevorzugen ist, scheinen Polynome mit Grad  $n=3$  geeignet für die weiteren Auswertungen.



**Abbildung 7:** Variation des Polynom-Grades, Betrieb “Donabauer”, Winterraps (Aussaat 20-08-2021).

Die Approximationseigenschaften von Polynomen mit Grad  $n=3$  sind sowohl für Winterweizen und Winterraps ausreichend (Abb. 6 und Abb.7). Die Variation des Polynom-Grades am weiteren Beispiel der Sojabohne (Abb. 8) verstärkt die Annahme, dass bei der Wahl des Polynom-Grades die Pflanzenart keine oder eine nur sehr untergeordnete Rolle spielt. Somit werden für die statistischen Auswertungen in Kapitel 3.2 Polynome mit Grad  $n=3$  verwendet.



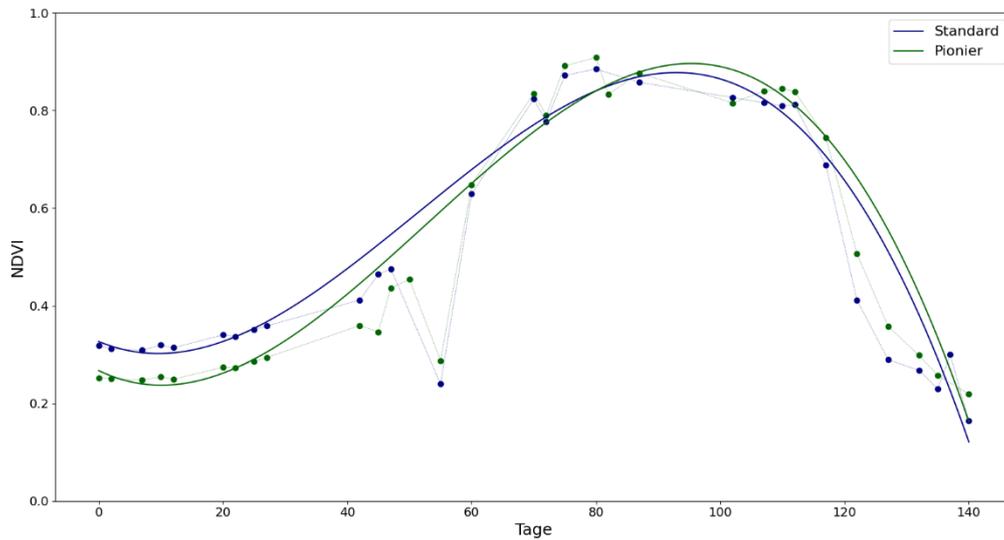
**Abbildung 8:** Variation des Polynom-Grades, Betrieb "Schmidt", Sojabohne (Aussaat 08.05.2022).

## 3.2 - Ergebnisse der statistischen Tests

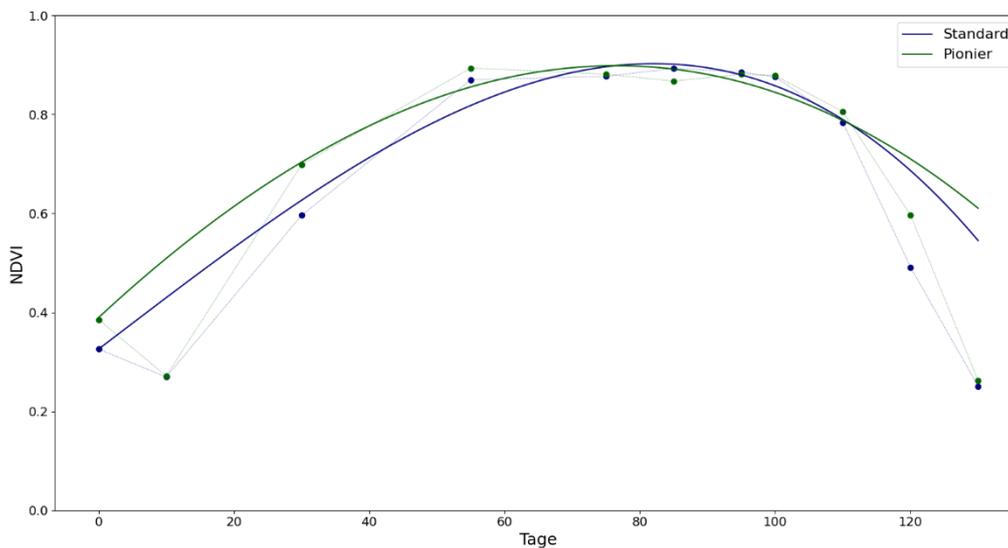
Entsprechend dem Kapitel 2.3 werden für alle Kulturpflanzen die Vegetationsindex-Zeitreihen (NDVI, EVI, MSAVI, REIP) mittels Polynom-Regression approximiert. Bei den Zwischenfrüchten wird nur der NDVI verwendet. Anschließend wird der statistische Test für die geschätzten Polynomkoeffizienten durchgeführt.

Abb. 9 zeigt das Ergebnis für die NDVI-Zeitreihe von Winterweizen am Betrieb "Mayr". Die Punkte mit strichlierter Linie entsprechen den berechneten Median-Werten des NDVI pro Bildepoche und die durchgehenden Linien stellen das geschätzte Polynom aus der Regression dar. Für den statistischen Test der Polynomkoeffizienten ergibt sich ein p-Wert von  $2 \times 10^{-5}$  was bedeutet, dass sich die beiden Zeitreihen signifikant unterscheiden (Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ ). Abb. 10 zeigt ebenfalls eine NDVI-Zeitreihe für Winterweizen diesmal am Betrieb "Gnauer". Der p-Wert des statistischen Tests liegt in diesem Fall 0,228. Diese beiden Zeitreihen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, obwohl die Differenzen in etwa die gleiche Größenordnung wie in Abb. 9 haben. Der Grund ist jener, dass in Abb. 10 wesentlich weniger Datenpunkte in der Zeitreihe vorhanden sind als in Abb. 9 (d.h. mehr bewölkte Bilder). In den statistischen Test fließt neben den geschätzten Polynomkoeffizienten auch die Varianz-Kovarianzmatrix dieser geschätzten Größen ein (Formel (9)). Bei einer größeren Anzahl an Datenpunkten ist die resultierende Varianz der geschätzten Polynomkoeffizienten kleiner (d.h. höhere Redundanz). Somit sind die Elemente der Varianz-Kovarianzmatrix kleiner im Fall von Abb. 9 und die entsprechende Testgröße wird durch die Inversion der Varianz-Kovarianzmatrix größer (bei annähernd gleich großen Differenzen zwischen den Polynomkoeffizienten). D.h. sind mehr

Datenpunkte in einer Zeitreihe vorhanden, können auch kleinere Differenzen zwischen den Polynomen signifikant bestimmt werden.



**Abbildung 9:** Datenpunkte und geschätzte Polynome für die NDVI-Zeitreihen der Standard- und Pionier-Variante, Betrieb "Mayr", Winterweizen, Aussaat 02.10.2021.



**Abbildung 10:** Datenpunkte und geschätzte Polynome für die NDVI-Zeitreihen der Standard- und Pionier-Variante, Betrieb "Gnauer", Winterweizen, Aussaat 16.10.2022.

Tab. 3 zeigt sämtliche Ergebnisse der statistischen Tests der Polynomkoeffizienten der Zeitreihen. Die vertikale Richtung dieser Tabelle entspricht der Zeitachse mit einer "Auflösung" von einem Monat. Die strichlierten Linien markieren den Start sowie das Ende der Zeitreihen-Auswertung (vergleiche Tab. 2). Sind Zeitreihen bzw. die Polynomkoeffizienten signifikant unterschiedlich, so wird die entsprechende zeitliche Ausdehnung anders eingefärbt als das hellgelb bei den Kulturpflanzen bzw. das hellgrün bei den Zwischenfrüchten. Diese Farben entsprechen den drei Varianten von Anbausystemen

- Dunkelblau - Standard-Variante
- Dunkelgrün - Pionier-Variante
- Orange - Pionier Plus-Variante

Die Farbe markiert, welche der drei Varianten im entsprechenden Monat die höchsten Werte aufweist. Wie in Abb. 9 und Abb. 10 ersichtlich, sind die Differenzen zwischen signifikant unterschiedliche Polynome nicht konstant. Die Einfärbung in Tab. 3 ermöglicht eine kompakte Analyse aller Zeitreihen bezüglich signifikanter Unterschiede sowie die Beurteilung welche Variante die höchsten Werte der Vegetationsindices in einem bestimmten Zeitabschnitt aufweisen. Es muss aber angemerkt werden, dass diese farbliche Codierung nur eine Annäherung an die tatsächlichen Zeitreihen-Verläufe darstellt. Die Graphen der Zeitreihen und geschätzten Polynome von allen Kulturpflanzen, Zwischenfrüchten und Vegetationsindices befinden sich im Anhang.

Bezüglich des Vergleichs der Vegetationsindices zeigt sich, dass die Zeitreihen für NDVI, EVI und MSAVI zumeist ähnliche Tendenzen haben, sowohl was die Signifikanz angeht als auch welche Variante höhere Werte liefert. Die REIP-Zeitreihen sind im Gegensatz dazu selten signifikant unterschiedlich.

Auf Basis der dargestellten Ergebnisse in Tab. 3, lässt sich bei den Kulturpflanzen keine Variante identifizieren, welche durchgehend höhere Werte bei den Vegetationsindices aufweist. Betrachtet man die Betriebe einzeln, so stechen die Betriebe "Mayr", "Schmidt" und "Zauner" hervor, wo bei jeder Kulturpflanze signifikante Unterschiede in den Zeitreihen auftreten. Beim Betrieb "Mayr" hat sich tendenziell die Pionier-Variante durchgesetzt wohingegen sich bei den Betrieben "Schmidt" und "Zauner" die Standard- und die Pionier-Variante die Waage halten. Bei der Wintererbse im Jahr 2024 am Betrieb "Schmidt" weist auch die Pionier Plus-Variante zeitweise signifikant höhere Werte auf. Gleiches gilt bei den REIP-Zeitreihen bei Winterweizen 2022 und Sojabohne 2024 am Betrieb "Zauner".

**Tabelle 3:** Ergebnisse der Signifikanztests bei den Vegetationsindex-Zeitreihen der Kulturpflanzen und Zwischenfrüchte auf den sechs landwirtschaftlichen Betrieben.

	Donabauer				Gnauer				Mayr				Schmidt				Winkelhofer				Zauner			
	N D V I	E V I	M S A V I	R E I P	N D V I	E V I	M S A V I	R E I P	N D V I	E V I	M S A V I	R E I P	N D V I	E V I	M S A V I	R E I P	N D V I	E V I	M S A V I	R E I P				
2022	Winterraps				Winterraps				Winterweizen				Sojabohne				Winterraps				Winterweizen			
	[Bar chart]				X X X X X X X X X X X X X X X X				[Bar chart]								[Bar chart]				[Bar chart]			
	Wintergerste				X X X				Winterraps				Einkorn				Zwischenfrucht				Zwischenfrucht			
	[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				X X X X X X X X				[Bar chart]			
2023	Zwischenfrucht				Zwischenfrucht				Winterweizen				Wintererbsen				Zwischenfrucht				Sojabohne			
	X X X X X X X X X X X X				X X X X X X X X X X X X				[Bar chart]				[Bar chart]				X X X X X X X X				[Bar chart]			
	[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]			
	[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]			
2024	Körnermais				Kartoffel				[Bar chart]				[Bar chart]				Körnermais				Sojabohne			
	[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]			
	[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]			
	[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]				[Bar chart]			

Vergleicht man die Ergebnisse bezüglich der Kulturpflanzen so ergibt sich auch hier keine klare Tendenz. Winterweizen, Winterraps, Körnermais und Sojabohne wurden mehr als einmal angebaut. Bei Winterweizen und Winterraps variieren die Ergebnisse des statistischen Tests (teilweise signifikant, teilweise nicht je nach Betrieb und Jahr). Bei den beiden Körnermais-Beständen treten keine signifikanten Unterschiede auf. Im Gegensatz dazu kommt es bei den drei Sojabohnen-Beständen immer zu signifikant unterschiedlichen Wachstumsverläufen. Auch hier zeichnet sich keine der drei Varianten durch durchgehend höhere Werte in den Vegetationsindices aus.

Die Zeitreihen beim Winterraps am Betrieb "Gnauer" wurden nicht für die Analysen in Tab. 3 berücksichtigt (die x-Markierungen), da die beiden Varianten stark divergierende Ergebnisse liefern (Abb. 11 am Beispiel des NDVI). Josephinum Research war bei der Durchführung der Systemversuche nicht beteiligt, wodurch auch keine Gründe für diese Diskrepanzen angeführt werden können.

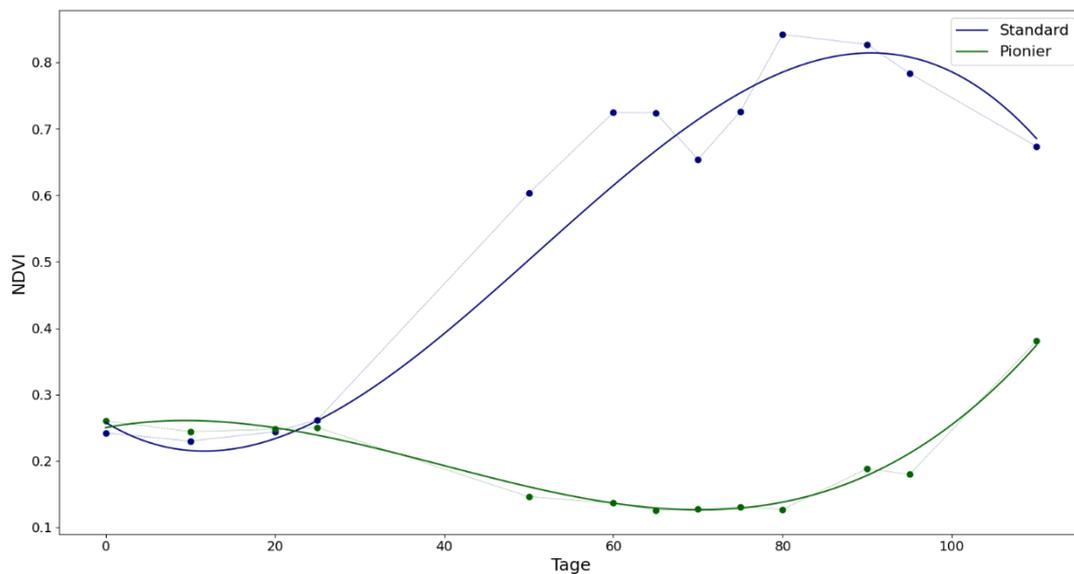


Abbildung 11: NDVI-Zeitreihen und geschätzte Polynome, Betrieb "Gnauer", Winterraps, Aussaat 06.09.2021

Bei den Zwischenfrüchten werden nur die NDVI-Zeitreihen ausgewertet und analysiert. Hier weisen die Zeitreihen der Pionier-Variante zumeist signifikant höhere Werte auf. Die Ausnahme bildet hier der Betrieb "Gnauer", wo die Standard-Variante höhere Werte bei den Zwischenfrüchten aufweist.

Auf Basis der hier durchgeführten Auswertungen und Analysen, lässt sich nicht aussagen, dass sich eine der Anbausystem-Varianten durch signifikant höhere Werte im Wachstumsverlauf von Kulturpflanzen auszeichnet. Es treten zwar signifikante Unterschiede in den Vegetationsindex-Zeitreihen auf. Dies weisen aber je nach Betrieb und Pflanzenart unterschiedliche Tendenzen auf.

## 4 – Zusammenfassung

Im Zuge des Projektes “Boden.Biodiversität” werden neue Anbausysteme zur Förderung der Biodiversität im Boden implementiert. In diesem Bericht wird der Einfluss der neuen Anbausysteme auf das Pflanzenwachstum bzw. den Vegetationsverlauf auf den Versuchspartellen der Systemversuche auf sechs landwirtschaftlichen Betrieben untersucht. Auf allen landwirtschaftlichen Betrieben gibt es zwei Varianten von Anbausystemen, welche verglichen werden: die Standard-Variante (d.h. betriebsübliches Management) und die Pionier-Variante (d.h. innovative Anbausysteme zur Förderung der Biodiversität im Boden). Auf zwei landwirtschaftlichen Betrieben gibt es zusätzlich die Pionier Plus-Variante, welche sich durch einen noch stärkeren Einsatz von bodenschonenden Maßnahmen gegenüber der Pionier-Variante auszeichnet.

Der Vegetationsverlauf wird auf Basis von Satellitenbildern der Sentinel-2 Satellitenmission dargestellt. Aus den Spektralkanälen der Satellitenbilder werden Vegetationsindices (NDVI, EVI, MSAVI, REIP) berechnet. Alle Pixel die innerhalb des Polygons der Versuchspartellen liegen, werden für die Berechnung der Vegetationsindices aggregiert. Pixel, welche aufgrund von Bewölkung nicht den Pflanzenbestand widerspiegeln, werden mit Hilfe des Scene-Classification-Layers ausgeschlossen. Um eine Zeitreihe für die Vegetationsindices zu erhalten, wird der Median aus den aggregierten Pixeln pro Bildepoche berechnet (Kapitel 2.2). Zur Durchführung eines statistischen Tests, um signifikante Unterschiede zwischen den Zeitreihen der Versuchspartellen, wird mittels Regression ein Polynom in die Datenpunkte (d.h. die berechneten Mediane) gelegt, welches diese im Sinne der Ausgleichung nach kleinsten Quadraten bestmöglich approximiert. Für alle Zeitreihen werden Polynome dritten Grades verwendet (Kapitel 3.1). Die aus der Polynom-Regression verfügbaren Koeffizienten sind die Grundlage für den statistischen Signifikanztest (Kapitel 2.3).

Aus den Ergebnissen dieser statistischen Tests lässt sich keine eindeutige Aussage, bezüglich des Einflusses der neuen Anbausysteme auf den Wachstumsverlauf, treffen (Kapitel 3.2). Die Ergebnisse variieren je nach Betrieb und Kulturpflanze. Am ehesten kann ein positiver Einfluss auf den Wachstumsverlauf bei den Zwischenfrüchten festgestellt werden, wo die Pionier-Variante (mit Ausnahme eines Betriebes) durchgehend signifikant höhere Werte in den Vegetationsindex-Zeitreihen aufweist.

## Literaturverzeichnis

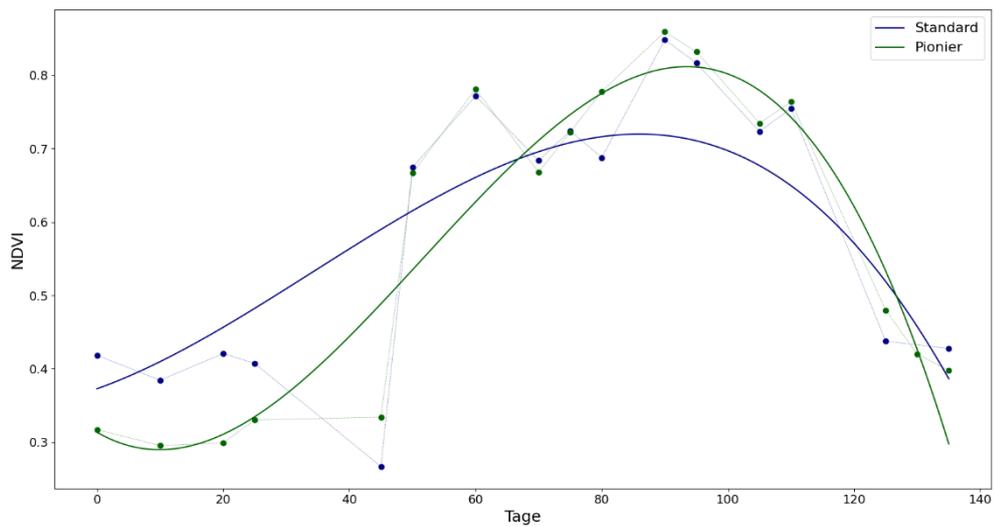
- [1] Gascon, F., Cadau, E., Colin, O., Hoersch, B., Isola, C., Lopez Fernandez, B. & Martimort, P. (2014). *Copernicus Sentinel-2 mission: products, algorithms and Cal/Val*. Proc. SPIE 9218, Earth Observing Systems XIX, 92181E, <https://doi.org/10.1117/12.2062260>.
- [2] Prey, L. & Schmidhalter, U. (2019). *Sensitivity of vegetation indices for estimating vegetative N status in winter wheat*. Sensors, 19(3712), <https://doi.org/10.3390/s19173712>.
- [3] Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M. & Gattelli, M. (2015). *Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images*. Remote Sensing, 2015(7), <https://doi.org/10.3390/rs70404026>.
- [4] Zeng, Y., Hao, D., Huete, A., Dechant, B., Berry, J., Chen, J.M., Joiner, J., Frankenberg, C., Bond-Lamberty, B., Ryu, Y., Xiao, J., Asrar, G.R., & Chen, M. (2022). *Optical vegetation indices for monitoring terrestrial ecosystems globally*. Nature Reviews Earth & Environment, 3, 477-493, <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00298-5>.
- [5] Tucker, C.J. (1979). *Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation*. Remote Sensing of Environment, 8(2), 127-150, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0).
- [6] Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. & Ferreira, L.G. (2002). *Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices*. Remote Sensing of Environment, 83(1-2), 195-213, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).
- [7] Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H. & Sorooshian, S. (1994). *A modified soil adjusted vegetation index*. Remote Sensing of Environment, 48(2), 119-126, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90134-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90134-1).
- [8] Belanger, M.J., Miller, J.R. & Boyer, M.G. (2014). *Comparative relationships between some red edge parameters and seasonal leaf chlorophyll concentrations*. Canadian Journal of Remote Sensing, 21(1), 16-21, <https://doi.org/10.1080/07038992.1995.10874592>.
- [9] Bishop, C.M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. Springer Science+Business Media, New York, USA. ISBN-13:978-0-387-31073-2.
- [10] Niemeier, W. (2008). *Ausgleichsrechnung. Statistische Auswertemethoden*. Walter de Gruyter, Berlin, Deutschland, ISBN 978-3-11-019055-7.
- [11] Ettliger, A. & Neuner, H. (2019). *Assessment of inner reliability in the Gauss-Helmert model*. Journal of Applied Geodesy, 14(1), 13-28, <https://doi.org/10.1515/jag-2019-0013>.

# Anhang

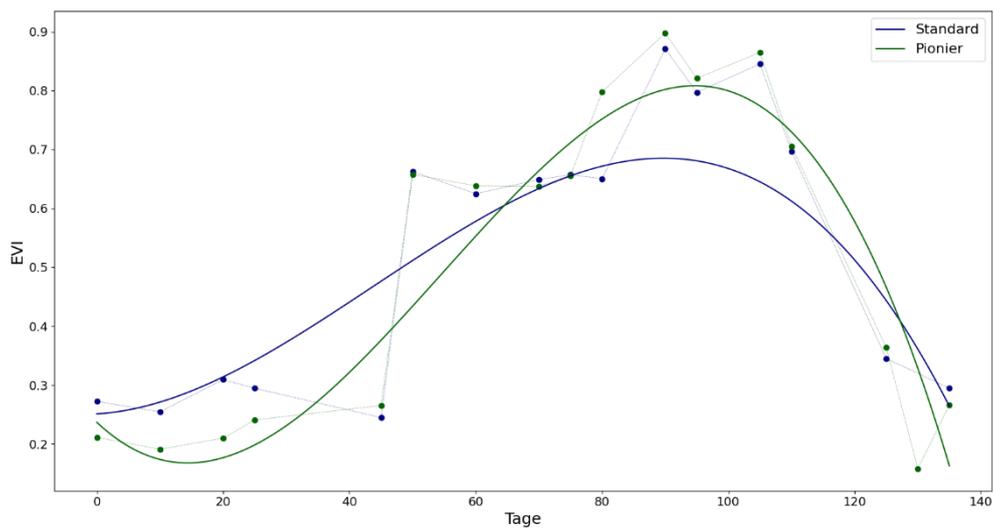
## Betrieb Donabauer

### Winterraps - Aussaat 20.08.2021

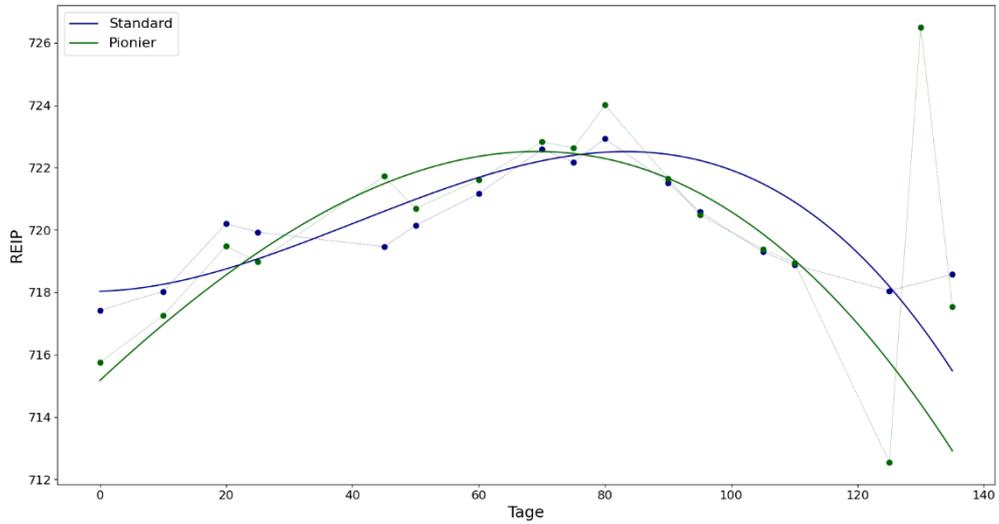
Donabauer - Raps - Aussaat 20.08.2021



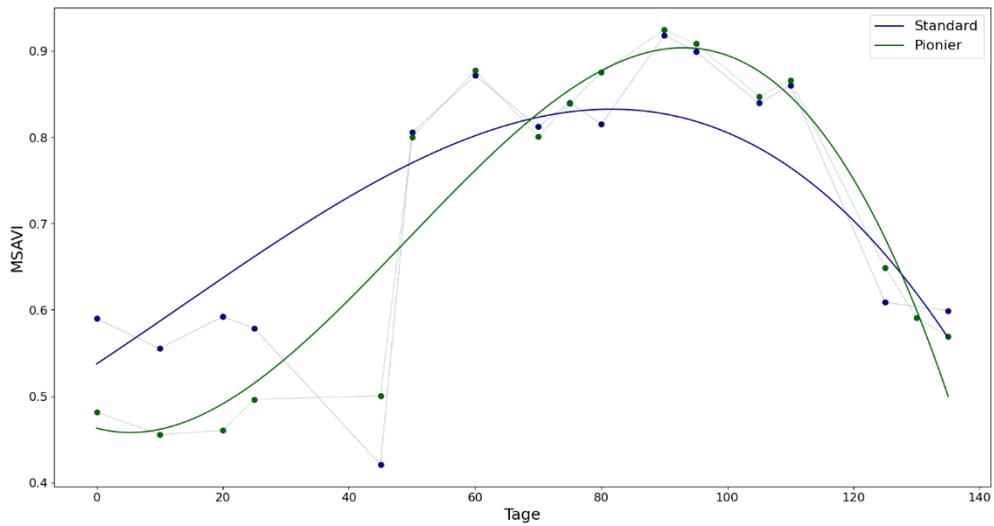
Donabauer - Raps - Aussaat 20.08.2021



Donabauer - Raps - Aussaat 20.08.2021

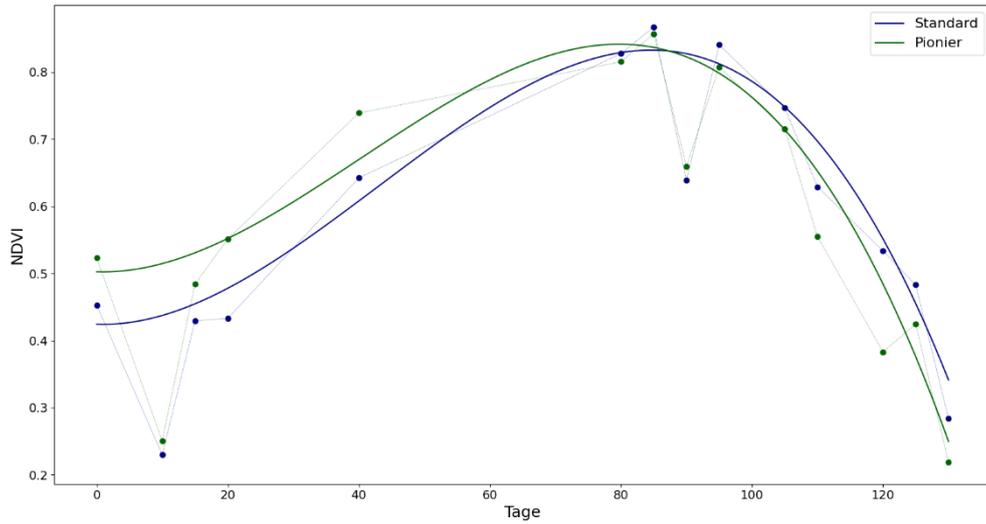


Donabauer - Raps - Aussaat 20.08.2021

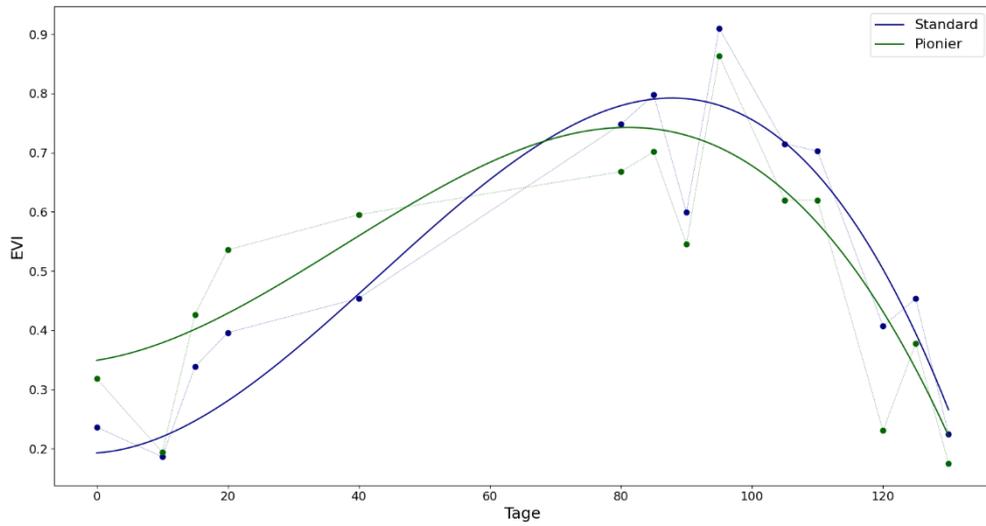


## Wintergerste - Aussaat 22.09.2022

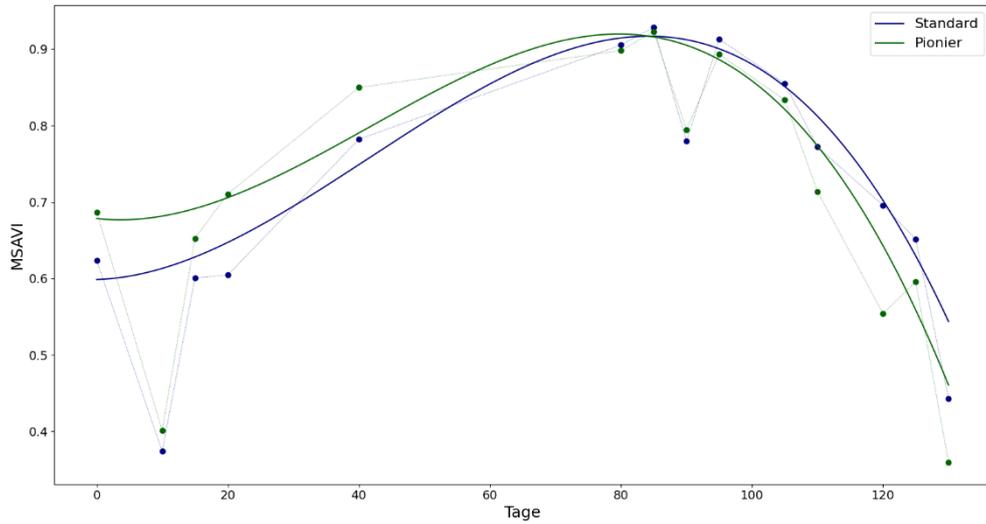
Donabauer - Wintergerste - Aussaat 22.09.2022



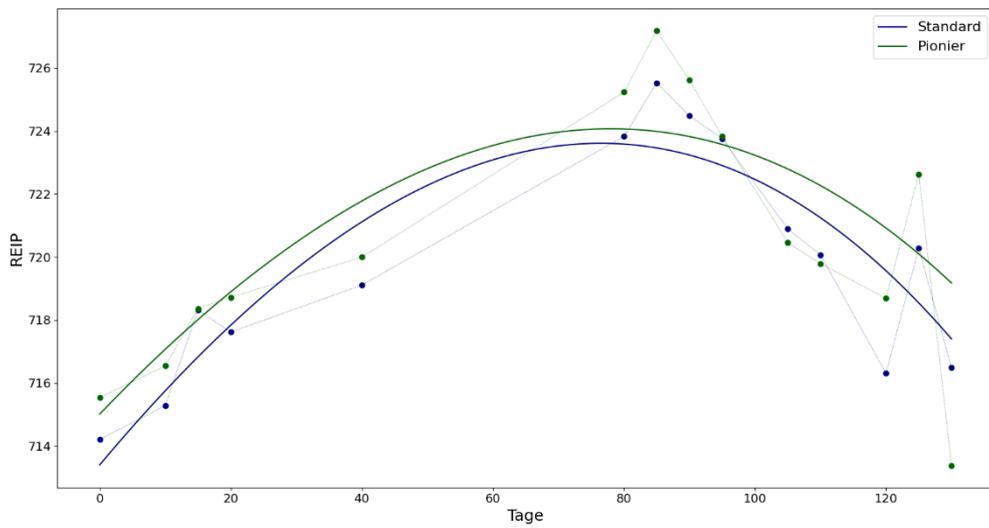
Donabauer - Wintergerste - Aussaat 22.09.2022



Donabauer - Wintergerste - Aussaat 22.09.2022

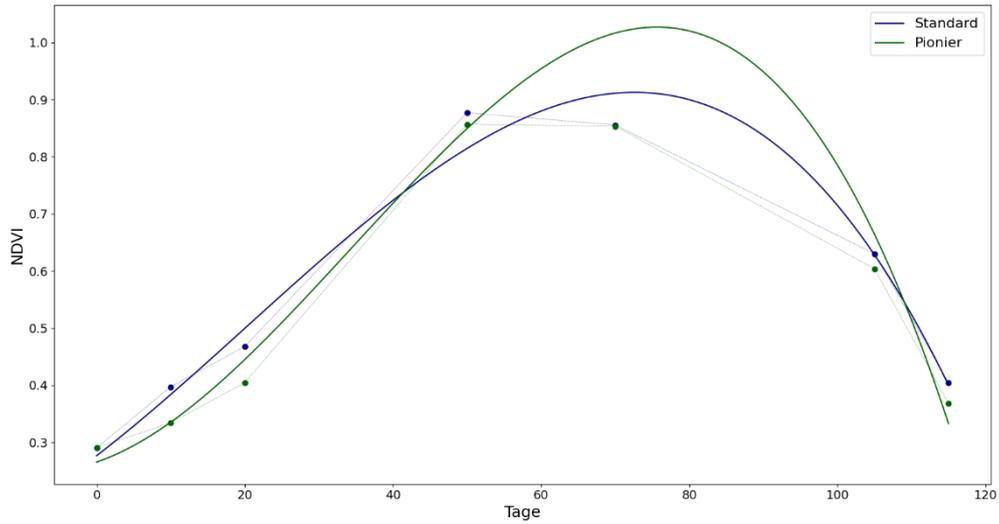


Donabauer - Wintergerste - Aussaat 22.09.2022

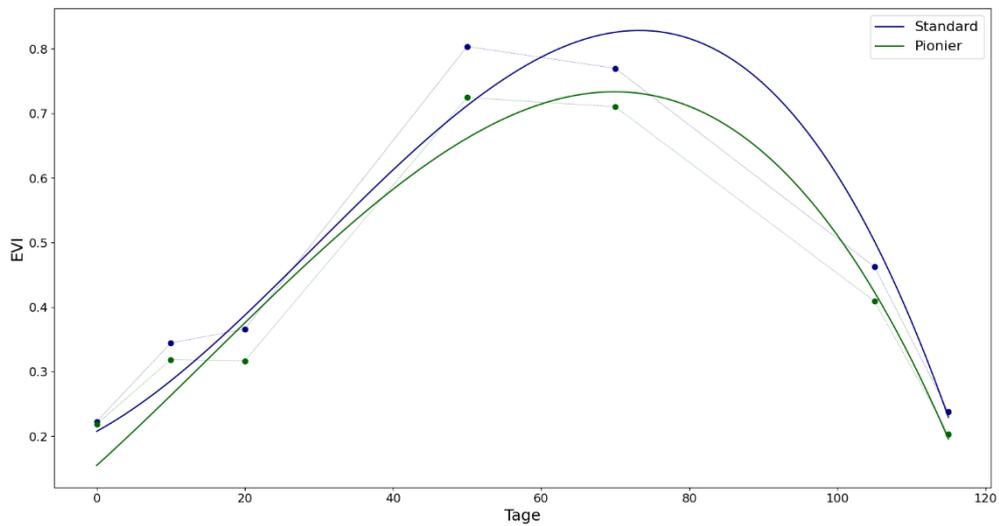


## Körnermais - Aussaat 25.04.2024

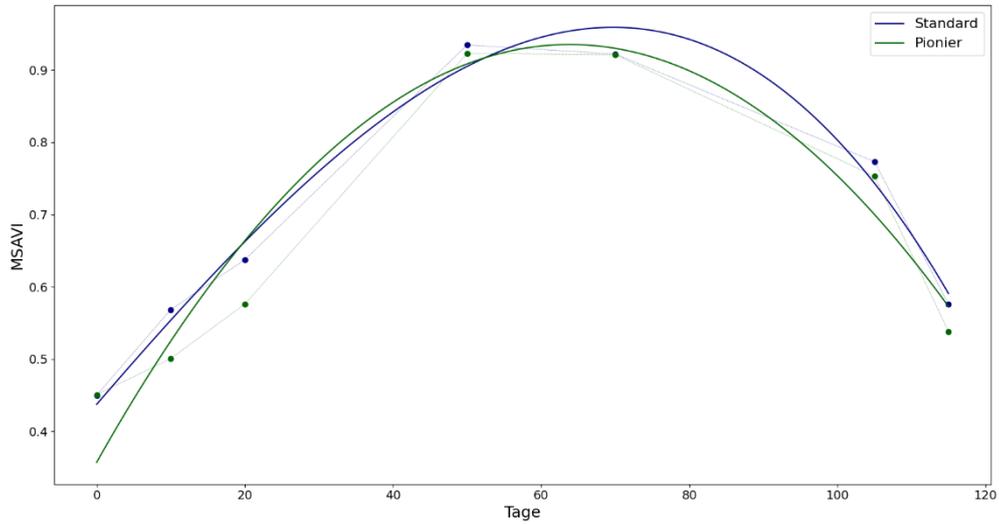
Donabauer - Mais - Aussaat 25.04.2024



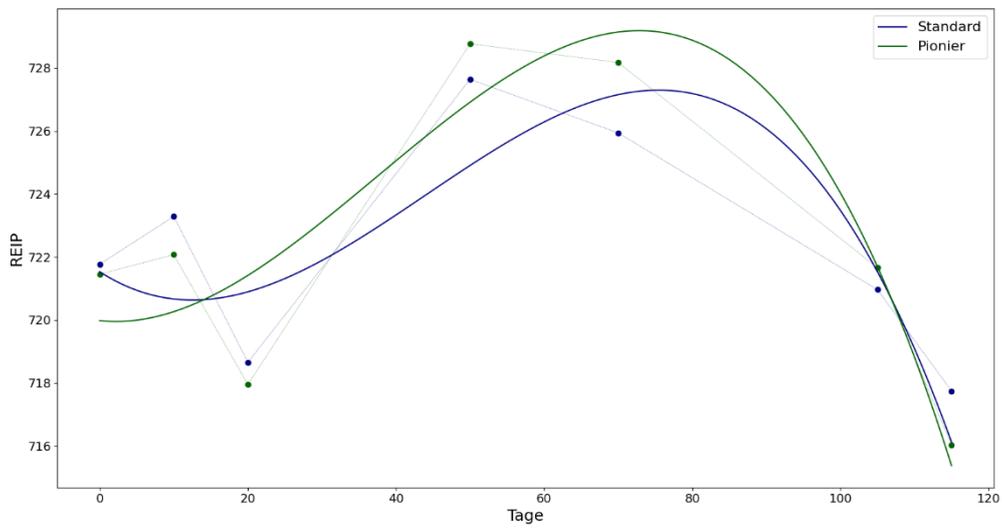
Donabauer - Mais - Aussaat 25.04.2024



Donabauer - Mais - Aussaat 25.04.2024

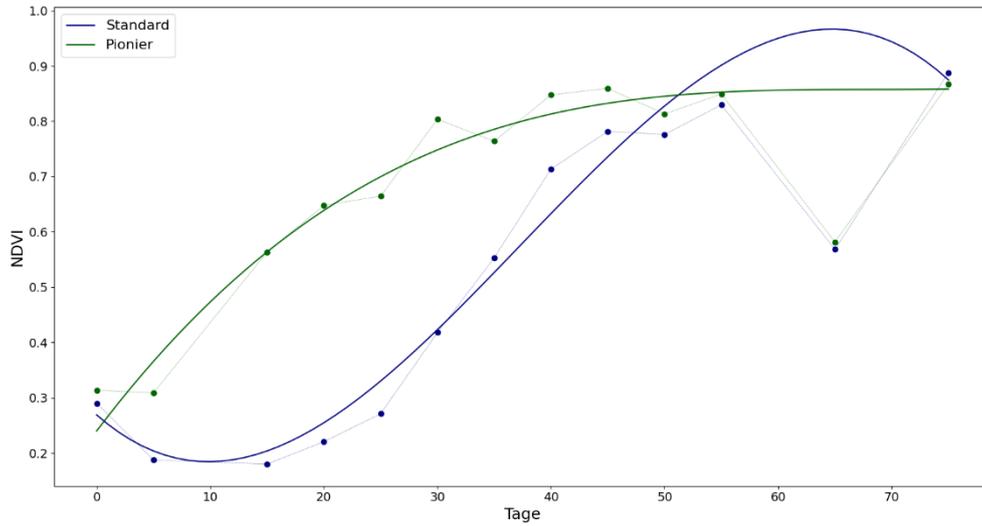


Donabauer - Mais - Aussaat 25.04.2024



## Zwischenfrüchte

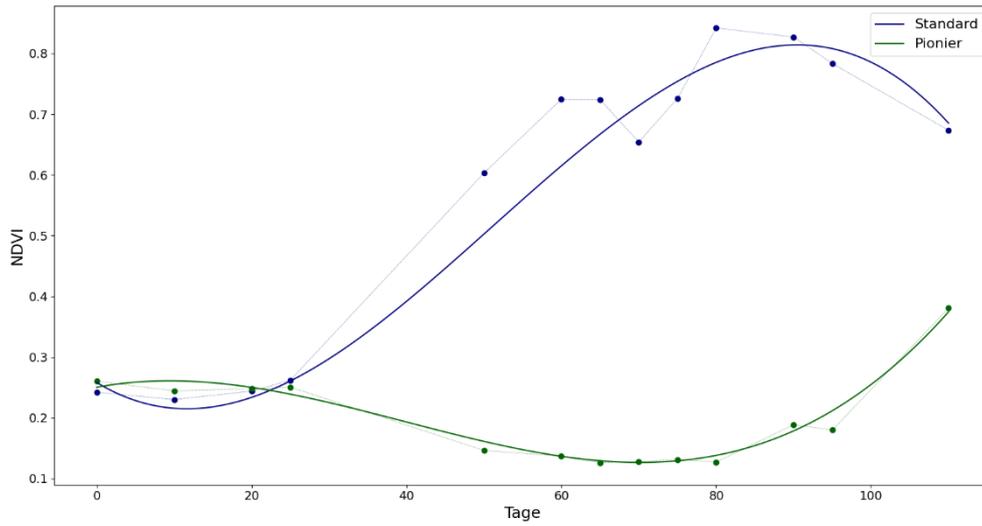
Donabauer - Zw.Frucht abfrostend - Aussaat 02.08.2023



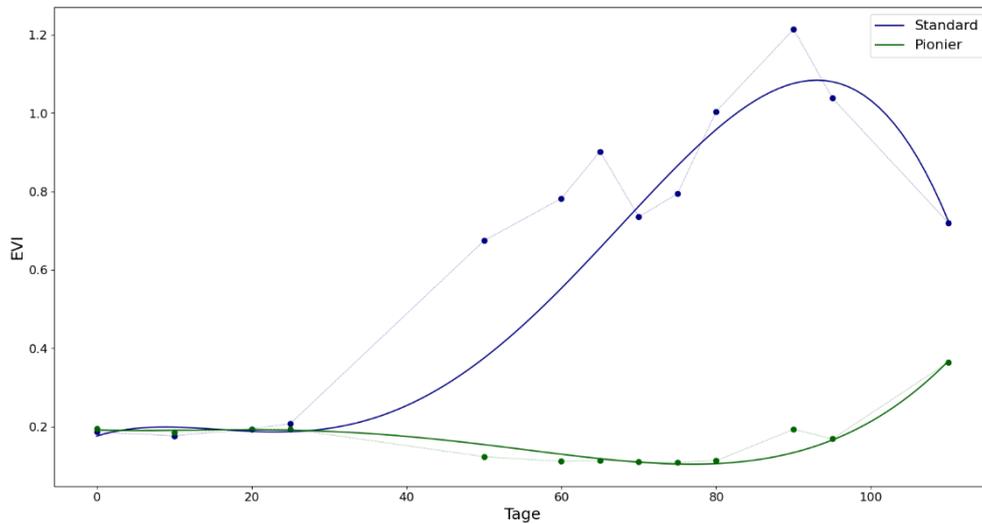
## Betrieb Gnauer

### Winterraps - Aussaat 06.09.2021

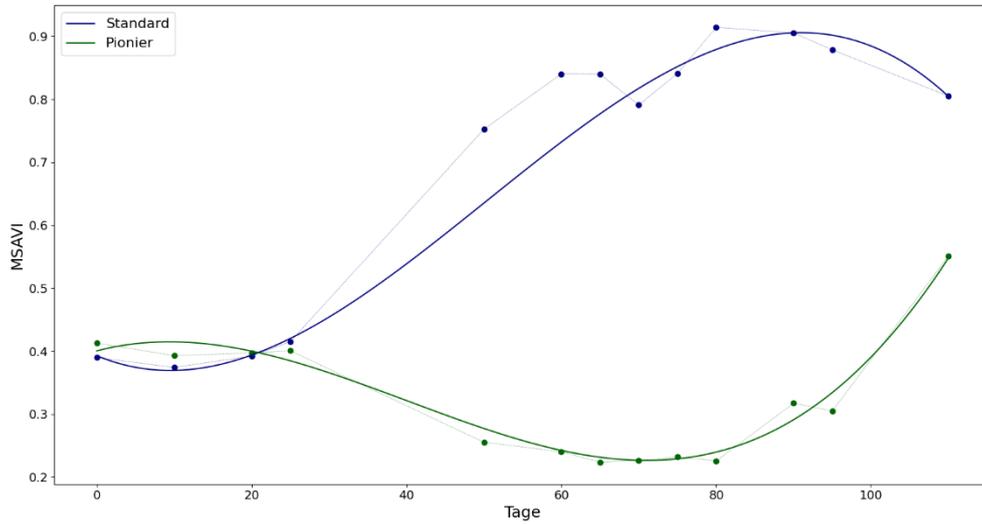
Gnauer - Winterraps - Aussaat 06.09.2021



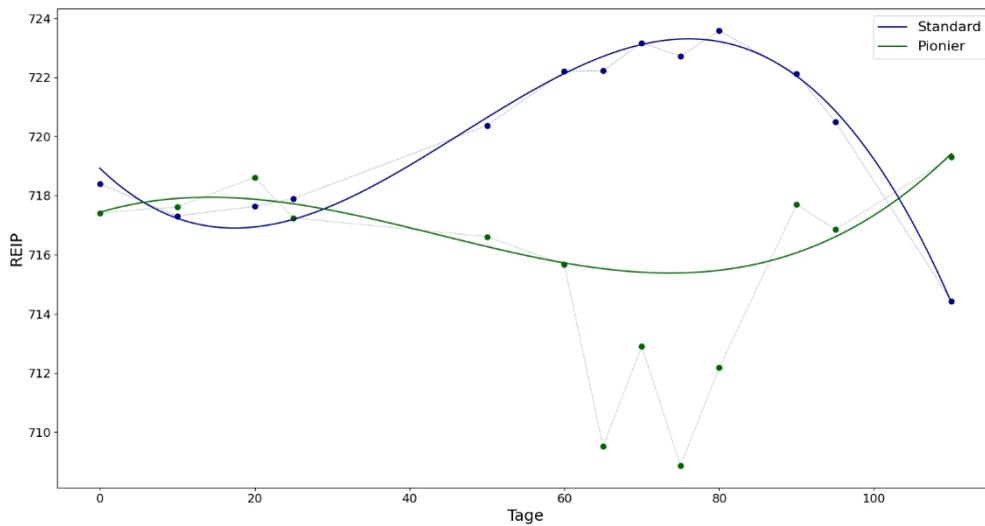
Gnauer - Winterraps - Aussaat 06.09.2021



Gnauer - Winterraps - Aussaat 06.09.2021

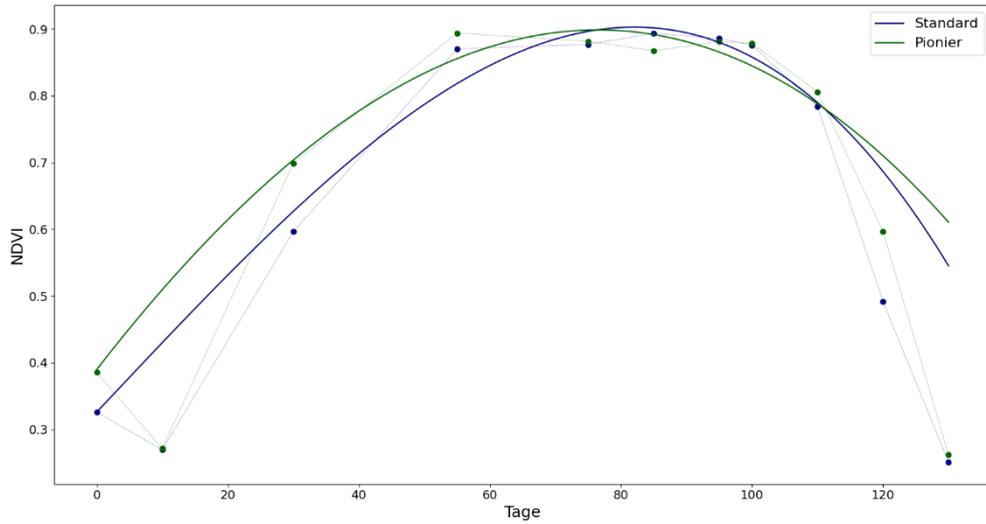


Gnauer - Winterraps - Aussaat 06.09.2021

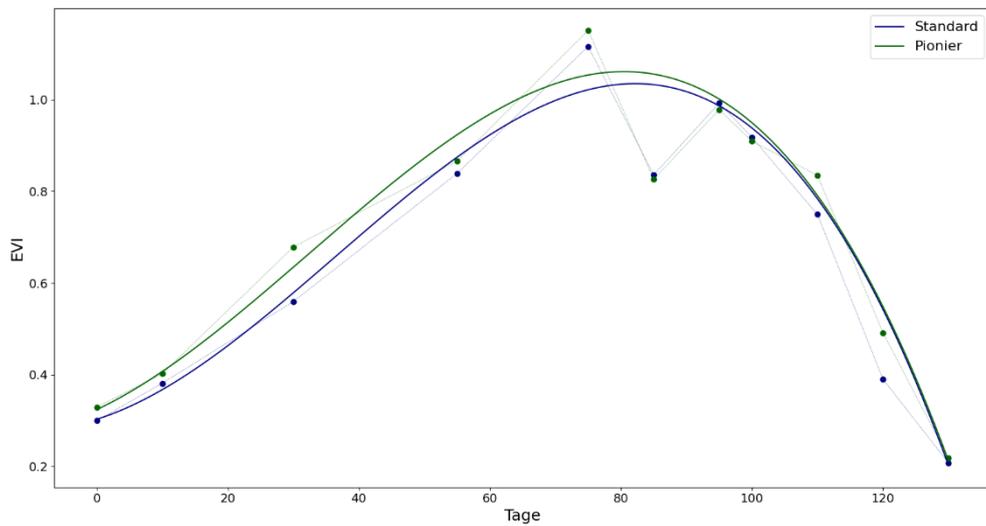


## Winterweizen - Aussaat 16.10.2022

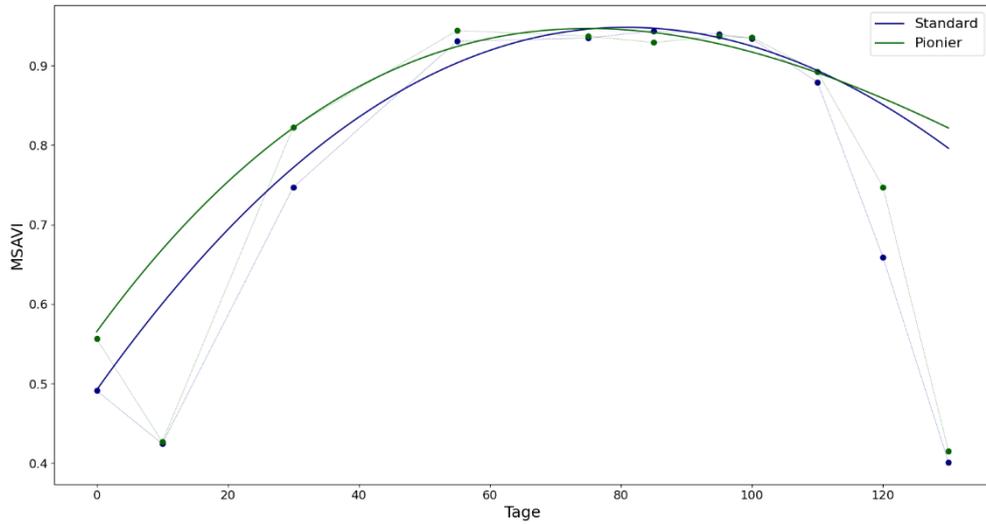
Gnauer - Winterweizen - Aussaat 16.10.2022



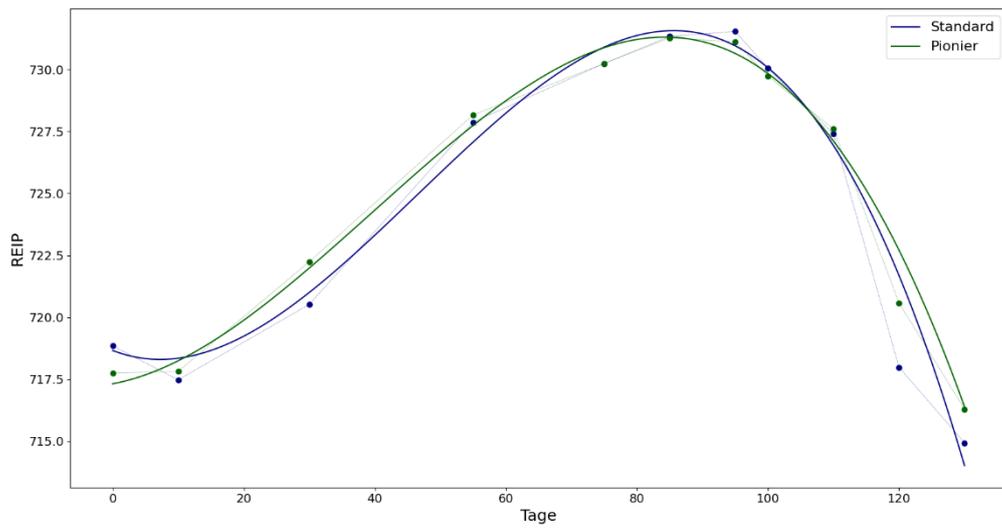
Gnauer - Winterweizen - Aussaat 16.10.2022



Gnauer - Winterweizen - Aussaat 16.10.2022

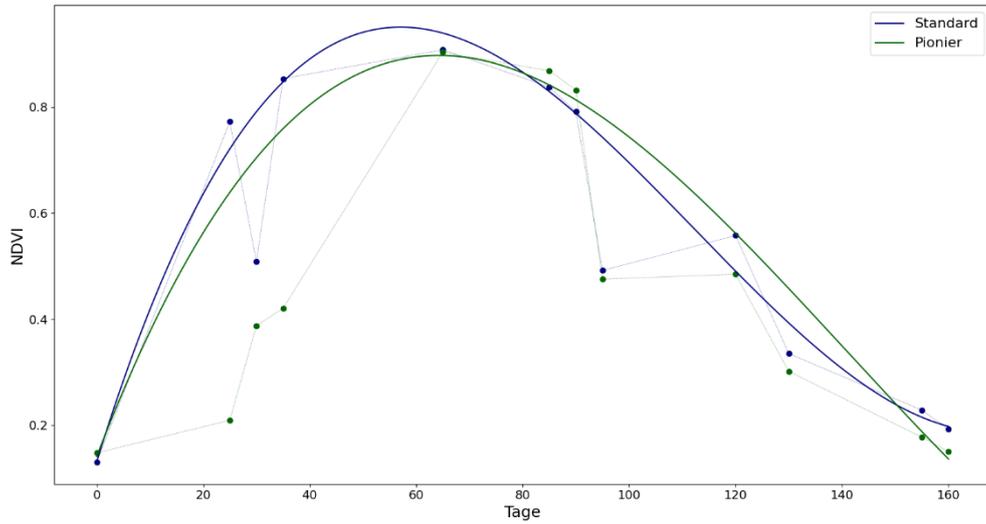


Gnauer - Winterweizen - Aussaat 16.10.2022

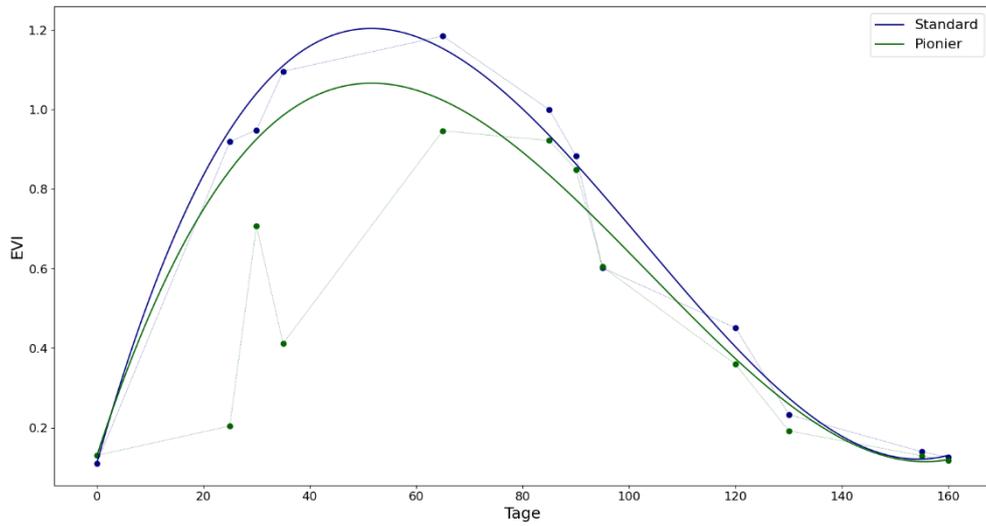


## Kartoffel - Aussaat 10.04.2024

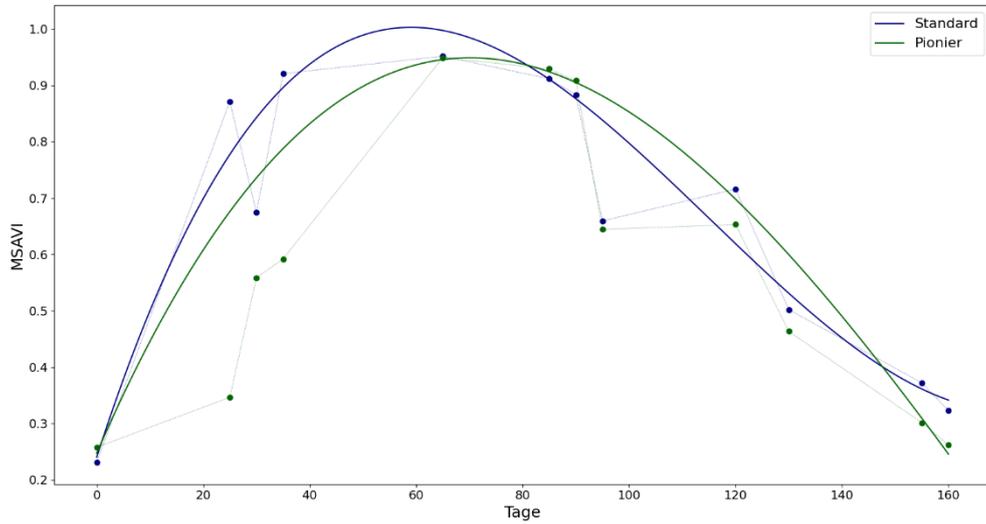
Gnauer - Kartoffel - 10.04.2024



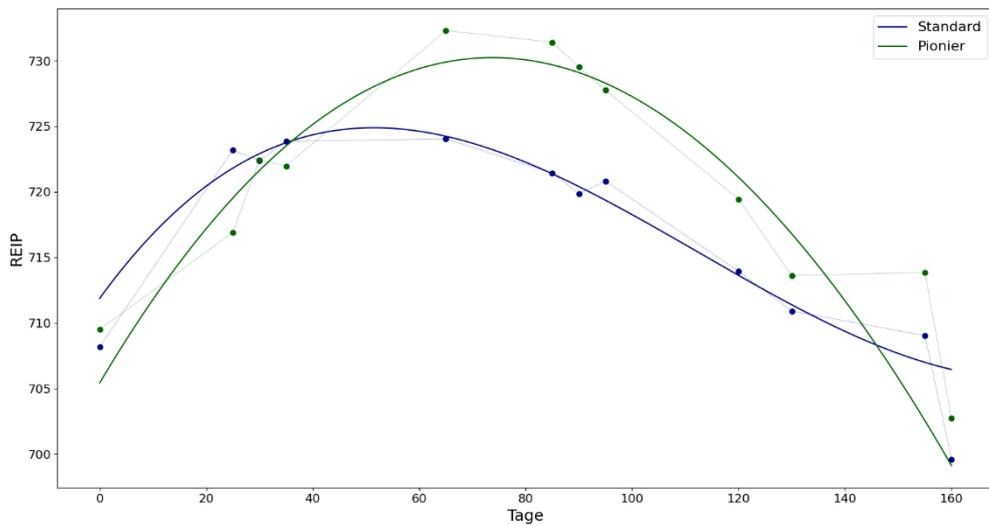
Gnauer - Kartoffel - 10.04.2024



Gnauer - Kartoffel - 10.04.2024

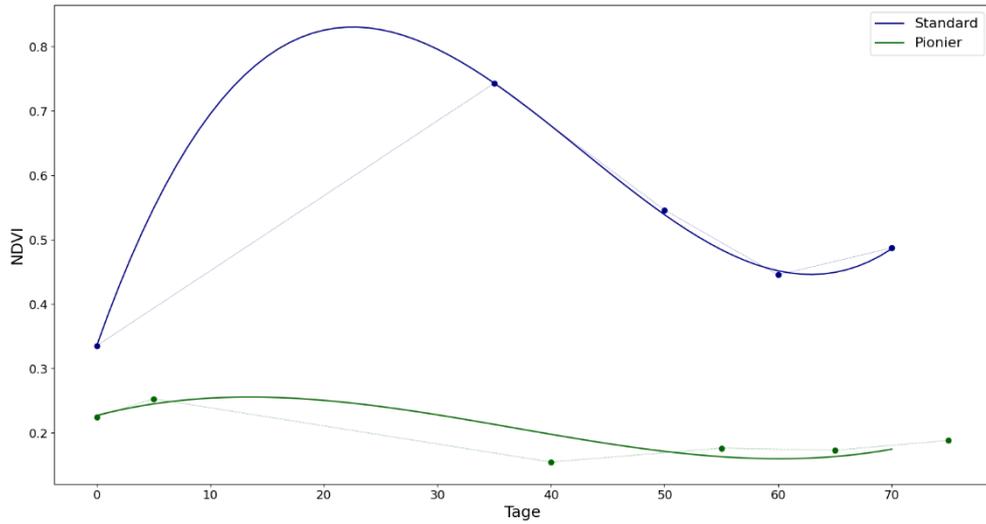


Gnauer - Kartoffel - 10.04.2024

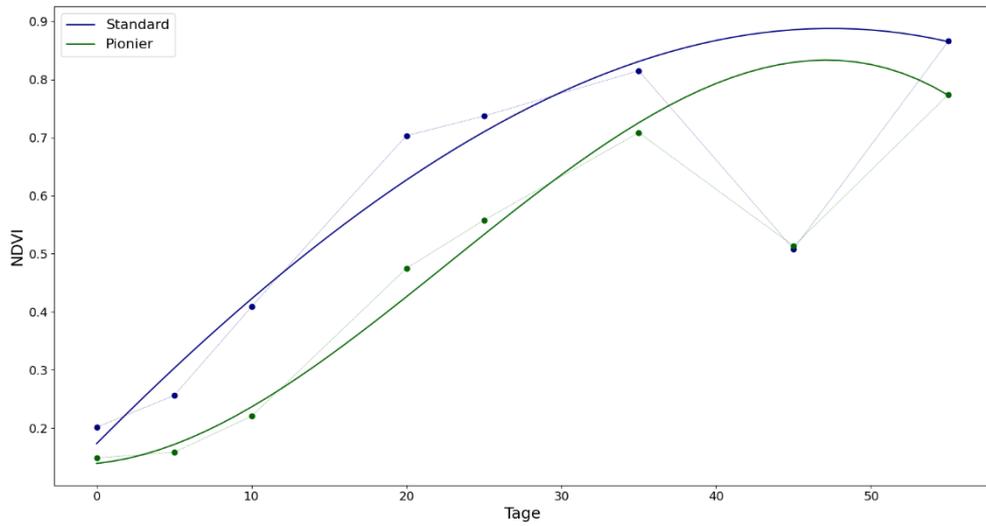


## Zwischenfrüchte

Gnauer - Zw.Frucht abfrostend - Aussaat 21.07.2022



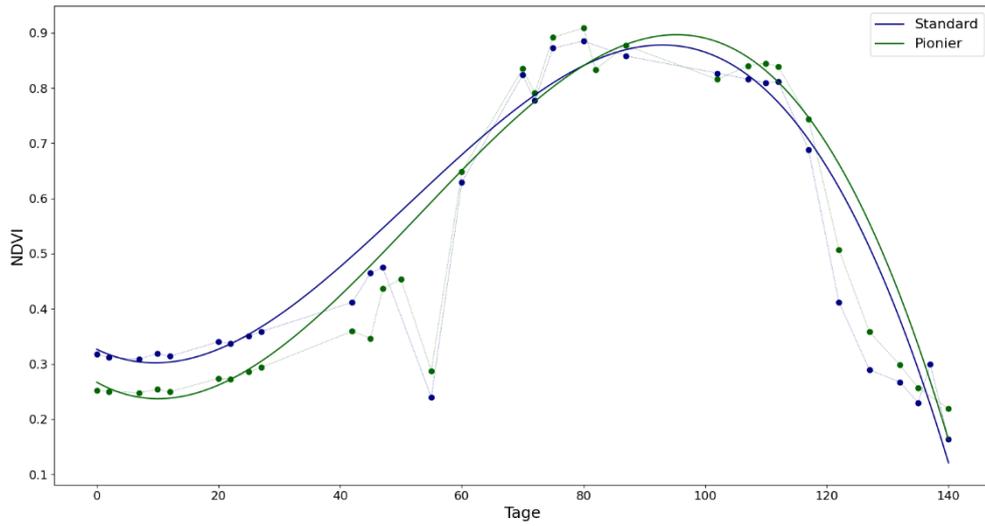
Gnauer - Zw.Frucht abfrostend - Aussaat 22.08.2023



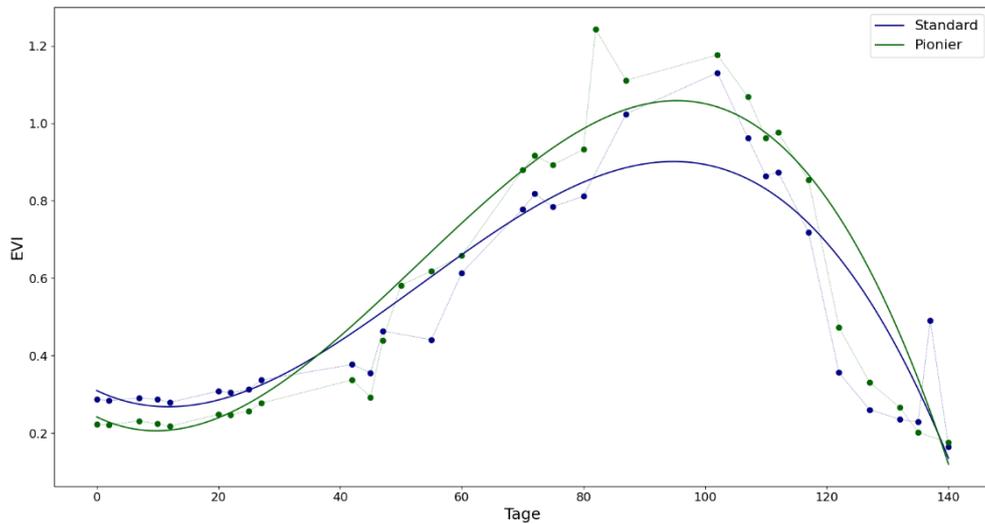
## Betrieb Mayr

### Winterweizen - Aussaat 02.10.2021

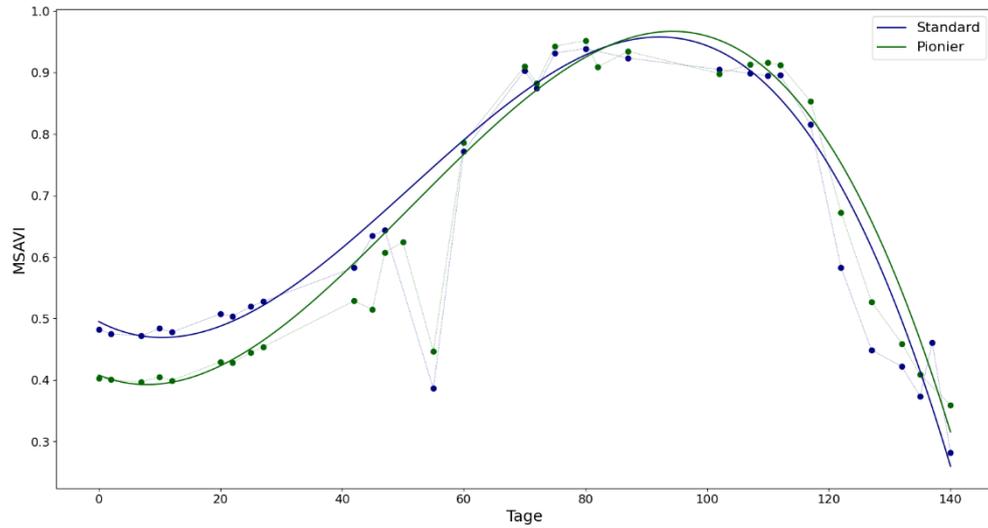
Mayr - Winterweizen - Aussaat 02.10.2021



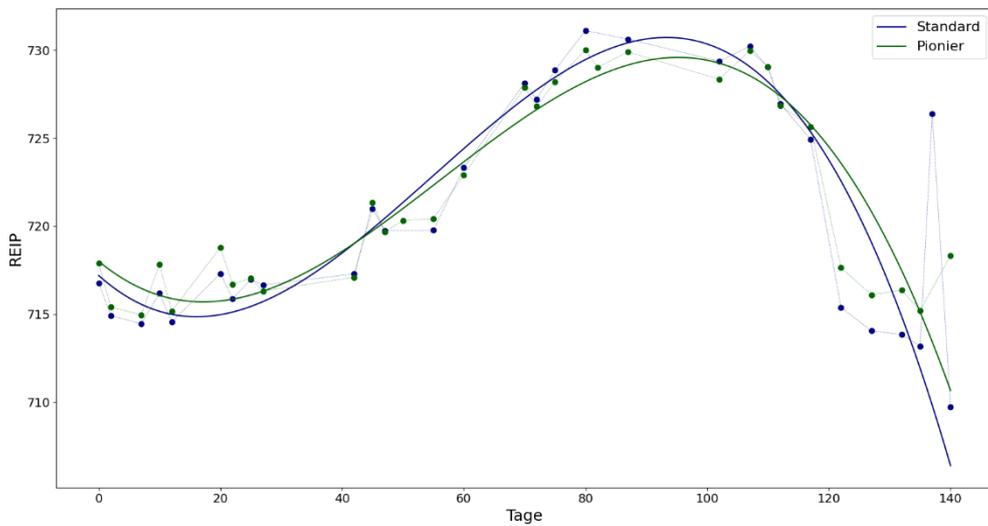
Mayr - Winterweizen - Aussaat 02.10.2021



Mayr - Winterweizen - Aussaat 02.10.2021

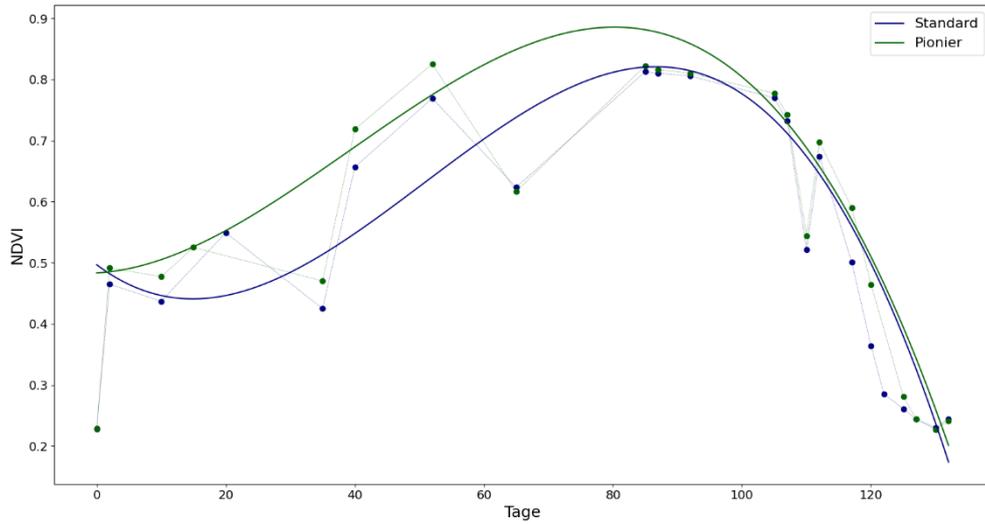


Mayr - Winterweizen - Aussaat 02.10.2021

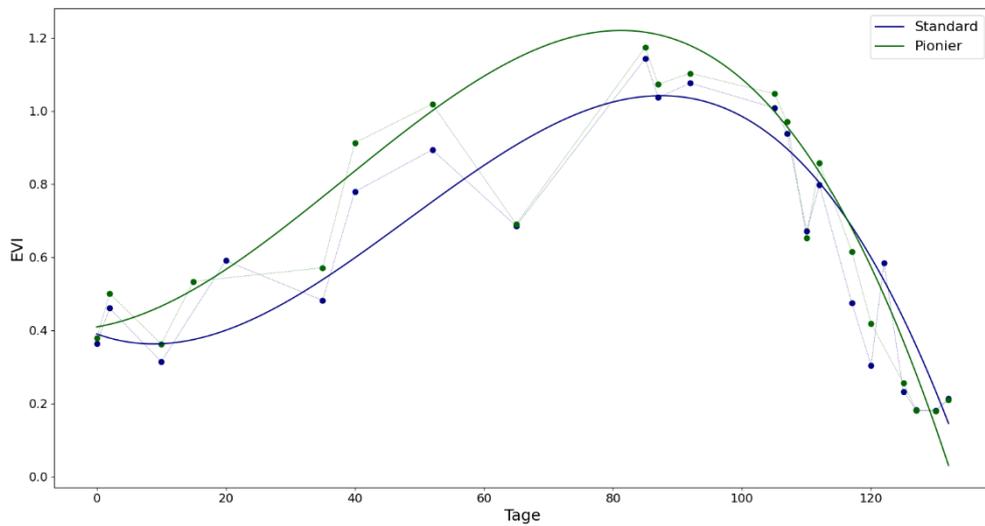


## Winterraps - Aussaat 18.08.2022

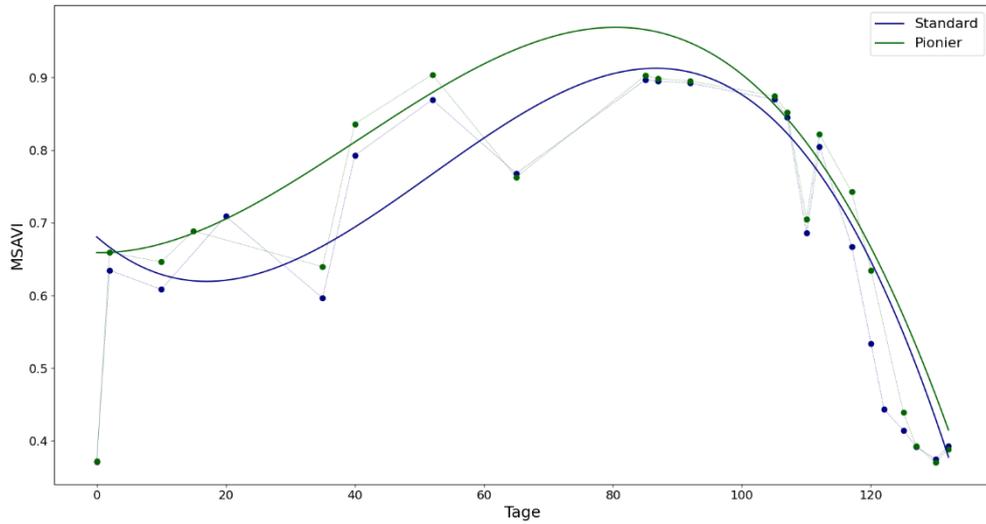
Mayr - Winterraps - Aussaat 18.08.2022



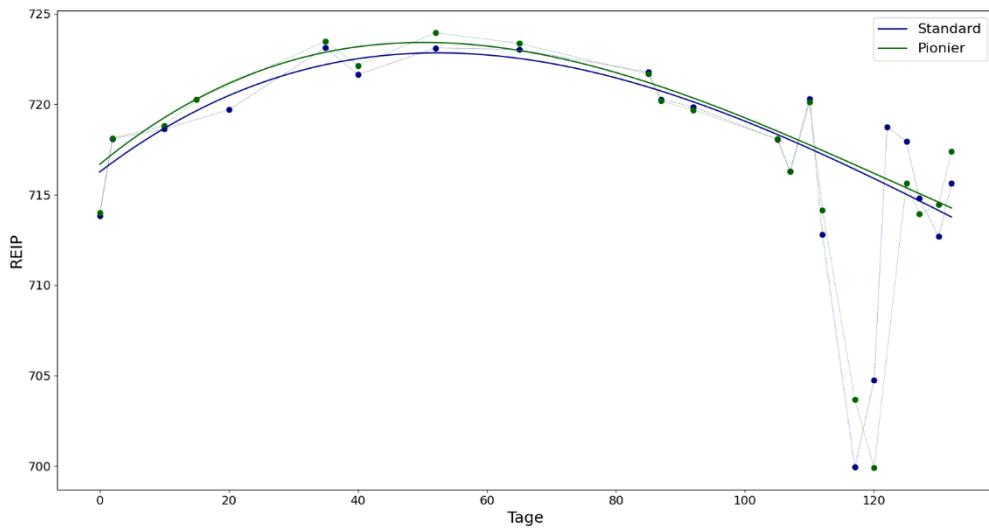
Mayr - Winterraps - Aussaat 18.08.2022



Mayr - Winterraps - Aussaat 18.08.2022

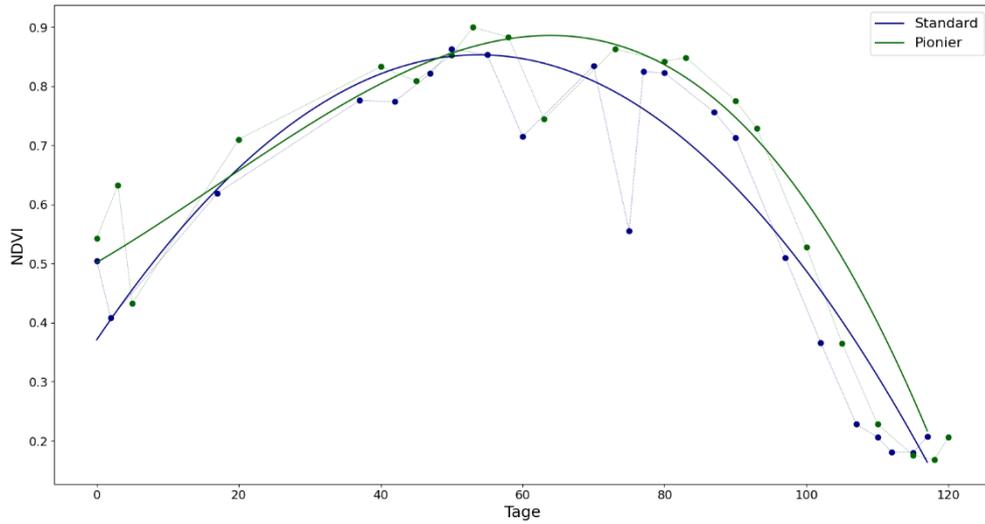


Mayr - Winterraps - Aussaat 18.08.2022

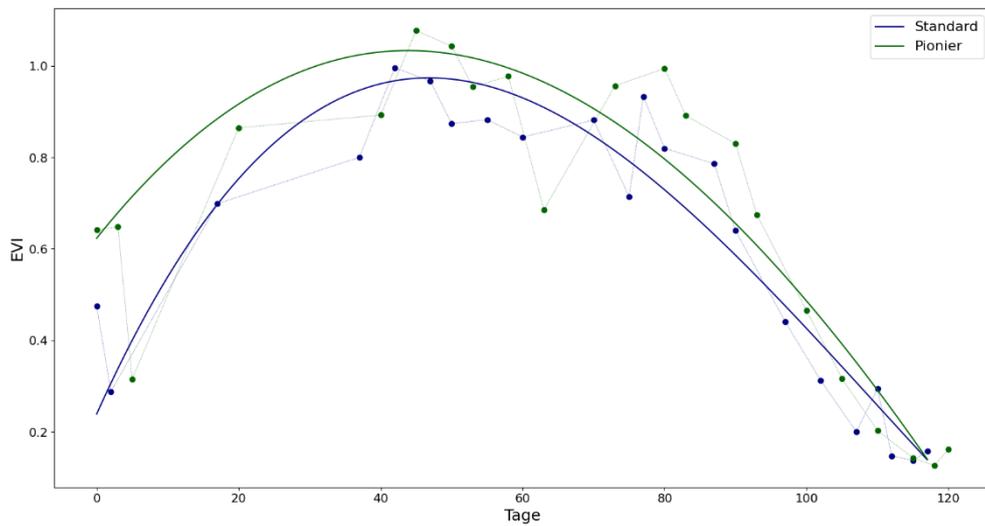


## Winterweizen - Aussaat 07.10.2023

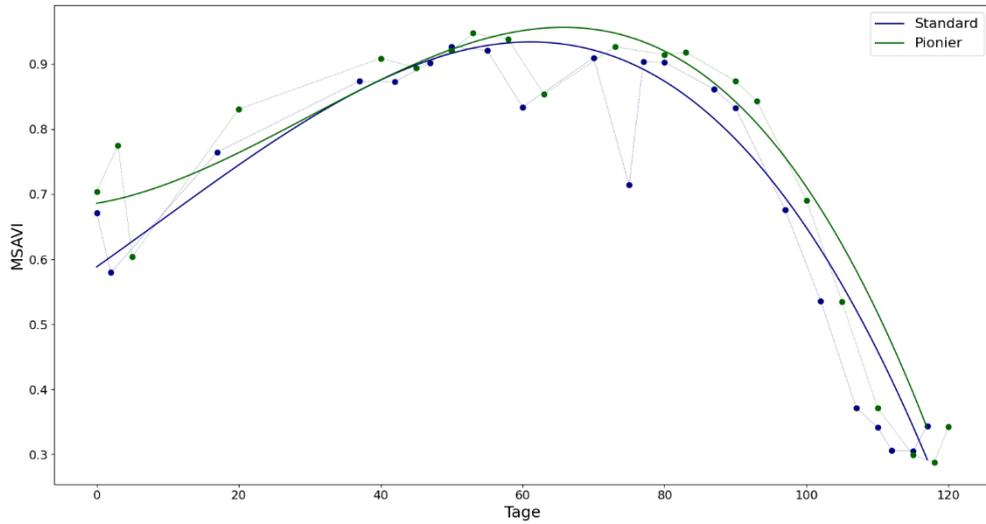
Mayr - Winterweizen - Aussaat 07.10.2023



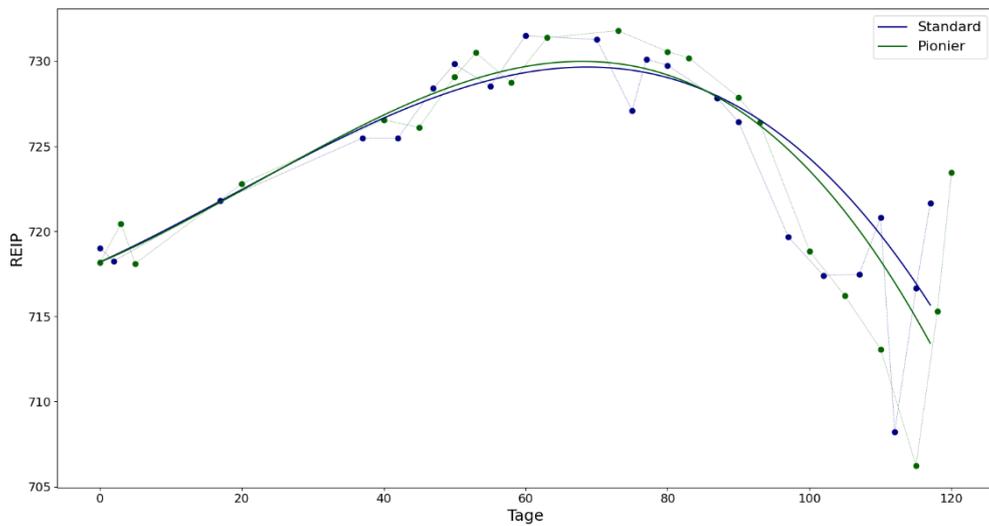
Mayr - Winterweizen - Aussaat 07.10.2023



Mayr - Winterweizen - Aussaat 07.10.2023



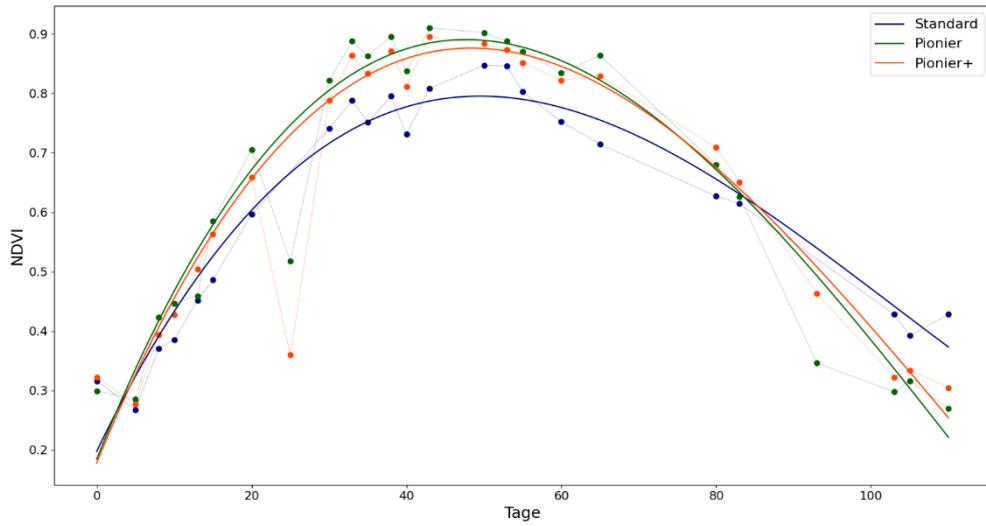
Mayr - Winterweizen - Aussaat 07.10.2023



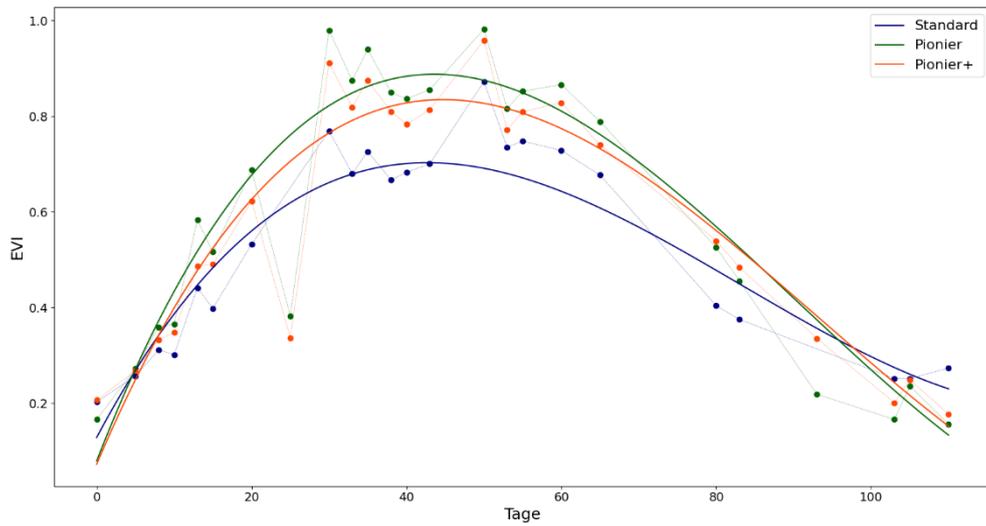
## Betrieb Schmidt

### Sojabohne - Aussaat 08.05.2022

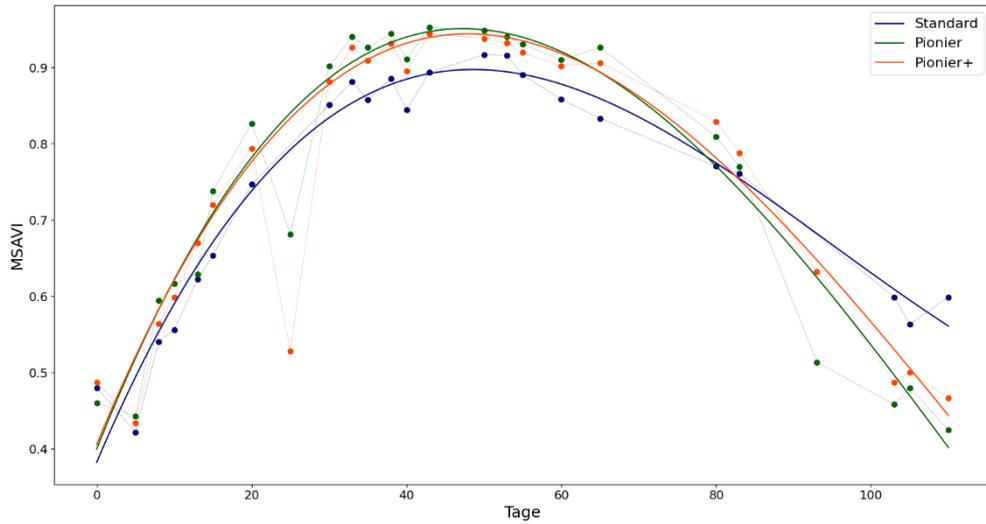
Schmidt - Sojabohne - Aussaat 08.05.2022



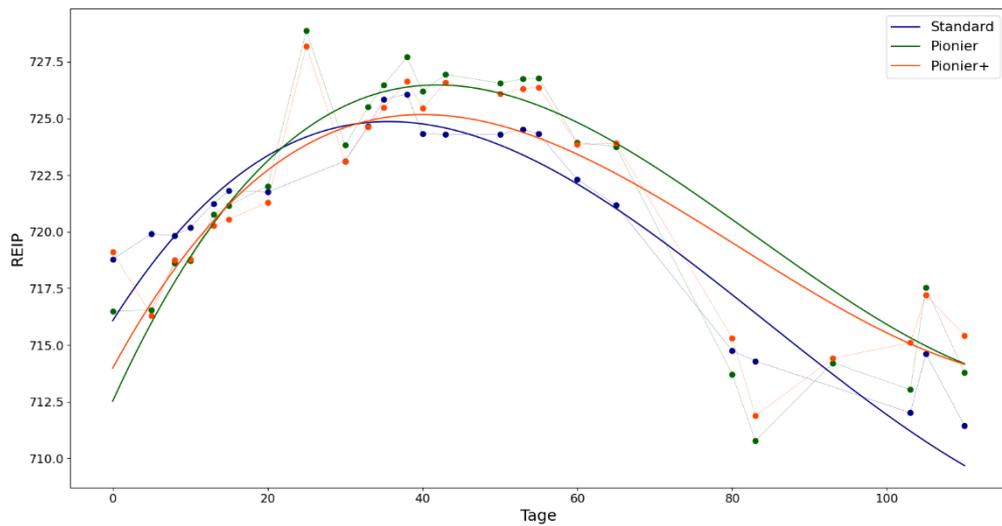
Schmidt - Sojabohne - Aussaat 08.05.2022



Schmidt - Sojabohne - Aussaat 08.05.2022

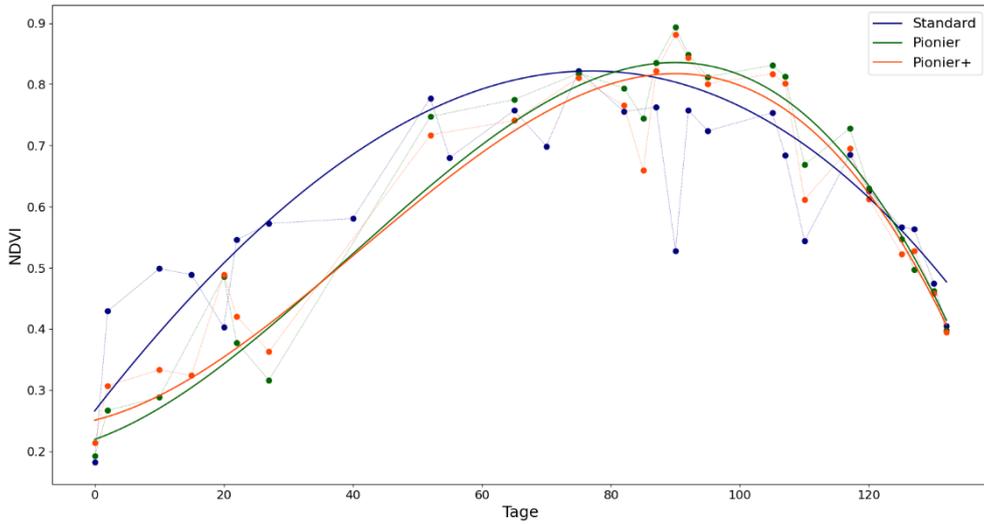


Schmidt - Sojabohne - Aussaat 08.05.2022

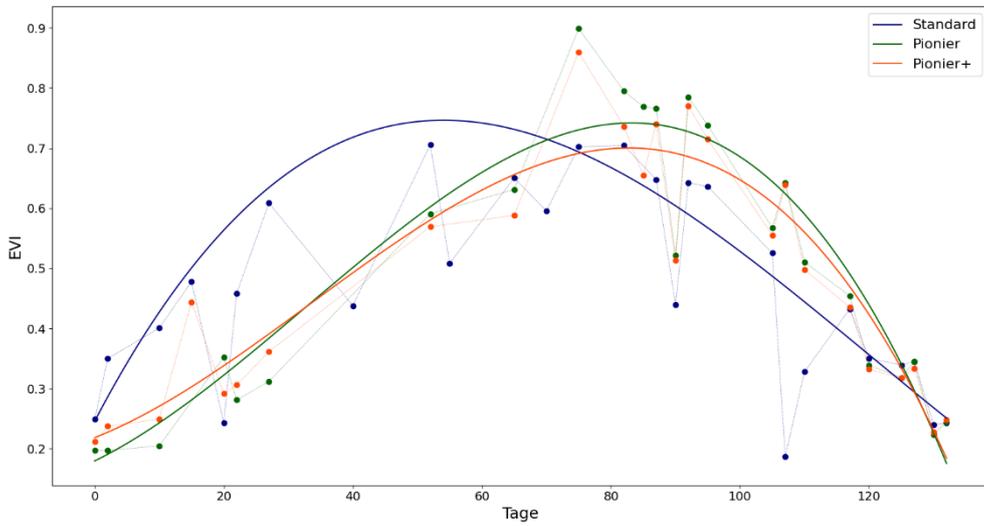


## Einkorn - Aussaat 15.10.2022

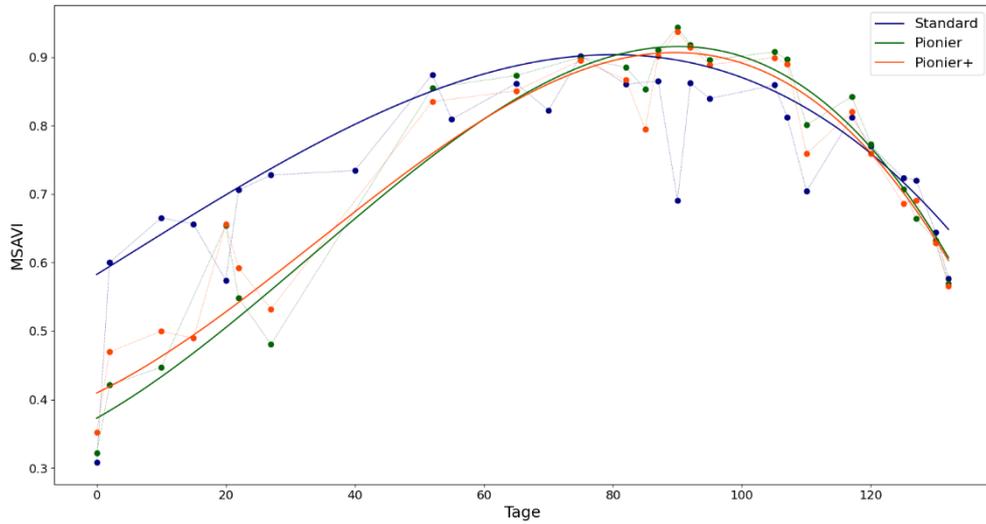
Schmidt - Einkorn - Aussaat 15.10.2022



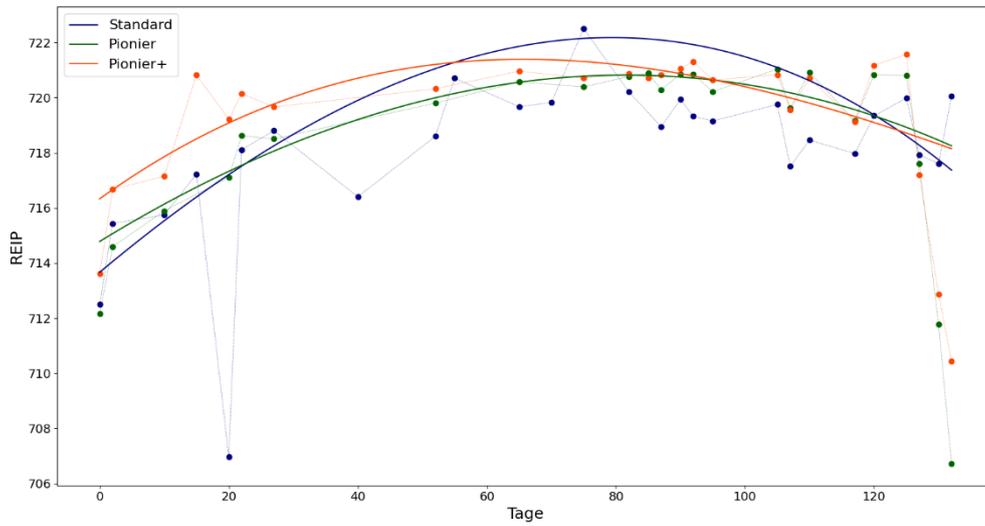
Schmidt - Einkorn - Aussaat 15.10.2022



Schmidt - Einkorn - Aussaat 15.10.2022

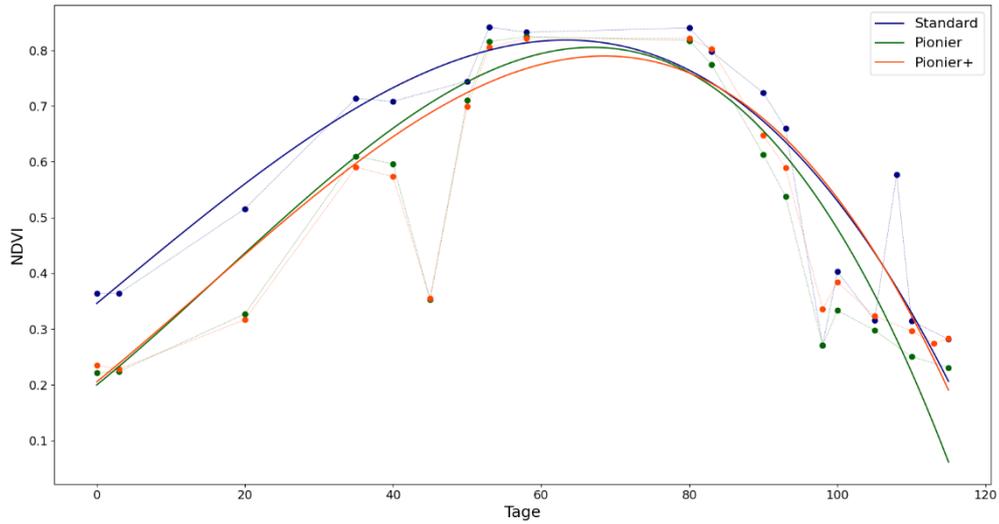


Schmidt - Einkorn - Aussaat 15.10.2022

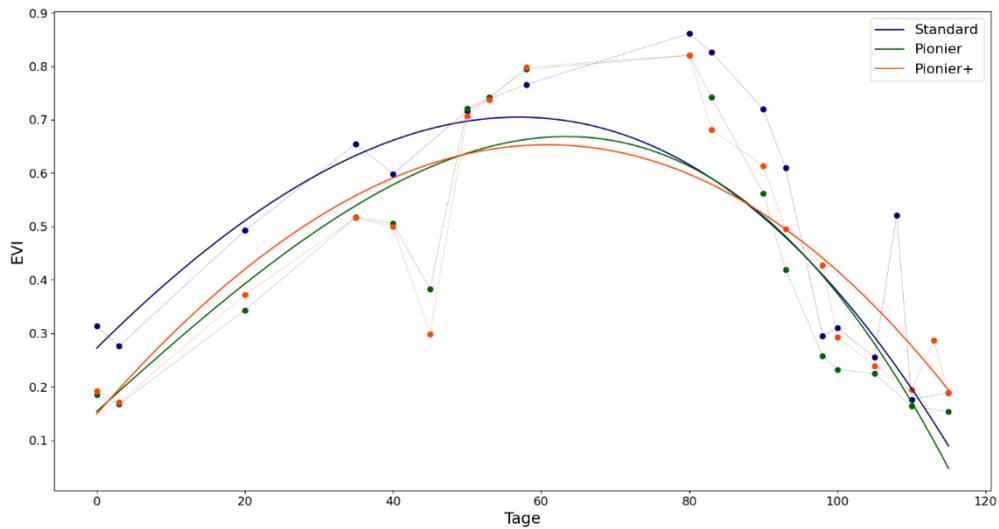


## Wintererbse - Aussaat 09.11.2023

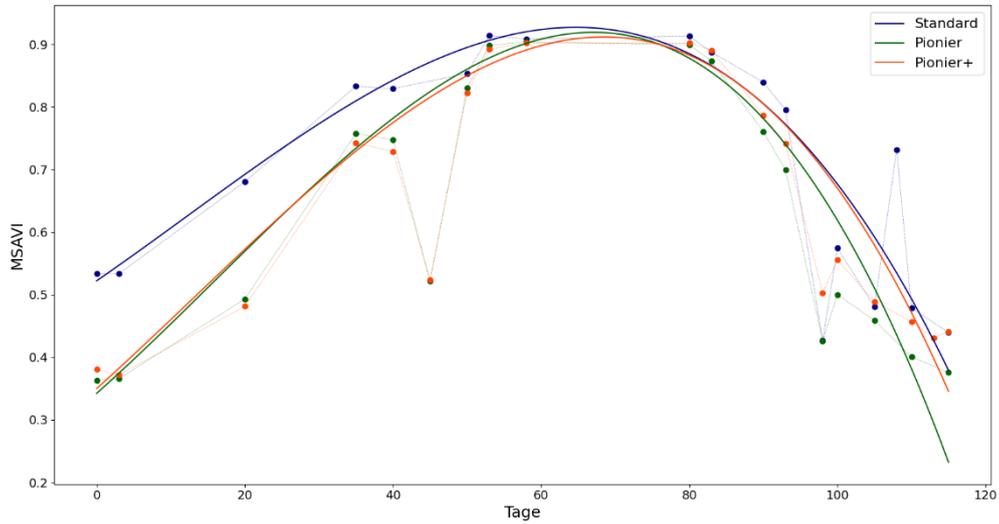
Schmidt - Wintererbse - Aussaat 09.11.2023



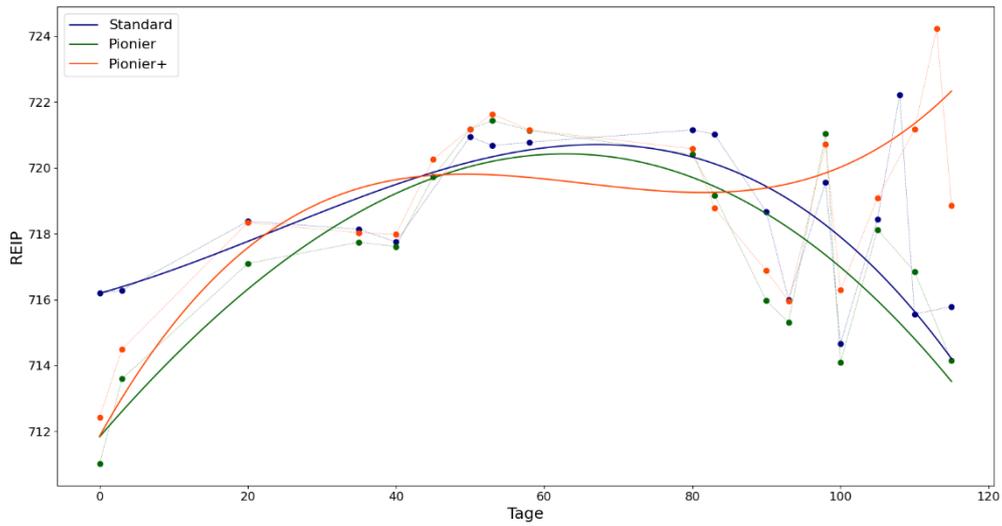
Schmidt - Wintererbse - Aussaat 09.11.2023



Schmidt - Wintererbse - Aussaat 09.11.2023



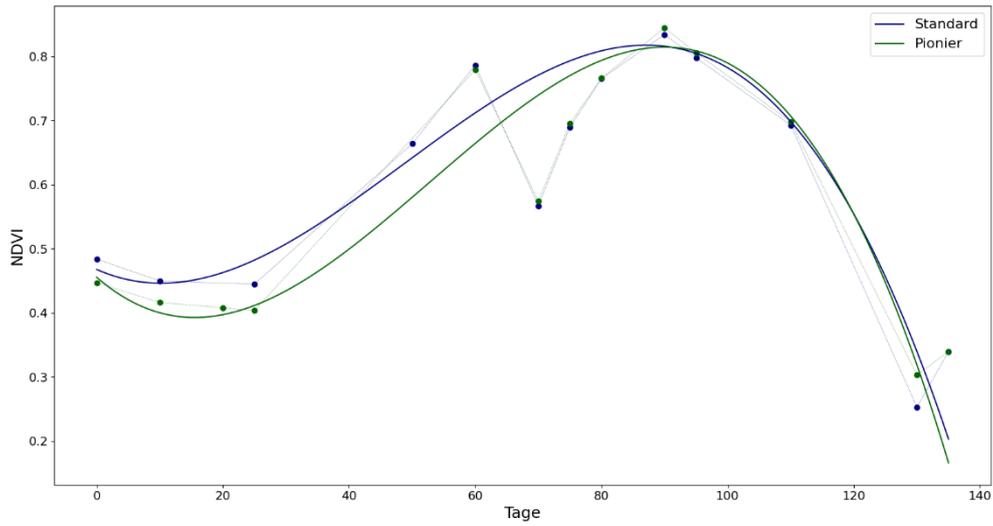
Schmidt - Wintererbse - Aussaat 09.11.2023



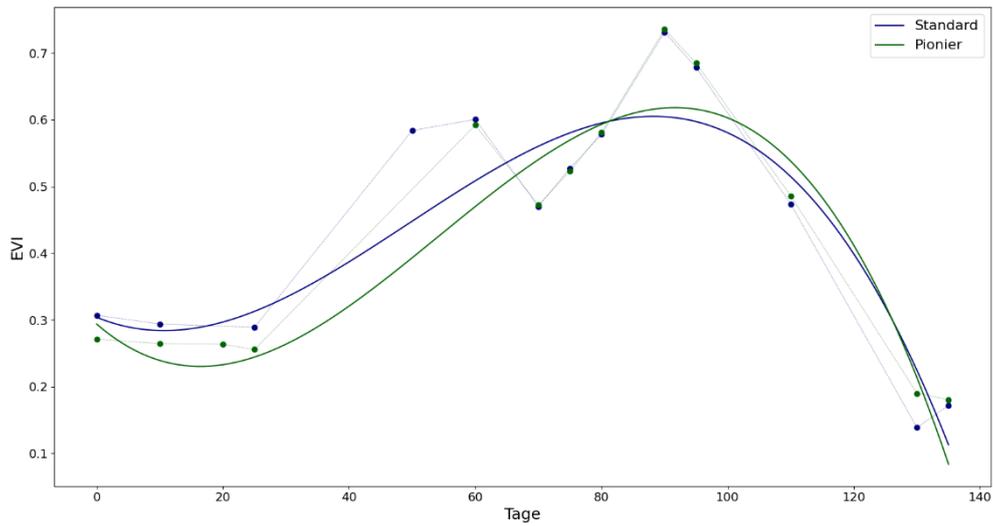
## Betrieb Winkelhofer

### Winterraps - Aussaat 18.08.2021

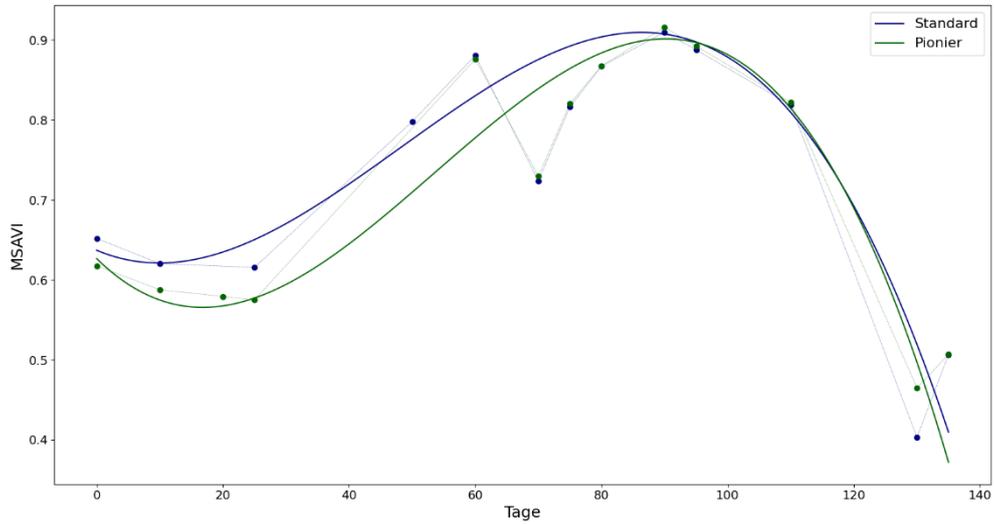
Winkelhofer - Winterraps - Aussaat 18.08.2021



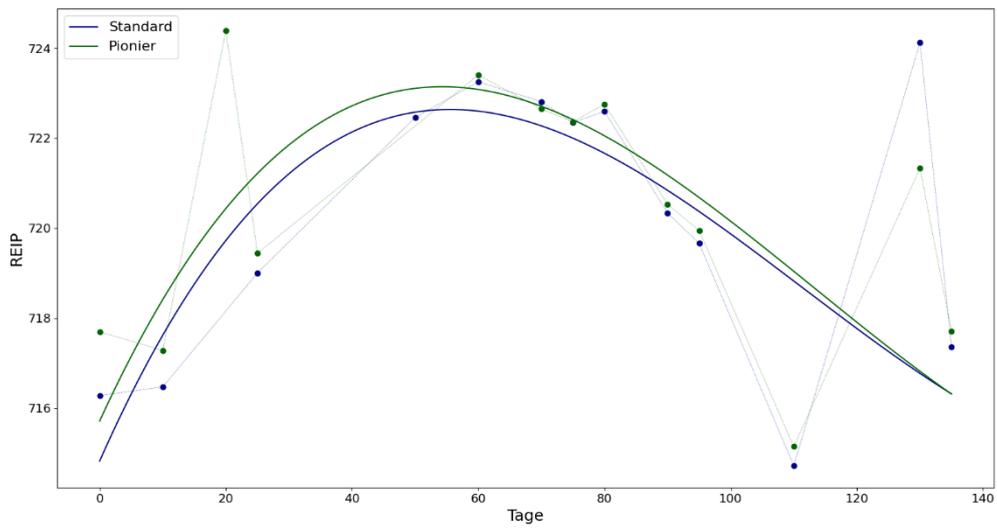
Winkelhofer - Winterraps - Aussaat 18.08.2021



Winkelhofer - Winterraps - Aussaat 18.08.2021

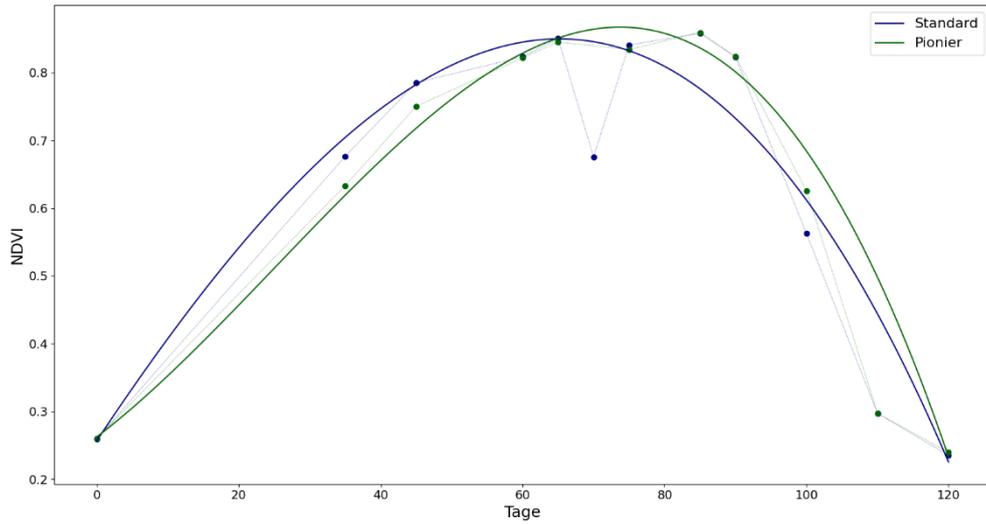


Winkelhofer - Winterraps - Aussaat 18.08.2021

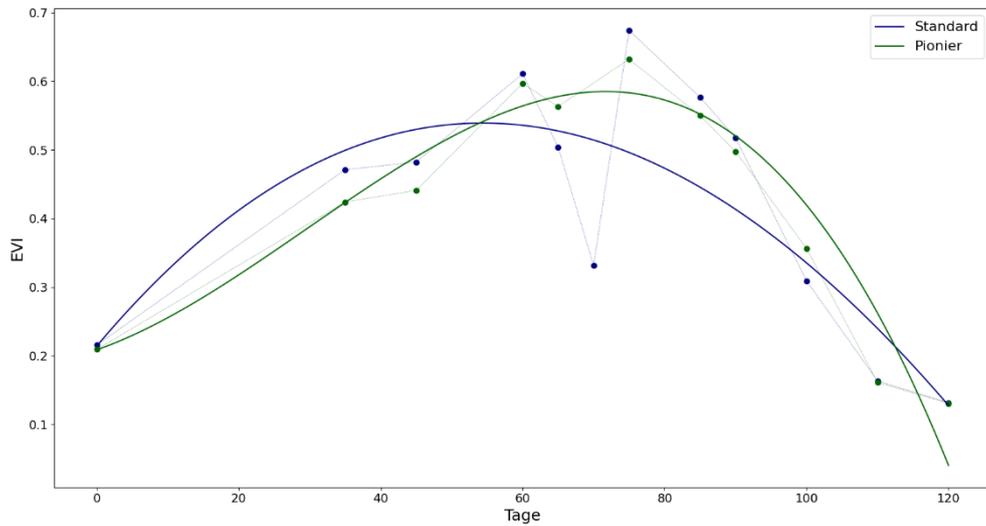


## Winterweizen - Aussaat 11.10.2022

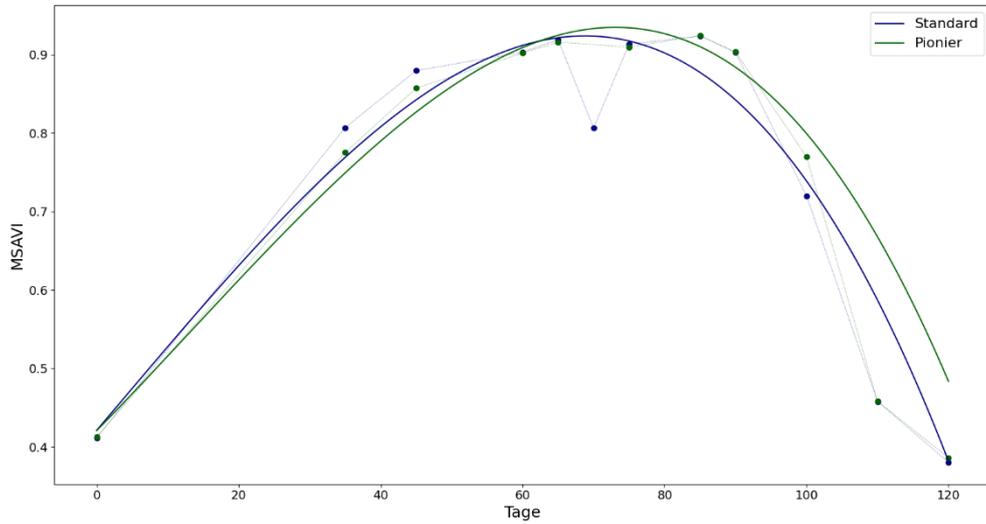
Winkelhofer - Winterweizen - Aussaat 11.10.2022



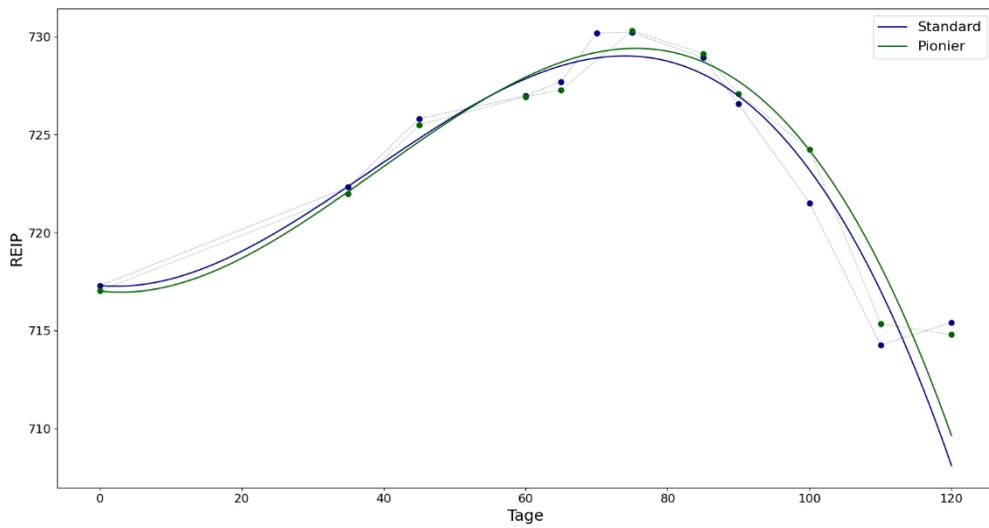
Winkelhofer - Winterweizen - Aussaat 11.10.2022



Winkelhofer - Winterweizen - Aussaat 11.10.2022

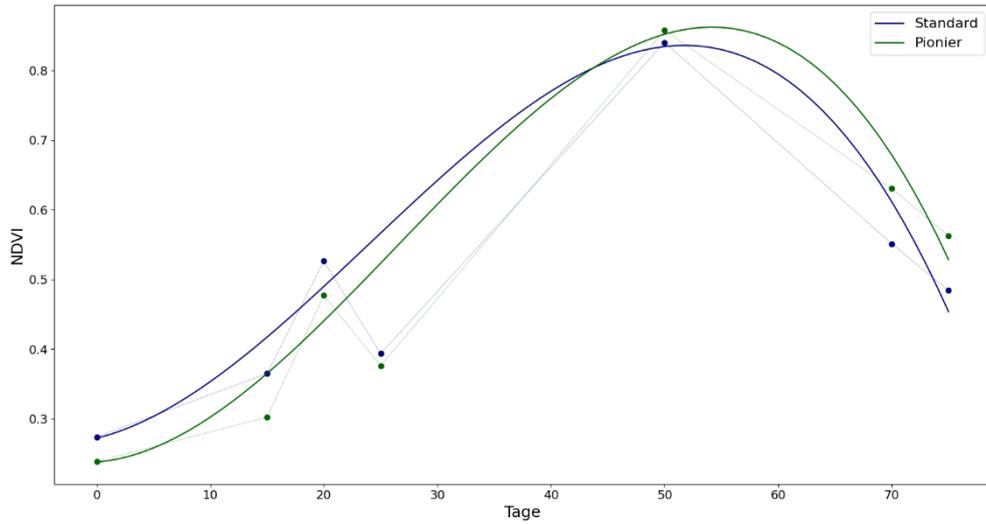


Winkelhofer - Winterweizen - Aussaat 11.10.2022

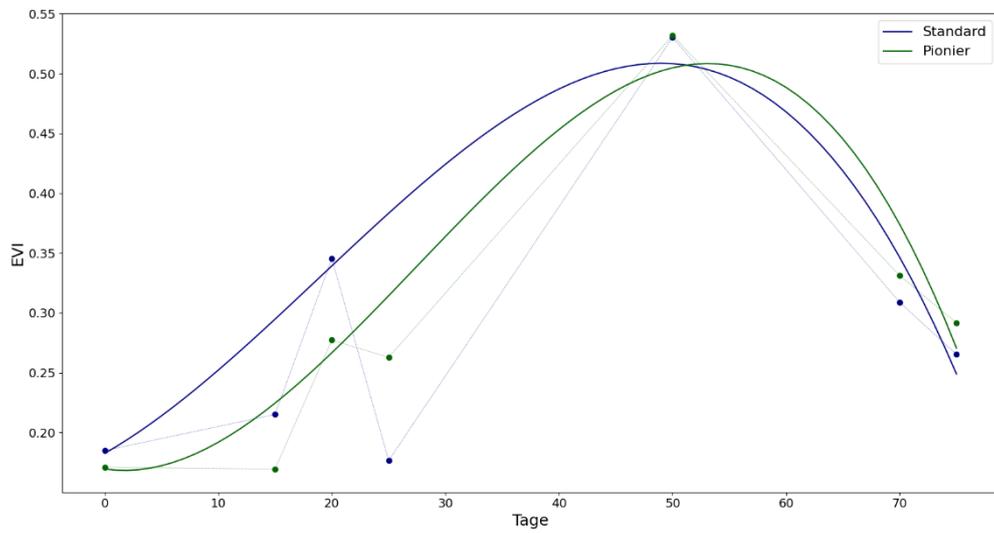


## Körnermais - Aussaat 26.04.2024

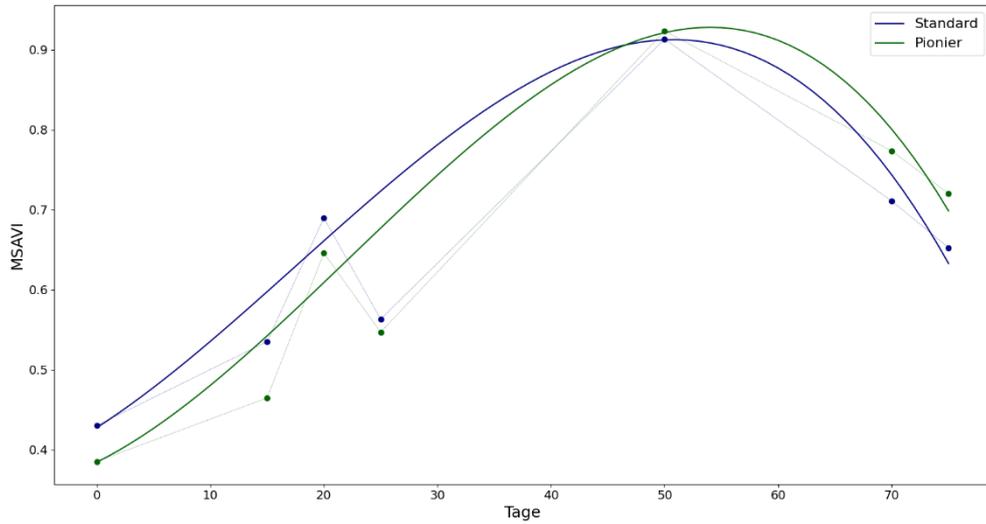
Winkelhofer - Mais - Aussaat 26.04.2024



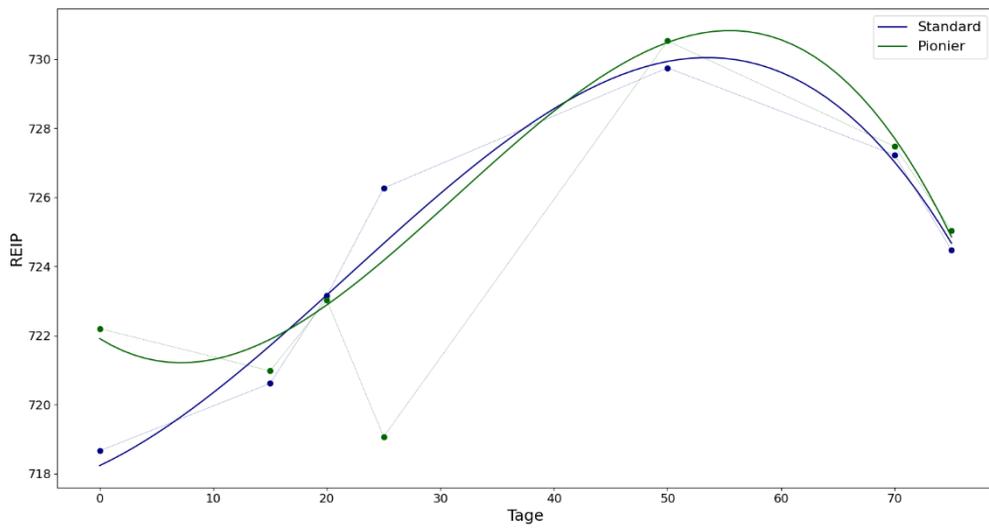
Winkelhofer - Mais - Aussaat 26.04.2024



Winkelhofer - Mais - Aussaat 26.04.2024

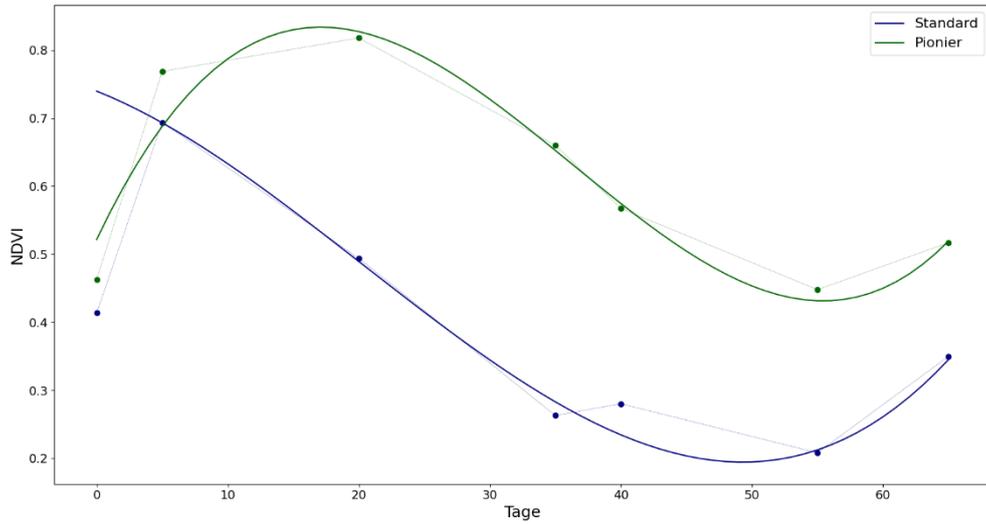


Winkelhofer - Mais - Aussaat 26.04.2024

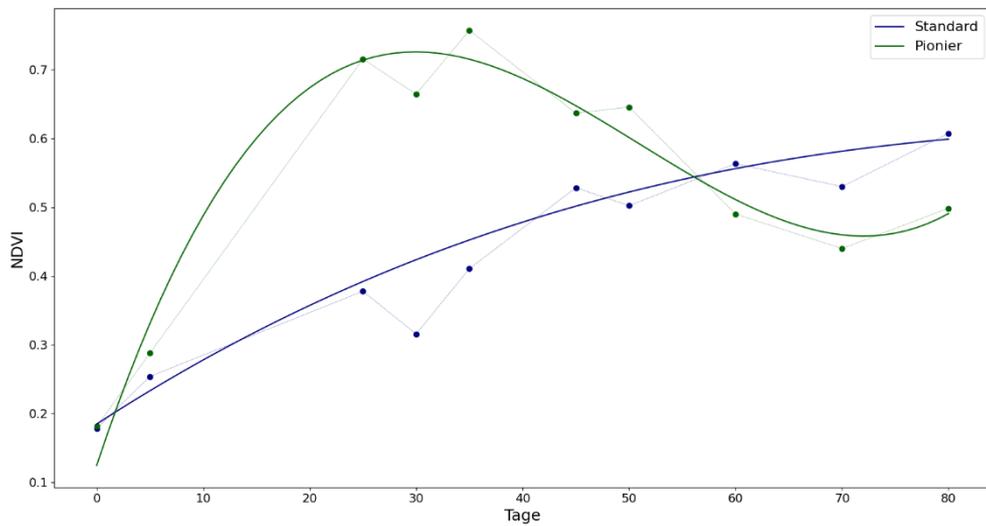


## Zwischenfrüchte

Winkelhofer - Zw.Frucht abfrostend - Aussaat 30.07.2022



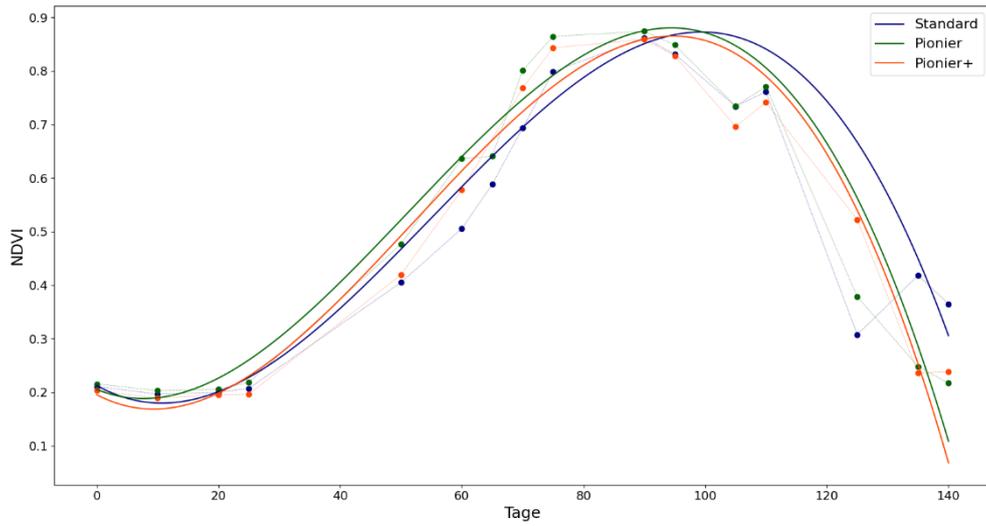
Winkelhofer - Zw.Frucht abfrostend - Aussaat 22.07.2023 Pio, 24.08.2023 Std



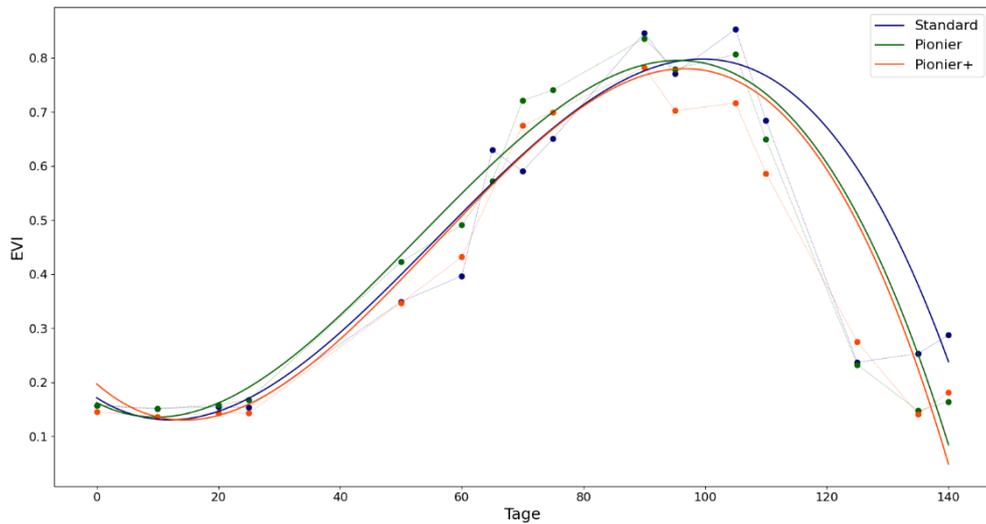
## Betrieb Zauner

### Winterweizen - Aussaat 21.10.2021

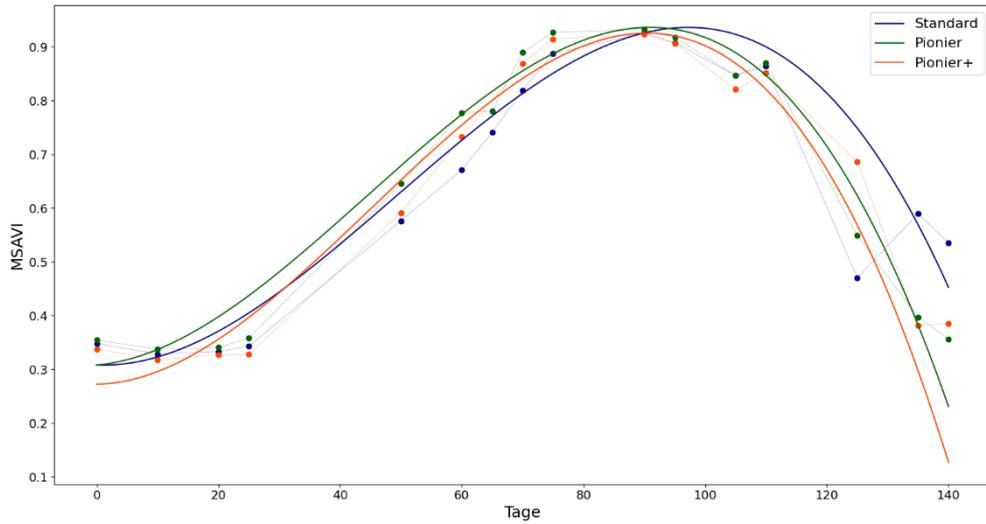
Zauner - Winterweizen - Aussaat 21.10.2021



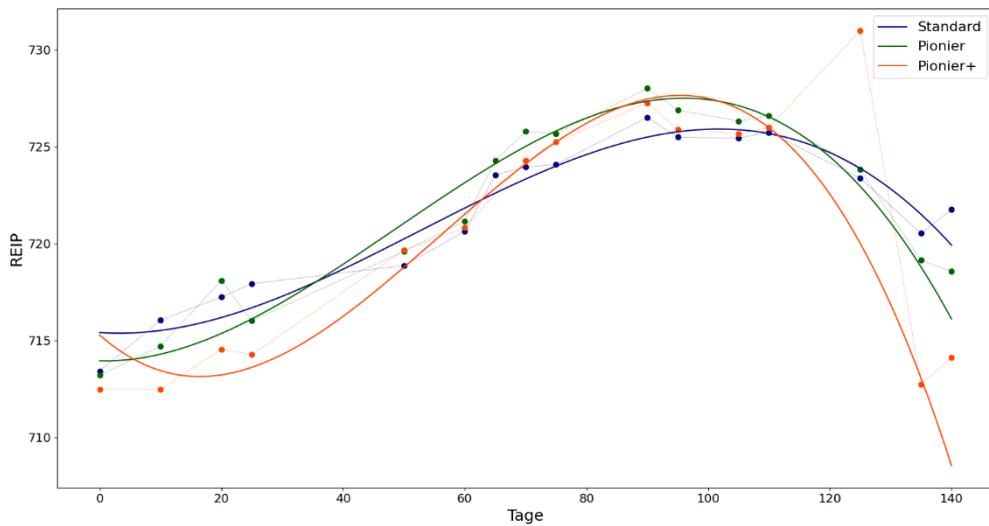
Zauner - Winterweizen - Aussaat 21.10.2021



Zauner - Winterweizen - Aussaat 21.10.2021

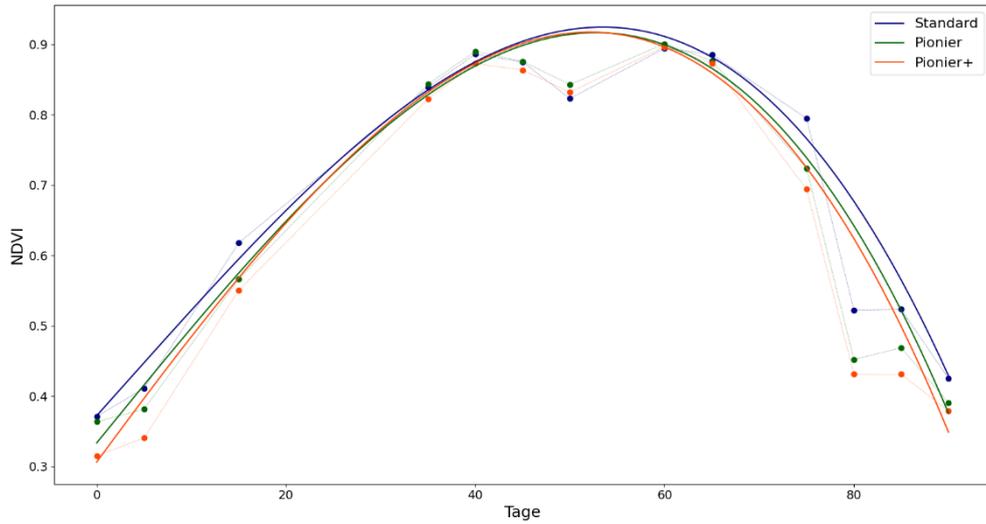


Zauner - Winterweizen - Aussaat 21.10.2021

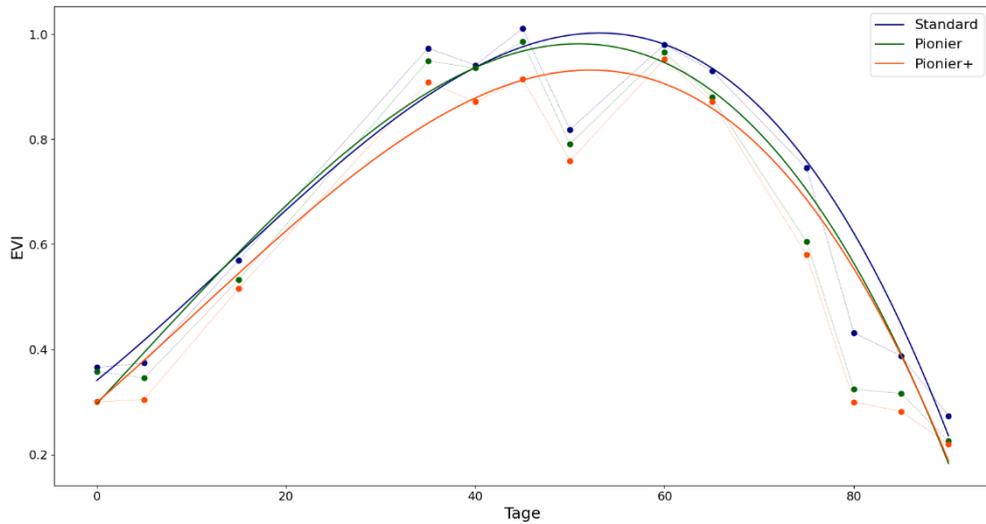


## Sojabohne - Aussaat 30.05.2023

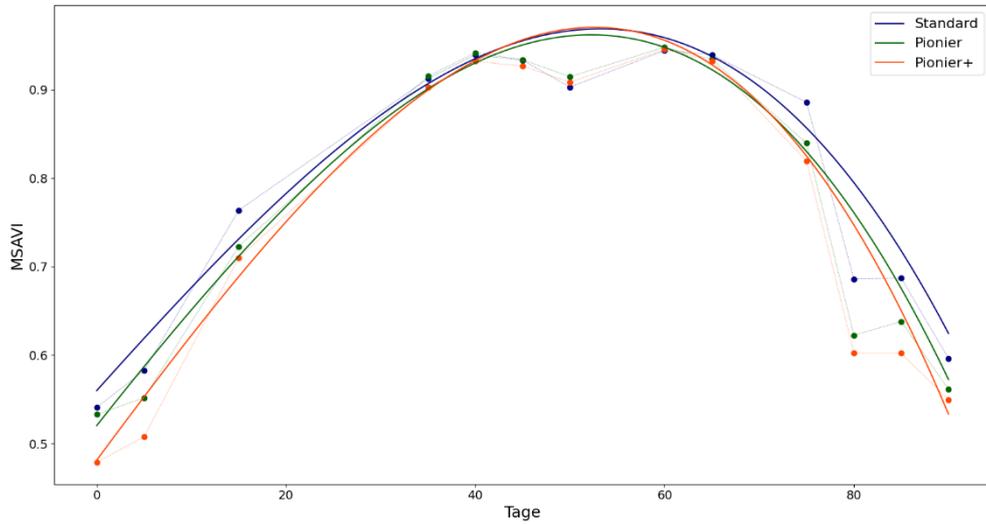
Zauner - Sojabohne - Aussaat 30.05.2023



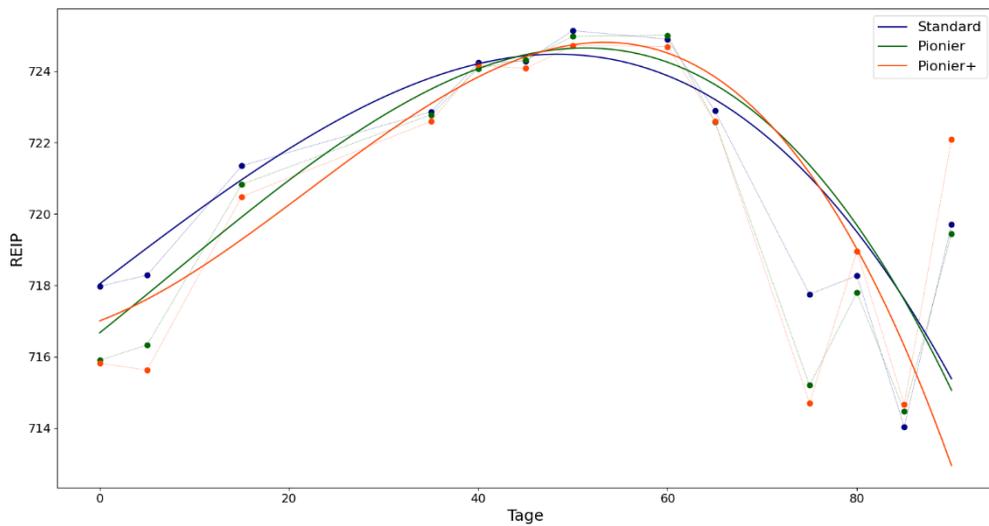
Zauner - Sojabohne - Aussaat 30.05.2023



Zauner - Sojabohne - Aussaat 30.05.2023

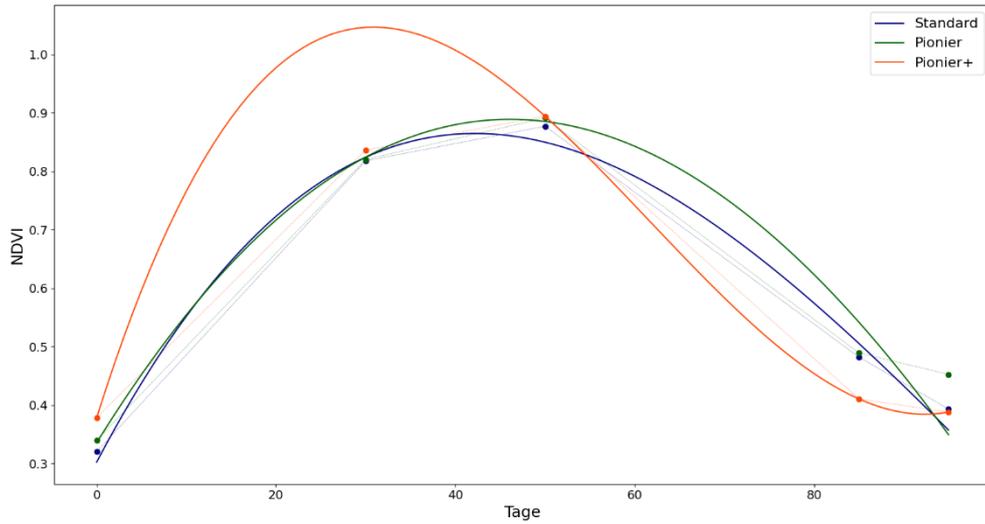


Zauner - Sojabohne - Aussaat 30.05.2023

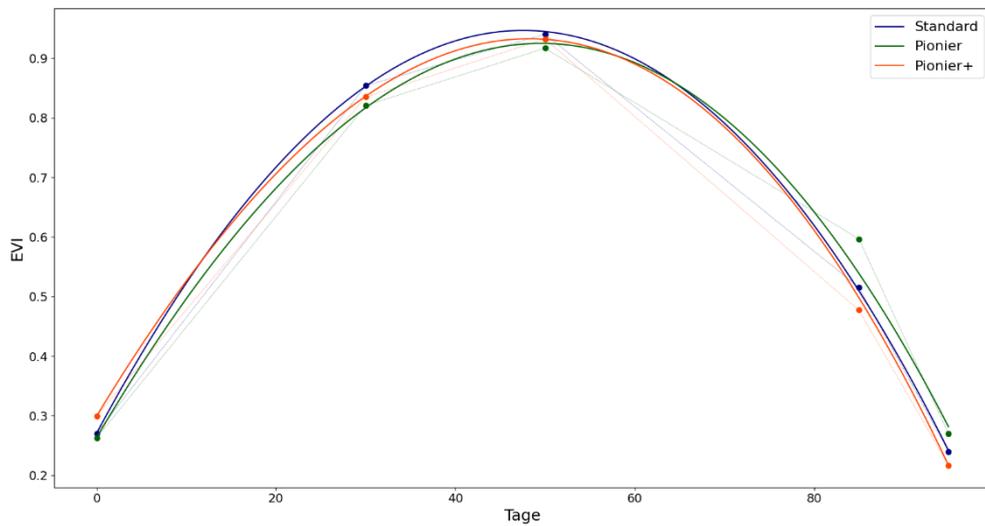


## Sojabohne - Aussaat 15.05.2024

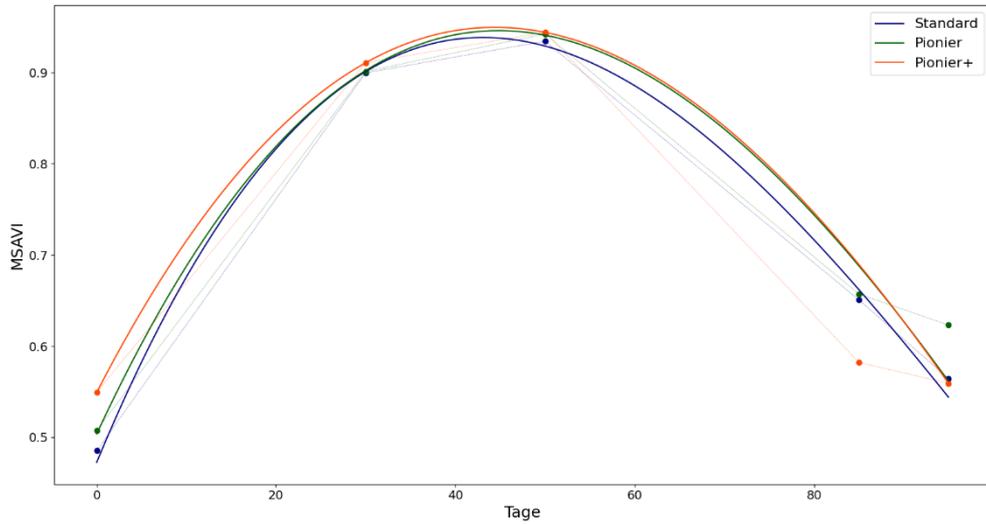
Zauner - Sojabohne - Aussaat 15.05.2024



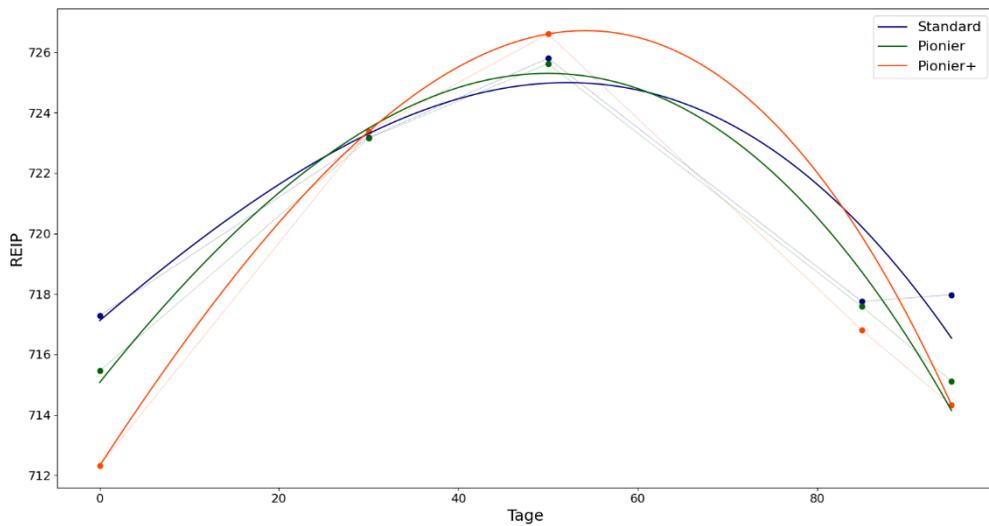
Zauner - Sojabohne - Aussaat 15.05.2024



Zauner - Sojabohne - Aussaat 15.05.2024

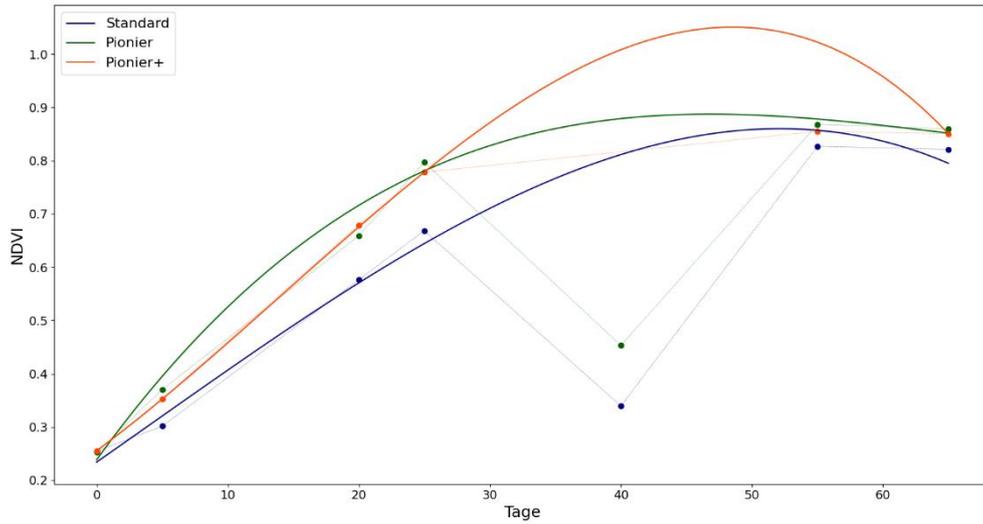


Zauner - Sojabohne - Aussaat 15.05.2024



## Zwischenfrüchte

Zauner - Zw.Frucht abfrostend - Aussaat 22.07.2022



Zauner - Zw.Frucht winterhart - Aussaat 05.10.2023

