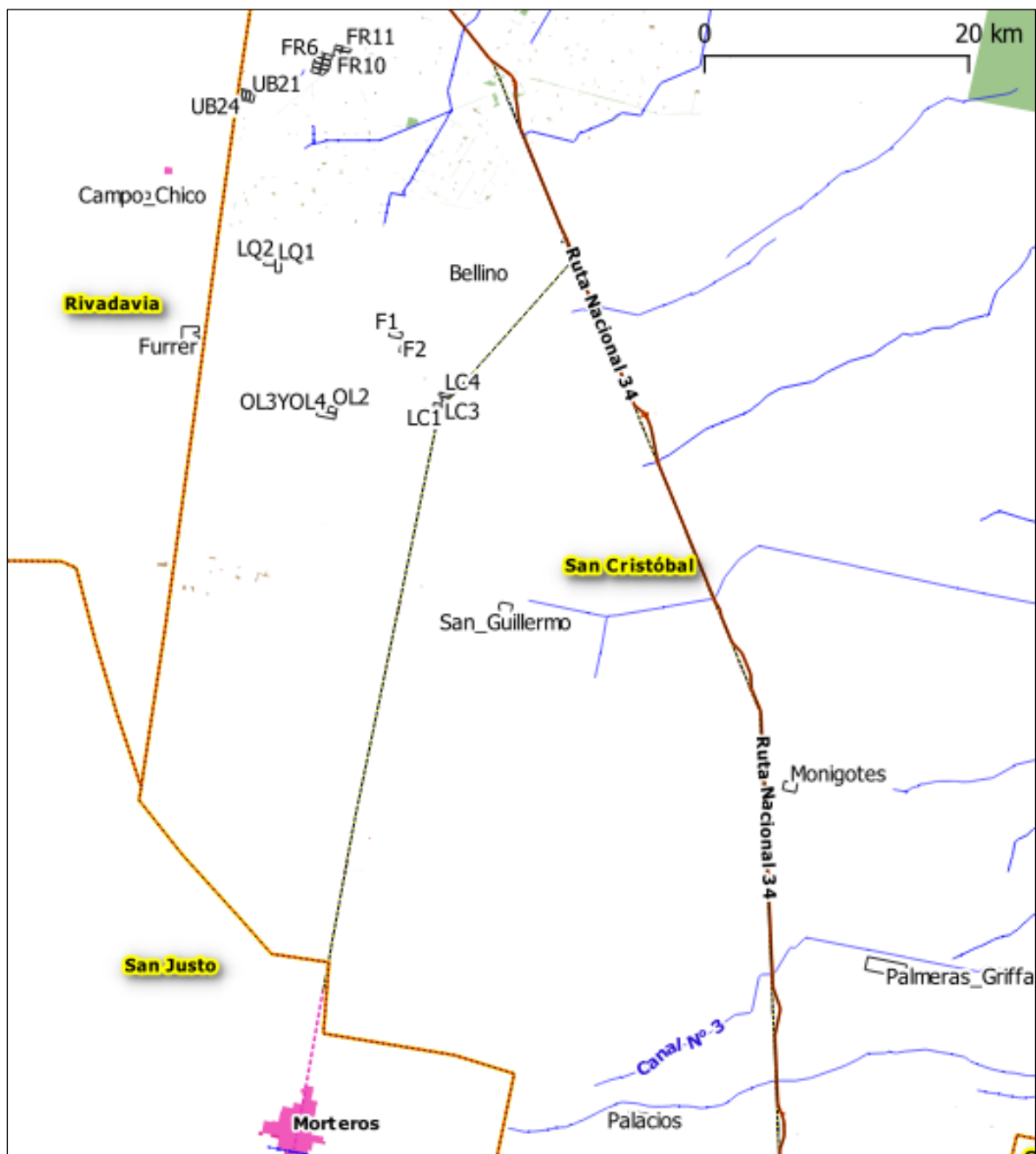


## Ertragsvorhersage mit Sentinel-1 SAR Daten in Argentinien

**Beobachtungsgebiet:** Die Daten stammen von mehreren Betrieben und Flächen aus der Santa Fé Provinz und wurden nach der Ernte auf einer Feldwaage gewogen. Wiegedaten sind verlässlicher als Daten von Mähreschern, die üblicherweise zunächst bereinigt und normalisiert werden müssen. Wir bekamen Daten von verschiedenen Kulturen wie Weizen, Mais, Sorghum (Hirse), Sonnenblumen und Soyabohnen.

Die Ertragsvorhersage basiert auf Sentinel-1 SAR Daten und dem davon abgeleiteten ESVI. Sentinel-1 misst die Struktur and Feuchte der oberirdischen Vegetation. Die Daten können als proxy für Frischmasse betrachtet werden. Wir wandeln die beiden Polarisationen VV und VH in einen Vegetations Index (ESVI) um, der seinerseits direkt in eine Ertragsvorhersage transformiert werden kann. Die Übersichtskarte zeigt die Verteilung der einzelnen Flächen.



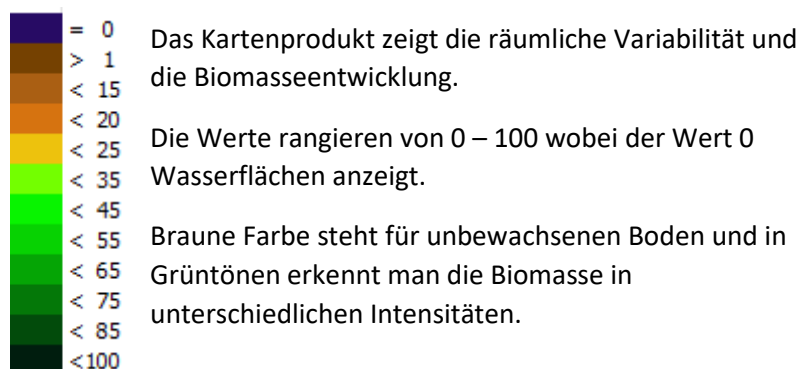
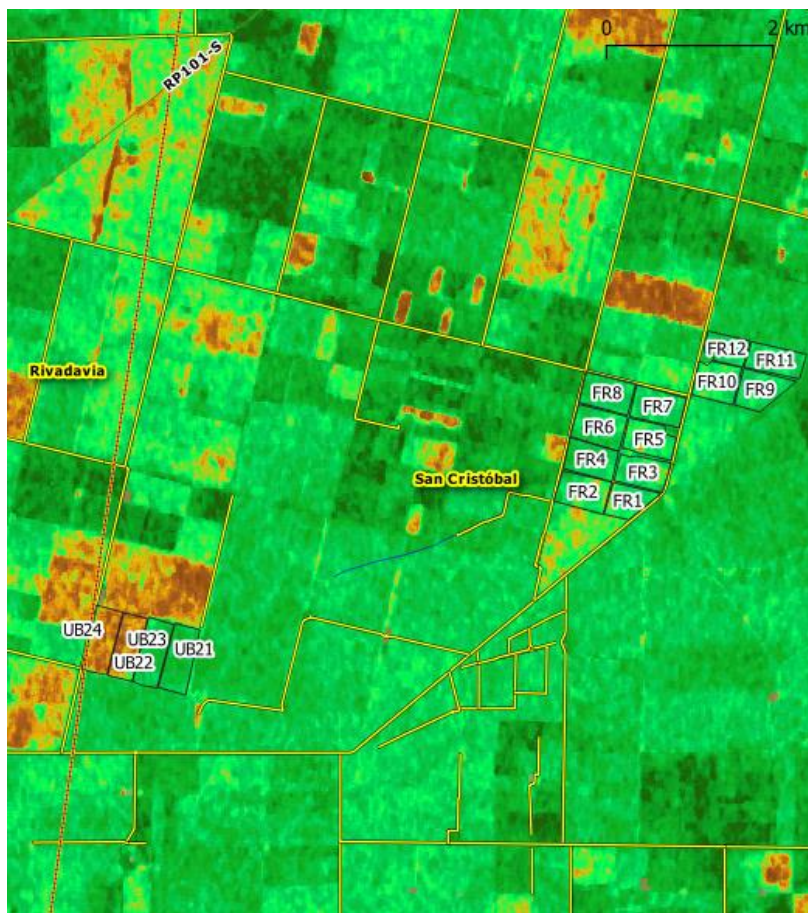
**Pflanzenbau:** Der Anbau landwirtschaftlicher Kulturpflanzen ist ganzjährig. Mais wurde 2020 auf zwei Flächen im Sommer geerntet, und auf einer Fläche im Winter. (s. Tabelle rechts)

Die Weizenernte findet im November statt. Sorghum und Soya werden im April und Mai geerntet.

Sonnenblumen sind im Februar druschreif.

Die Anbauperiode kann von Fläche zu Fläche und von Saison zu Saison variieren. Die Ertragsmodellierung wird dadurch etwas komplexer.

Das untere Bild zeigt den ESVI vom 15. Feb. 2021.



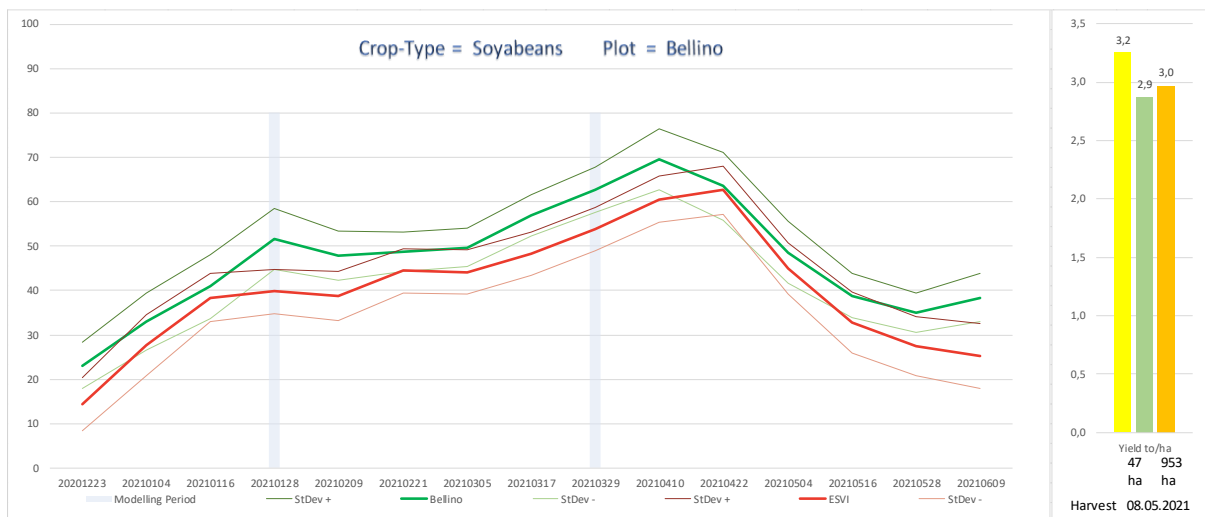
Plot	Date harvest	Crop type	ha
Bellino	27.02.2020	Corn	48
F2	13.03.2020	Corn	24
LC4	12.08.2020	Corn	24
OL2	14.04.2021	Sorghum	30
FR10	21.04.2021	Sorghum	42
Palacios	03.05.2021	Soybeans	267
Monigotes	06.05.2021	Soybeans	68
LC3	07.05.2021	Soybeans	13
LC4	07.05.2021	Soybeans	24
Bellino	08.05.2021	Soybeans	47
LC1	08.05.2021	Soybeans	18
LC2	08.05.2021	Soybeans	7
San_Guillermo	10.05.2021	Soybeans	134
Furrer	10.05.2021	Soybeans	134
F2	12.05.2021	Soybeans	24
Campo_Chico	18.05.2021	Soybeans	52
UB24	24.05.2021	Soybeans	25
UB23	25.05.2021	Soybeans	25
FR10	26.05.2021	Soybeans	12
FR12	26.05.2021	Soybeans	17
FR9	27.05.2021	Soybeans	18
FR1	28.05.2021	Soybeans	19
FR5	28.05.2021	Soybeans	22
FR6	28.05.2021	Soybeans	18
FR7	28.05.2021	Soybeans	12
FR8	28.05.2021	Soybeans	24
LQ1	18.06.2021	Sorghum	50
F1	30.07.2021	Corn	48
UB22	02.08.2021	Corn	24
UB21	04.08.2021	Corn	24
San_Guillermo	09.11.2021	Wheat	94
Palacios	02.02.2022	Sunflower	267
Palmeras_Griffa	09.02.2022	Sunflower	300
Monigotes	11.02.2022	Sunflower	68
FR10	01.05.2022	Soybeans	12
FR2	01.05.2022	Soybeans	24
FR4	01.05.2022	Soybeans	21
FR6	01.05.2022	Soybeans	5
FR7	01.05.2022	Soybeans	10
FR9	01.05.2022	Soybeans	6
LC4	05.05.2022	Soybeans	24
UB21	08.05.2022	Soybeans	25
UB22	08.05.2022	Soybeans	25
F1	10.05.2022	Soybeans	47
F2	10.05.2022	Soybeans	24
OL3YOL4	13.05.2022	Soybeans	35
San_Guillermo	18.05.2022	Soybeans	94
LQ2	18.05.2022	Soybeans	50
FR11	03.06.2022	Soybeans	24
OL2	15.06.2022	Soybeans	30
FR10	07.06.2022	Sorghum	12
FR12	08.06.2022	Sorghum	17
FR5	11.06.2022	Sorghum	22
FR6	11.06.2022	Sorghum	18
FR1	13.06.2022	Sorghum	18
FR9	15.06.2022	Sorghum	18
UB23	16.06.2022	Sorghum	25
UB24	17.06.2022	Sorghum	25
San_Guillermo	25.07.2022	Corn	134
Furrer	25.07.2022	Corn	134
Bellino	31.07.2022	Corn	47
Campo_Chico	01.08.2022	Corn	53
FR3	06.08.2022	Corn	24
FR7	06.08.2022	Corn	12
FR8	06.08.2022	Corn	24
Palacios	17.11.2022	Wheat	267
Monigotes	19.11.2022	Wheat	68
Palmeras_Griffa	23.11.2022	Wheat	300

## Soya

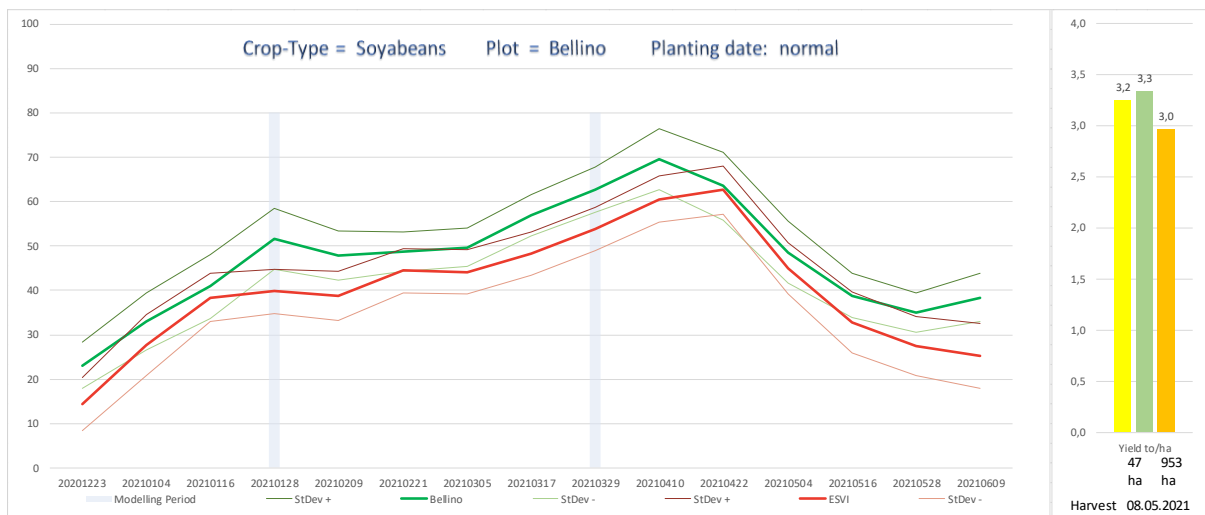
Das untere Beispiel zeigt die Ergebnisse über alle Soyaflächen, die zwischen Anfang Mai und Mitte Juni 2021 geerntet wurden. Die dicke rote Linie zeigt den mittleren ESVI über alle Soya Flächen. Darüber und darunter die dünneren roten Linien zeigen den Vertrauensbereich +/- der einfachen Standardabweichung). Die grünen Kurven stehen für die Einzelfläche, hier die Fläche "Bellino".

Die zwei grauen Balken zeigen den Zeitraum für die 5 aufeinanderfolgenden Aufnahmen von Sentinel-1, die für die Ertragsmodellierung herangezogen wurden.

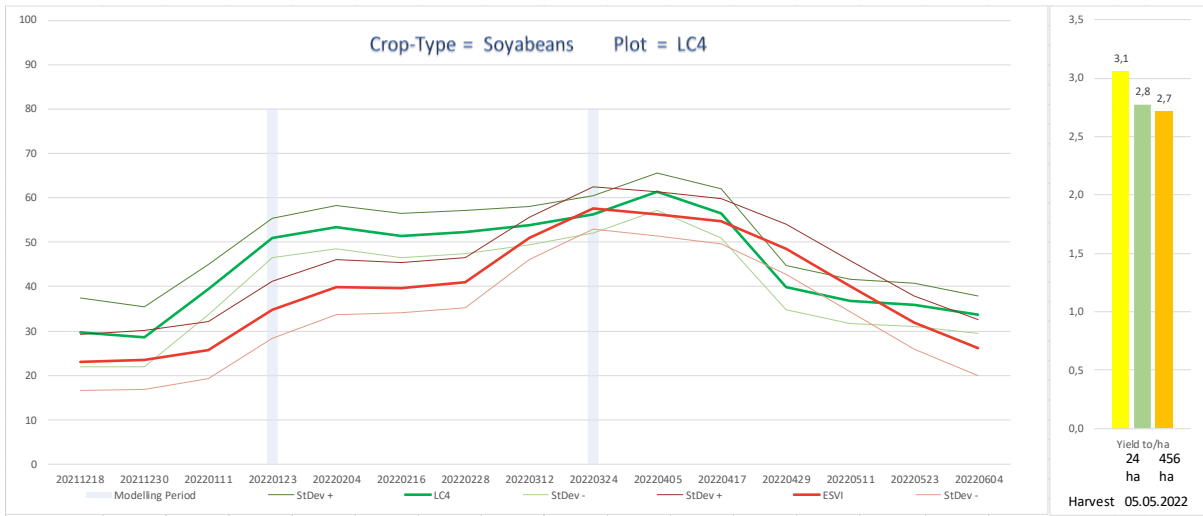
Auf der rechten Seite sieht man drei Säulen. Die linke Säule zeigt den Durchschnittsertrag für die Einzelfläche Bellino, der hier bei 3.2 to/ha lag. Den Durchschnittsertrag über alle Soyaflächen sieht man in der rechten Säule. Er liegt bei ca. 3.0 to/ha. Die mittlere Säule zeigt den modellierten Ertrag, in diesem Fall für alle Flächen. Der Wert liegt bei 2.9 to/ha.



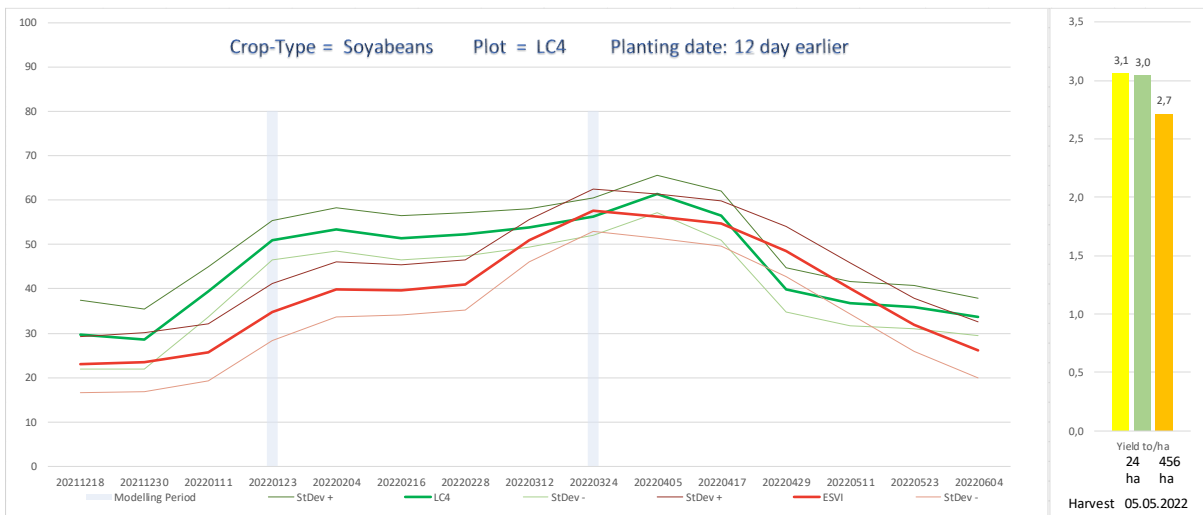
Die zweite Abbildung zeigt eigentlich die gleiche Graphik, allerdings wurde hier der Ertrag für die Einzelfläche modelliert. Die Einzelfläche "Bellino" zeigt eine etwas höher verlaufende ESVI Kurve und der gemessene Ertrag wurde hier um 2.6 % überschätzt.



Die zwei folgenden Beispiele zeigen Daten vom Folgejahr 2022. Der Zeitraum für die Ertragsschätzung ist nahezu identisch. Es wurde die gleiche Formel verwendet. Der gemessene Ertrag über alle Flächen und der modellierte Ertrag liegen nahe beieinander.

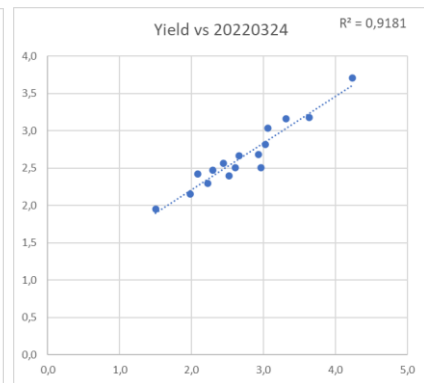
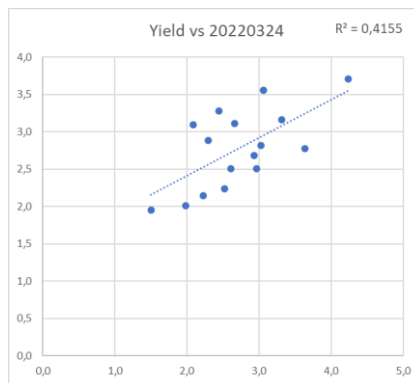


In diesem Fall wurde davon ausgegangen, dass die Aussaat ca. 12 Tage früher stattfand, da die Verlaufskurve, die das Wachstum abbildet etwas früher ansteigt.



Für eine korrekte Ertragsmodellierung ist es wichtig den Beginn der Saison zu kennen, da wir hier die gleiche Formel und die gleiche Wichtungstabelle für alle Flächen und Jahre verwenden.

Die Korrelation wie links dargestellt stellt den gemessenen Ertrag dem geschätzten Ertrag gegenüber ohne, dass dafür das Aussaatdatum angepasst wurde. Rechts sehen wir die Korrelation für die selben Flächen mit normalisiertem Aussaattermin.



Die beiden Tabellen zeigen die Abweichung des geschätzten Ertrags vom gemessenen Ertrag.  
Die erste Tabelle zeigt das Ergebnis für alle Soyafelder 2021.

Die erste Zeile zeigt das Datum wann der Ertrag mit dem Modell berechnet wurde.  
In der zweiten Zeile sieht man die Abweichung zum Durchschnittsertrag über alle Flächen.

Ein Wert von 98 (Durchschnitt 17. März) bedeutet, dass das Model den Wert um 2 % unterschätzt.

Deviation	20210209	20210221	20210305	20210317	20210329	20210410	20210422	20210504	20210516	20210528	20210609
Average	100	112	105	98	99	100	100	103	98	92	84
Palacios	125	114	108	104	109	108	104	104	102	101	99
Monigotes	123	132	124	115	119	118	119	118	109	99	81
LC3	129	123	106	102	98	96	92	91	85	80	74
LC4	105	109	96	90	87	81	81	85	80	74	66
Bellino	143	146	131	124	117	112	113	116	106	98	87
LC1	137	136	114	111	111	108	103	102	95	92	88
LC2	111	114	100	97	97	93	88	87	84	81	77
San_Guillermo	143	148	122	94	77	77	80	82	74	63	53
Furrer	98	118	109	103	102	95	93	97	97	96	92
F2	98	110	109	105	100	98	91	88	81	75	68
Campo_Chico	89	110	107	92	90	87	85	90	86	79	64
UB24	73	76	78	63	98	130	135	148	143	128	110
UB23	69	74	74	51	83	113	118	132	128	113	94
FR10	82	111	107	100	99	98	100	104	98	97	95
FR12	97	124	116	108	105	104	107	113	110	112	110
FR9	57	92	97	97	98	99	102	108	103	101	97
FR1	19	70	93	103	115	124	136	148	141	132	124
FR5	17	64	85	92	99	111	123	135	128	124	116
FR6	15	58	76	85	94	98	104	112	107	104	99
FR7	9	36	48	55	60	63	66	71	69	67	64

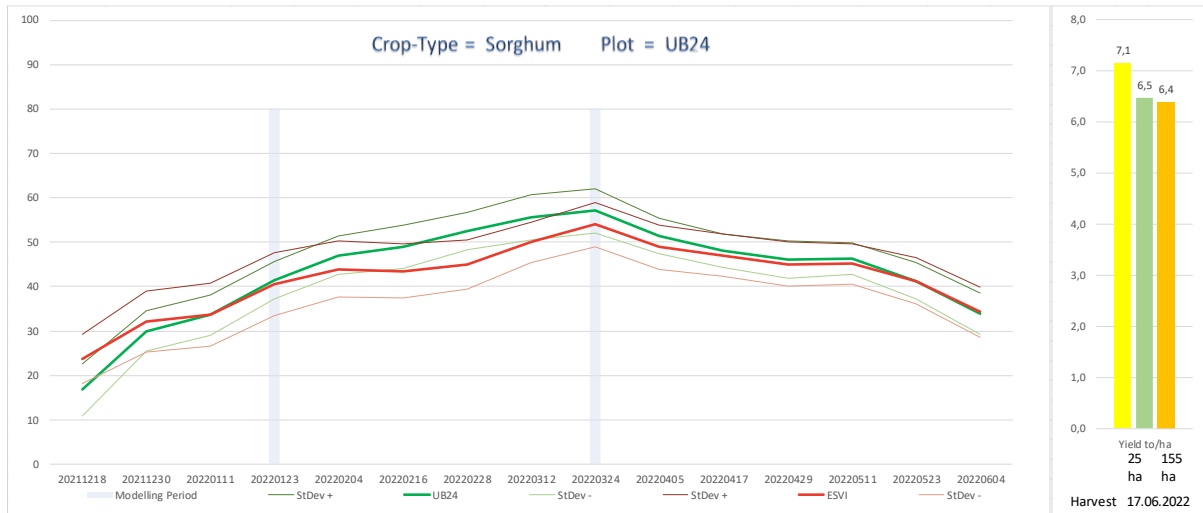
Für das Jahr 2022 nutzen wir die gleiche Formel und Wichtungstabelle für andere Flächen und erhalten ein ähnlich gutes Ergebnis.

Deviation	20220204	20220216	20220228	20220312	20220324	20220405	20220417	20220429	20220511	20220523	20220604
Average	89	89	87	92	98	98	103	109	101	92	89
FR10	91	95	89	88	92	91	93	96	88	81	84
FR2	168	113	91	91	109	130	151	172	163	151	144
FR4	163	131	108	114	130	146	169	198	187	170	162
FR6	97	105	99	104	108	106	110	113	103	93	92
FR7	102	87	80	88	103	118	137	151	140	131	134
FR9	114	113	99	96	93	88	88	88	80	74	78
LC4	79	90	95	99	99	94	93	92	84	77	71
UB21	31	36	46	68	85	90	97	104	93	76	58
UB22	44	49	57	78	96	101	107	113	102	84	66
F1	89	94	93	93	88	79	77	78	74	72	71
F2	53	71	84	103	116	119	124	130	119	106	98
OL3YOL4	93	84	82	86	87	82	83	88	84	80	77
San_Guillermo	87	102	99	101	105	104	108	111	105	100	99
LQ2	80	102	100	102	100	96	98	98	87	78	77
FR11	96	82	78	86	95	99	110	123	118	114	119
OL2	91	96	96	97	95	89	88	89	85	80	77

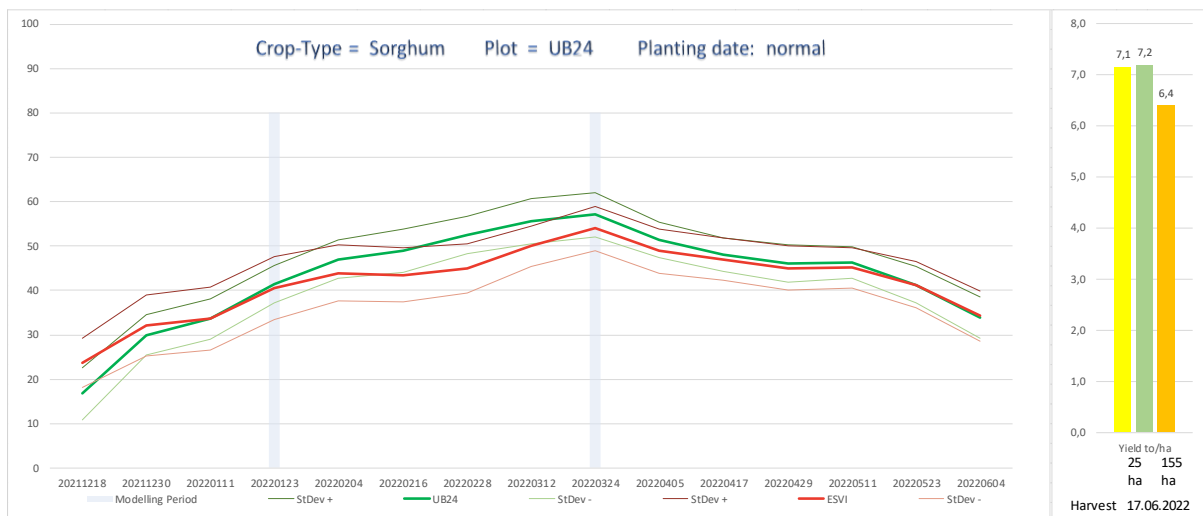
## Sorghum/Hirse

Das nächste Beispiel zeigt das Ergebnis von Sorghum Flächen im Jahr 2022. Die rote Linie repräsentiert den Durchschnitt +/- der einfachen Standardabweichung über alle Sorghum Flächen.

Die grünen Linien repräsentieren die Einzelfläche. Der modellierte Durchschnittsertrag über alle Sorghum Flächen ist nahe dem gemessenen Ertrag und liegt bei 6.5 to/ha.



Die Einzelfläche heißt "UB24". Die ESVI Werte liegen leicht über dem Durchschnitt und weisen damit mehr Biomasse auf. Das Modell lässt einen höheren Ertrag erwarten, der nahe beim gemessenen Ertrag von 7.2 to/ha liegt.

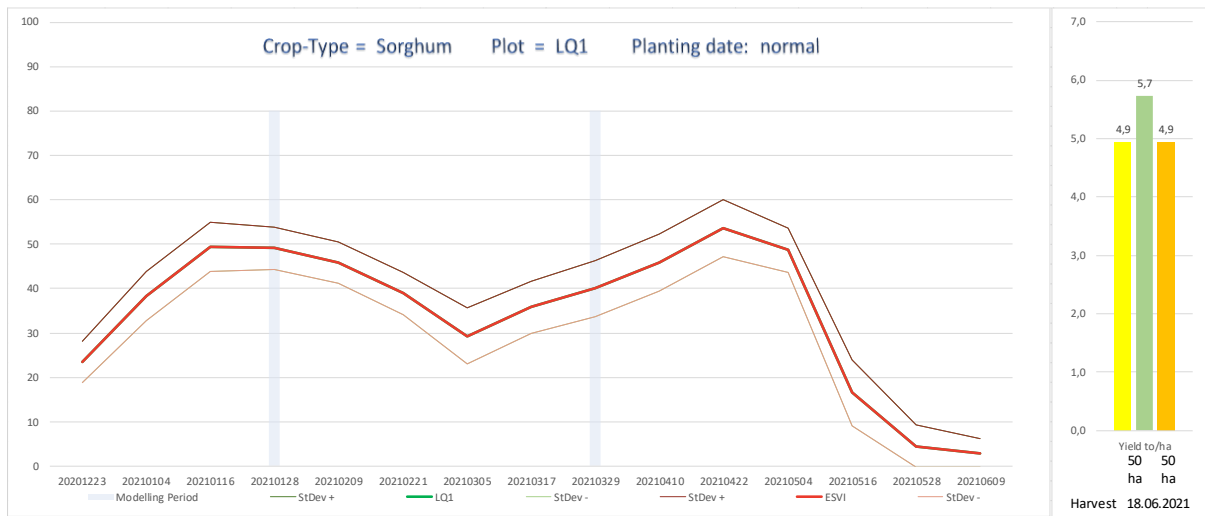


Die Tabelle zeigt die Abweichung vom gemessenen gegenüber dem modellierten Ertrag über alle Flächen und die gesamte Saison.

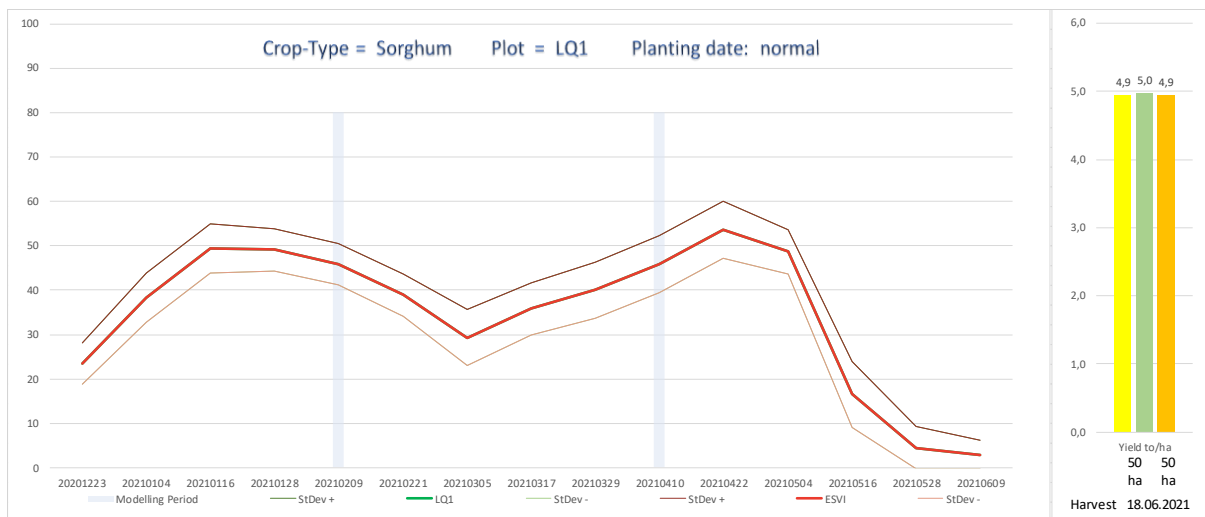
Deviation	20220204	20220216	20220228	20220312	20220324	20220405	20220417	20220429	20220511	20220523	20220604
Average	100	101	100	101	101	101	103	103	100	100	102
FR10	101	99	101	101	102	104	108	114	113	114	116
FR12	112	110	106	106	105	104	103	100	96	96	99
FR5	105	106	103	103	101	101	103	103	100	100	102
FR6	116	105	100	102	100	99	103	107	104	101	99
FR1	106	108	107	108	105	104	106	107	106	108	111
FR9	108	105	102	101	97	95	97	100	98	100	104
UB23	75	86	90	96	100	102	101	98	94	92	92
UB24	80	90	93	98	101	102	103	99	94	92	93



Vom Vorjahr 2021 hatten wir nur eine Sorghum Fläche mit Erntedatum im Juni.  
 Die Wachstumskurve zeigt einen signifikanten Abfall der Werte. Wenn wir die gleiche Periode für das Modell verwenden überschätzt das Modell das Ergebnis um 16 %.



Verschiebt man den Zeitraum um 12 Tage, trifft das Modell den gemessenen Ertrag ziemlich genau.

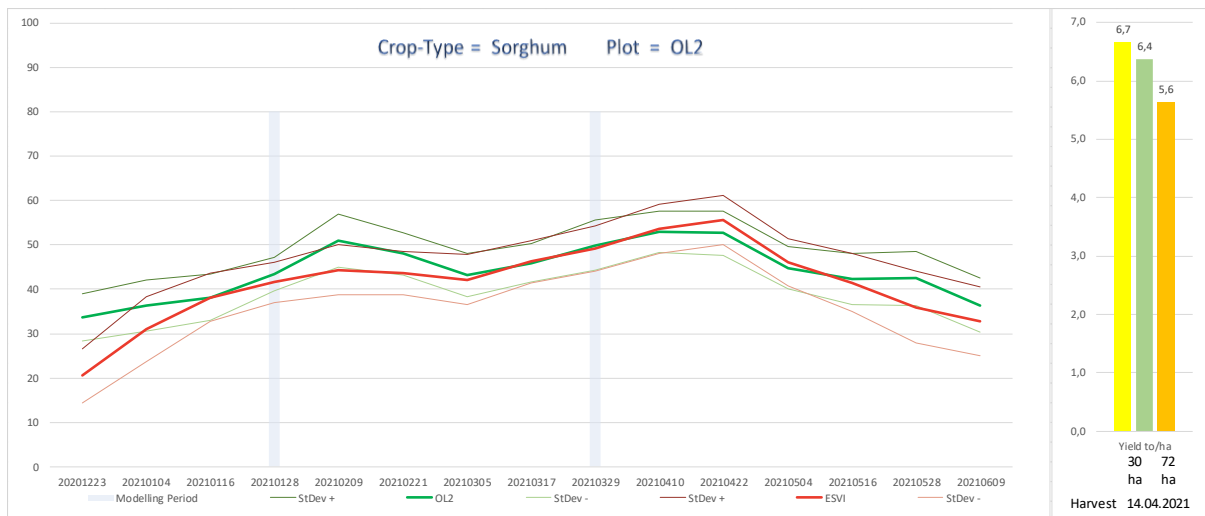


Aufgrund des Werteabfalls während der Saison war eine Modellierung über die Saison hinweg kaum möglich.

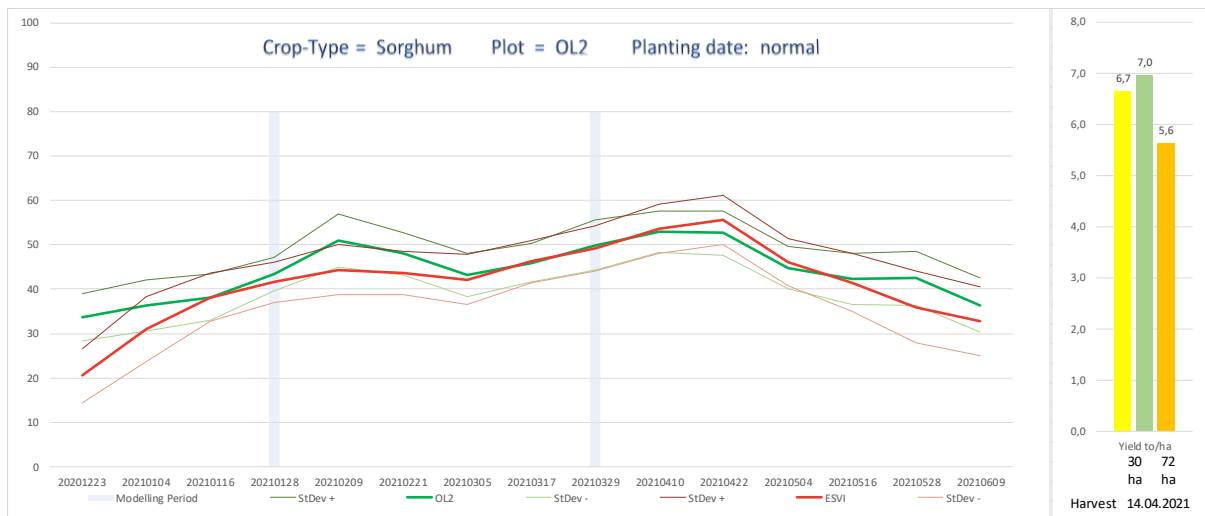
Deviation	20210209	20210221	20210305	20210317	20210329	20210410	20210422	20210504	20210516	20210528	20210609
Average	156	165	159	136	116	101	96	108	117	125	115
LQ1	156	165	159	136	116	101	96	108	117	125	115

Zwei weitere Sorghum wurden bereits im April 2021 geerntet.

Der vorhergesagte Wert für den Durchschnittsertrag lag um 13 % über dem gemessenen Ertrag.



Für die Einzelfläche traf das Modell den gemessenen Ertrag besser. Die Verlaufskurve liegt leicht über dem Durchschnitt, was die Ertragsvorhersage beeinflusst. Die Ertragschätzung liegt ca. 4% über dem gemessenen Wert.



Deviation	20210209	20210221	20210305	20210317	20210329	20210410	20210422	20210504	20210516	20210528	20210609
Average	112	119	120	116	113	110	110	114	117	123	121
OL2	118	109	107	107	105	98	94	96	98	102	101
FR10	104	132	138	130	125	128	133	141	144	155	150

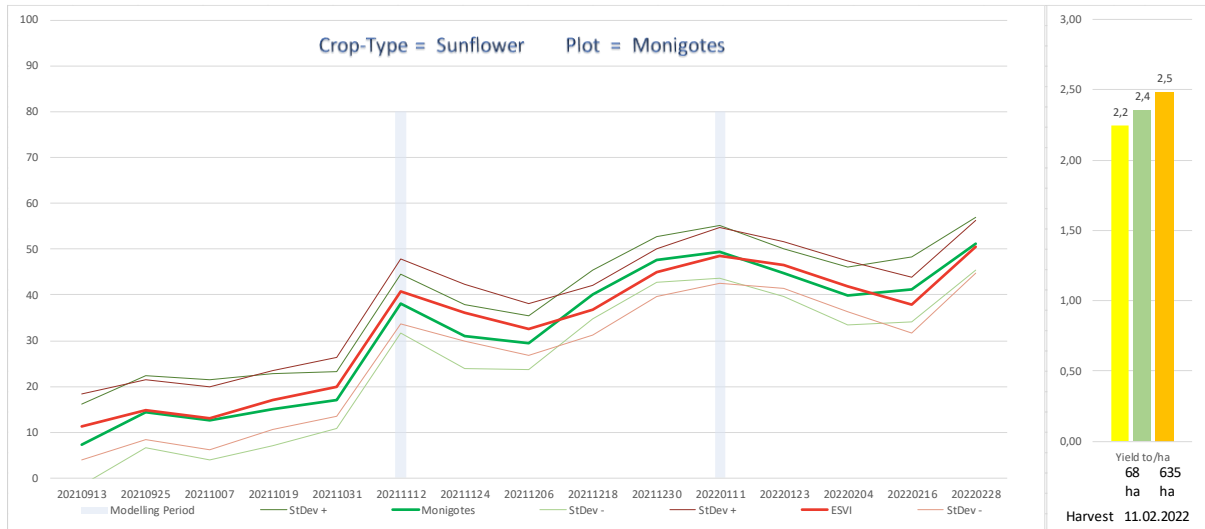


## Sonnenblumen

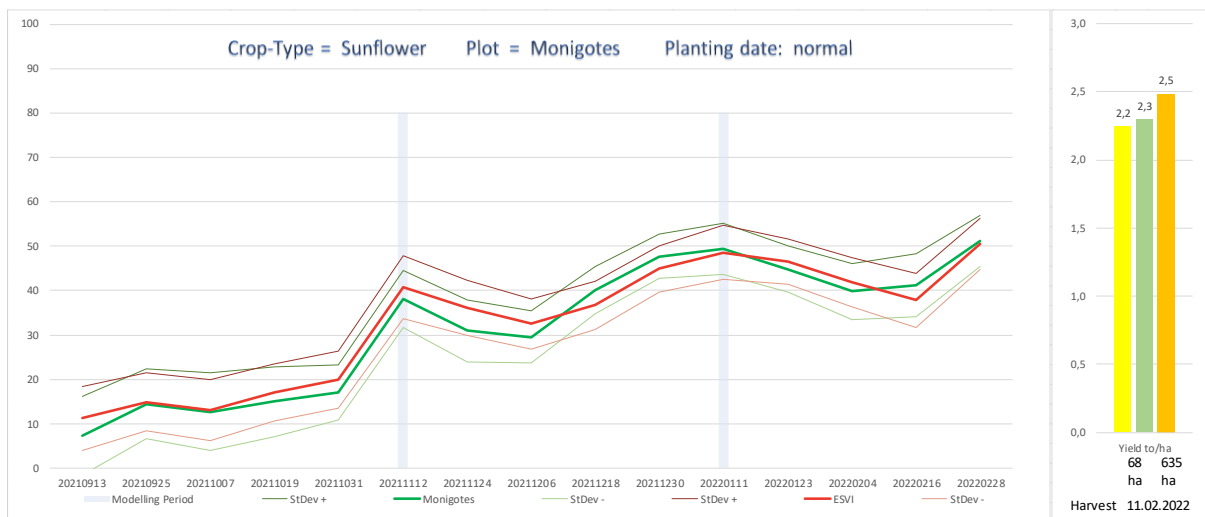
Das nächste Beispiel sind Sonnenblumen, die im Februar 2022 geerntet wurden.

Das Modell unterschätzt den Durchschnittsertrag leicht mit 2.4 to/ha.

Der gemessene Ertrag lag bei 2.5 to/ha.



Die Einzelfläche "Monigotes" wurde demgegenüber leicht überschätzt.

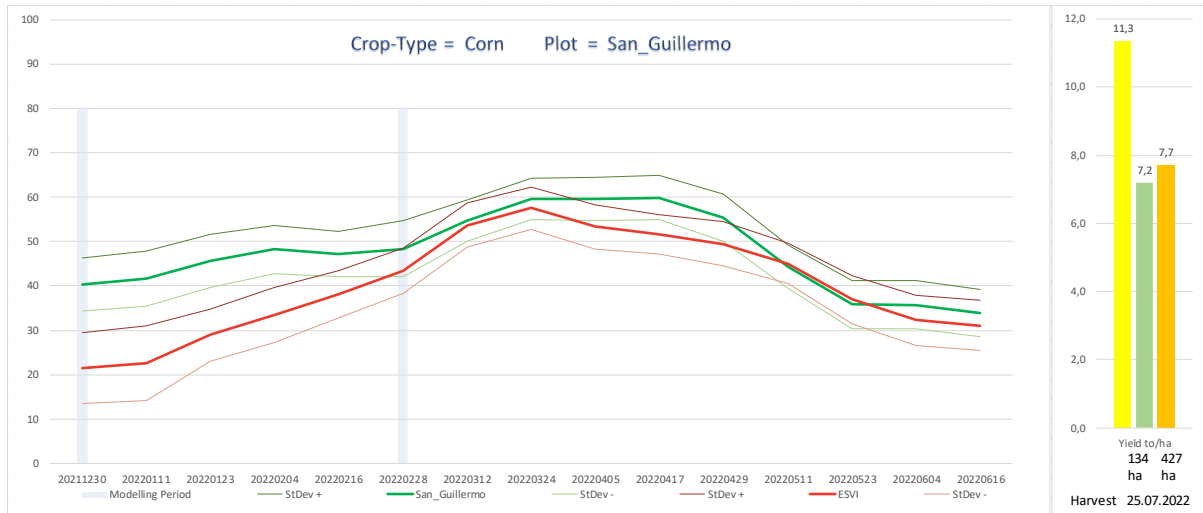


Deviation	20211031	20211112	20211124	20211206	20211218	20211230	20220111	20220123	20220204	20220216	20220228
Average	113	113	121	132	122	119	97	102	110	106	100
Palacios	99	99	107	115	102	100	80	82	91	90	87
Palmeras_Griffa	140	127	139	158	152	142	116	117	118	113	107
Monigotes	108	117	123	131	122	122	102	115	129	120	111

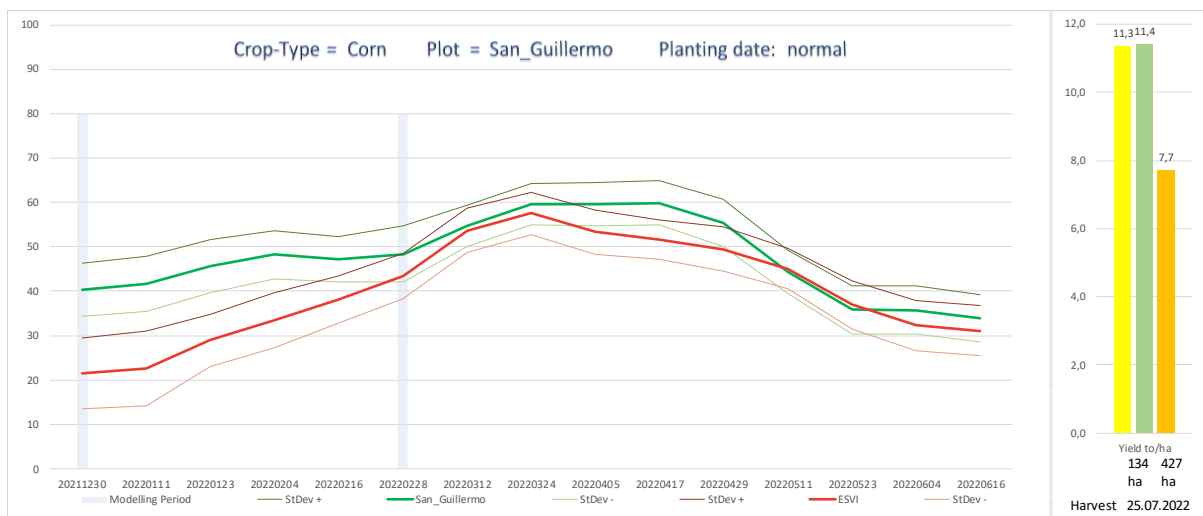
Für Sonnenblumen gab es keine Vergleichsflächen in 2021.

## Corn/Mais

Mais wurde im Juli geerntet, was in Argentinien mitten im Winter ist. Der Durchschnittsertrag wurde im Modell unterschätzt und zwar um ca. 7 %.



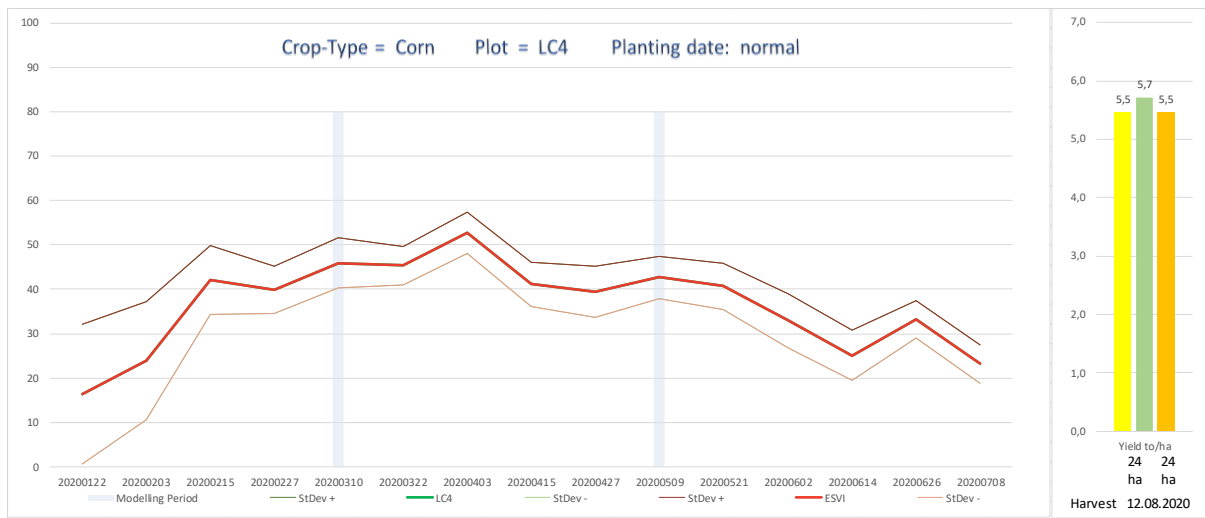
Die Einzelfläche wurde im gleichen Zeitraum jedoch recht gut geschätzt. Das Ergebnis ist hier 11.4 to/ha.



Die Fläche Bellino hat einen gemessenen Ertrag von lediglich 2.8 to/ha, was bezweifelt werden darf. Dadurch liegt der geschätzte Ertrag deutlich darüber. Entweder wurde die Erntemenge falsch erfasst, oder die Kultur hatte sehr viel Biomasse und nur einen geringen Kornertrag

Deviation	20220216	20220228	20220312	20220324	20220405	20220417	20220429	20220511	20220523	20220604	20220616
Average	83	93	91	79	75	81	83	83	80	84	78
San_Guillermo	99	101	87	67	57	59	60	62	61	63	56
Furrer	33	53	65	57	51	53	53	53	50	51	47
Bellino	382	355	297	242	219	229	227	220	211	236	239
Campo_Chico	61	78	81	75	75	82	83	84	79	79	71
FR3	87	96	97	86	83	91	93	91	87	91	86
FR7	68	77	78	72	73	87	98	102	100	107	100
FR8	60	74	81	76	77	86	90	87	81	85	78

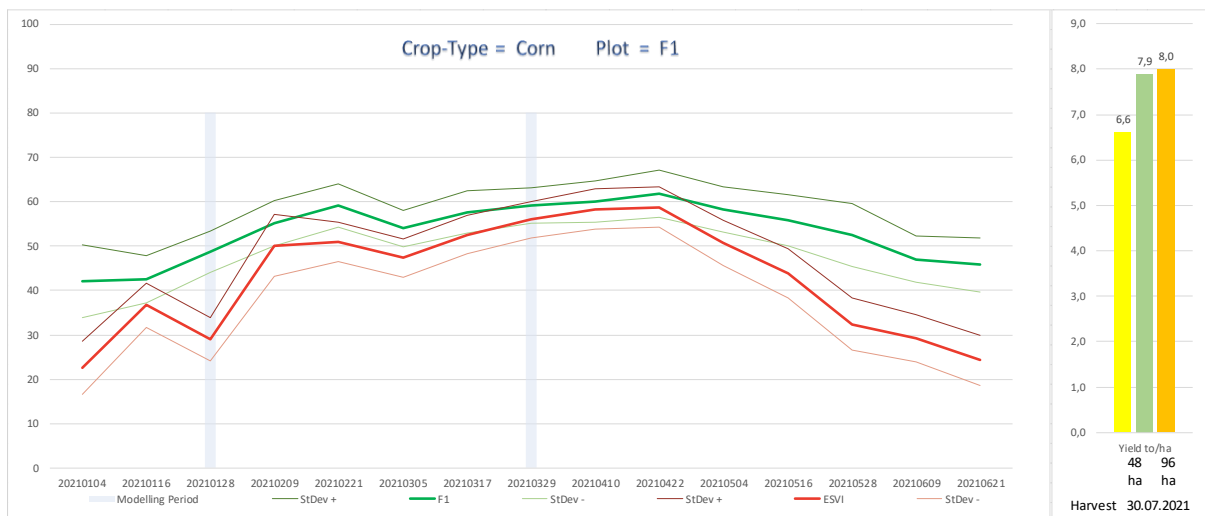
Im Jahr 2020 hatten wir nur eine Maisfläche.



Und im Jahr 2021 hatten wir 3 Maisflächen, aber die Werte sind etwas sonderbar.

Die Ertragsvorhersage trifft den gemessenen Ertrag ziemlich gut über alle Flächen.

Die Kurve für die Einzelfläche liegt zwar über dem Durchschnitt, aber der gemessene Ertrag ist unterdurchschnittlich.

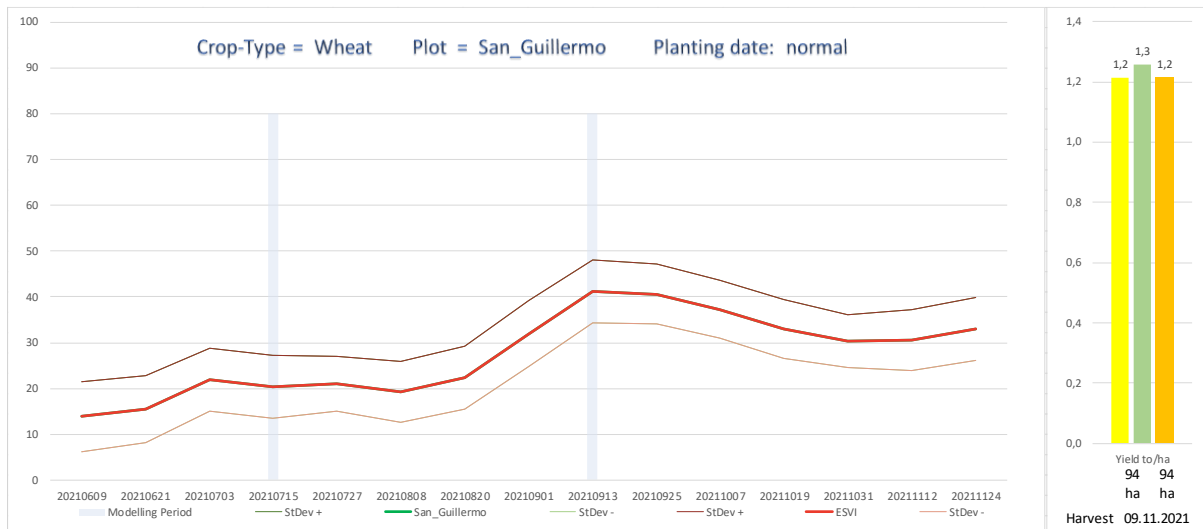


Deviation	20210221	20210305	20210317	20210329	20210410	20210422	20210504	20210516	20210528	20210609	20210621
Average	101	123	109	99	81	80	81	84	83	85	73
F1	178	187	169	134	111	106	105	107	108	119	114
UB22	74	100	86	87	72	72	75	78	76	73	56
UB21	70	96	86	84	68	68	69	73	72	71	59

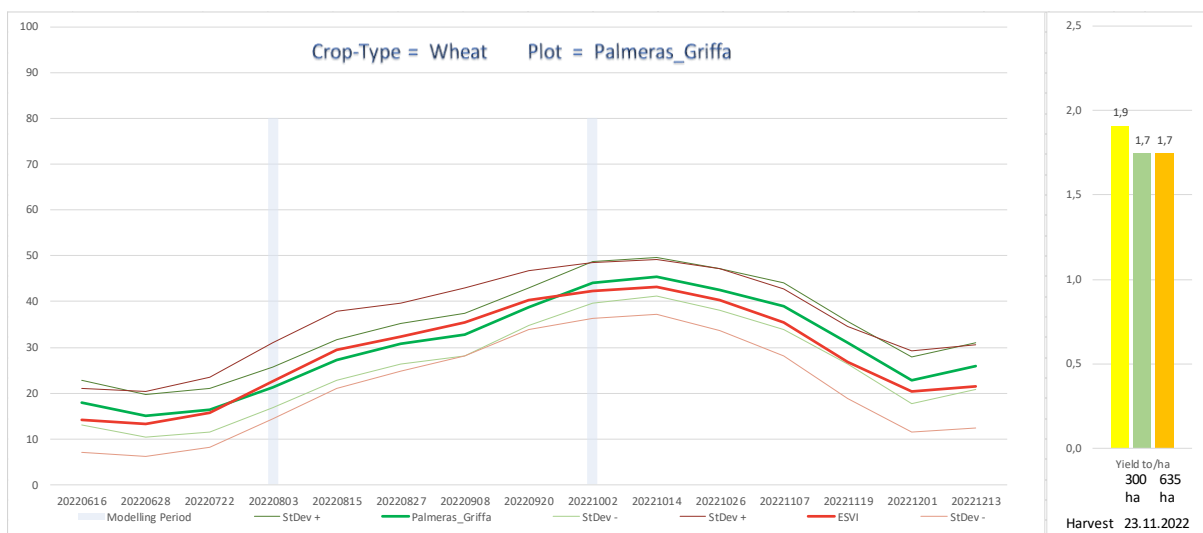
## Weizen

Weizen wurde im November geerntet. In der Saison 2021 hatten wir nur eine Fläche. Daher liegen die roten Kurven über den Grünen, die die Einzelfläche repräsentieren.

Der Ertrag wurde recht gut getroffen und liegt bei 1.3 to/ha.



Ein Jahr später in 2022, hatten wir 3 Weizenflächen. Der Durchschnittswert lag bei 1.7 to/ha und das Modell sagt diesen Wert recht präzise voraus.

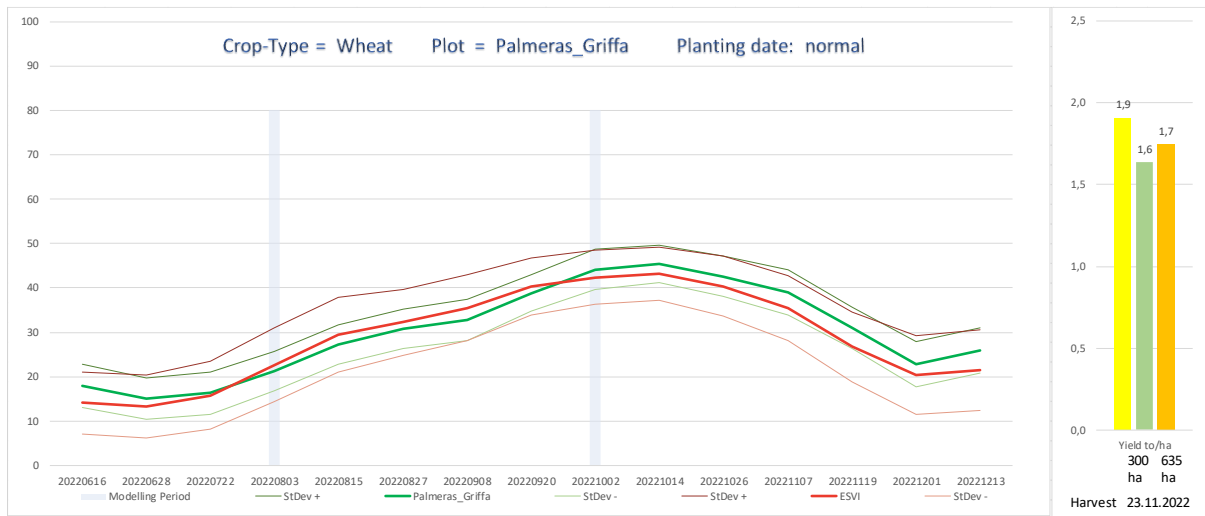


Der gemessene Ertrag von Palacios liegt 30% unter den beiden anderen Flächen. Die Kurve für den ESVI ist überdurchschnittlich. Daher überschätzt das Modell den Ertrag deutlich.

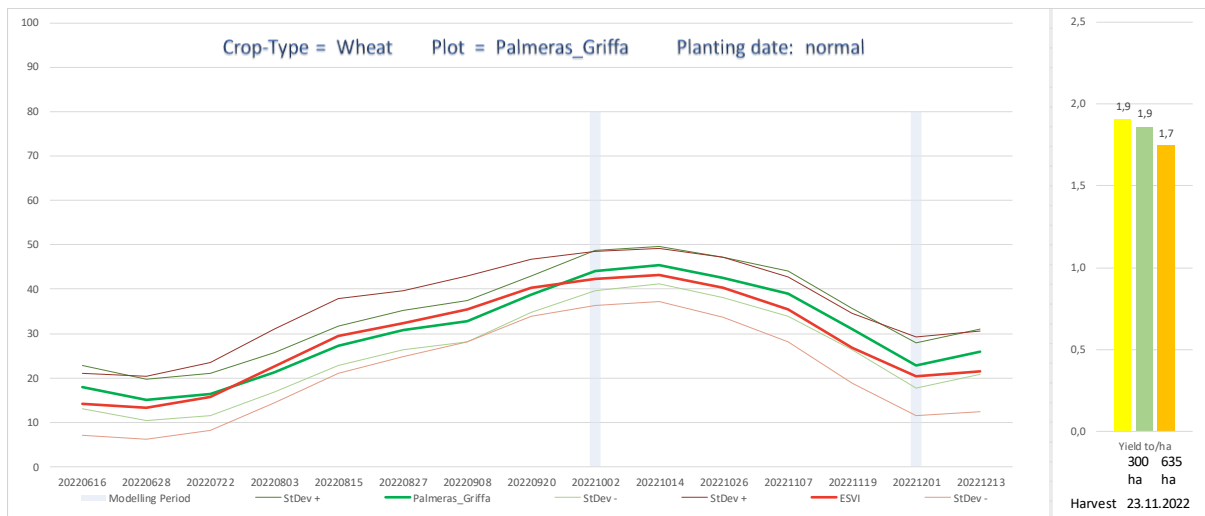
Deviation	20220815	20220827	20220908	20220920	20221002	20221014	20221026	20221107	20221119	20221201	20221213
Average	103	103	101	102	102	102	102	104	101	102	102
Palacios	123	139	137	138	133	126	122	119	116	123	130
Monigotes	76	77	80	85	89	93	94	95	90	85	77
Palmeras_Griffa	114	103	95	93	93	94	96	101	102	105	106

Für die Einzelfläche sehen wir dass der vorhergesagte Ertrag unterschätzt wurde.

Im Zeitraum, der für die Ertragsmodellierung herangezogen wurde lag die grüne Kurve leicht unter dem Durchschnitt.



In einem späteren Zeitraum liegt die grüne Kurve leicht über dem Durchschnitt, was sich dann auch in der Ertragsmodellierung niederschlägt. In diesem Zeitraum war die Ertragsvorhersage korrekt.



Zusammenfassend kann man sagen, dass allein der ESVI geeignet ist, um Ertragsvorhersagen durchzuführen. Man benötigt keine weiteren Daten, sondern lediglich **eine** Formel und eine Wichtungstabelle mit Werten für die unterschiedlichen Kulturarten.

Der zeitliche Versatz bei der Aussaat muss dabei berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass man während der Saison anhand des Verlaufs der ESVI Werte den Beginn der Saison erfassen muss, was möglich ist, da wir mit 5 aufeinanderfolgende Werten einen stabilen Anstieg beobachten können.