

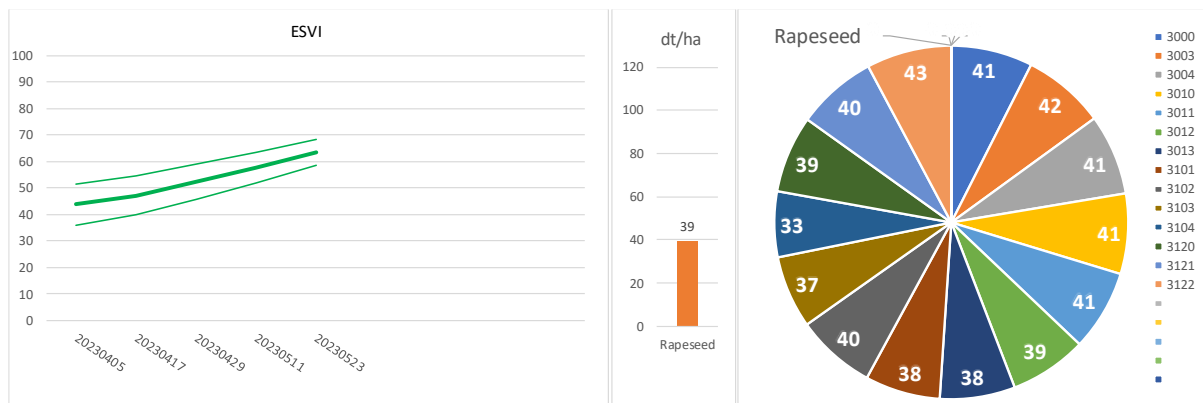
## Ertragsvorhersage für Winterraps, Winterweizen und Wintergerste mit Radar Satellitendaten

Für einen landwirtschaftlichen Betrieb in Thüringen haben wir eine Methode zur Ertragsvorhersage entwickelt, die auf unserem Vegetationsindex ESVI (enhanced SAR Vegetation Index) basiert.

Dazu verwenden wir Daten der Sentinel-1 Satelliten aus dem Copernicus Programm der europäischen Raumfahrtagentur (ESA). Die Sentinel-1 Satelliten senden eine Mikrowelle auf die Erdoberfläche und messen die Rückstreuung des Signals in zwei Polarisationen. Das Signal ist geeignet, um die Biofrischmasse auf landwirtschaftlichen Flächen zu schätzen. Hauptvorteil der Methode ist, dass das Signal unabhängig von Bewölkung oder Tageslicht ist. Die Messungen finden alle 12 Tage in der selben Konstellation statt. Das heißt Pixel für Pixel (20x20m) immer im gleichen Winkel und mit der selben Energiemenge. Dadurch lassen sich Veränderungen im Messwert eindeutig der Veränderung der Biomasseentwicklung zuordnen.

Der Betrieb hatte uns Ertragsdaten von mehreren Flächen für die Jahre von 2018 – 2022 zur Verfügung gestellt. Auf Basis dieser Daten haben wir eine Ertragsvorhersage abgeleitet, die vor allem im Zeitraum von Anfang bis Mitte Mai sehr gute Ergebnisse geliefert hat. In einem vorherigen Artikel hatten wir bereits darüber berichtet.

Im Jahr 2023 haben wir dann mit der bestehenden Formel dem Landwirt alle 12 Tage eine Ertragsprognose in Form einer Dashboard zukommen lassen.



Man sieht links die zeitliche Entwicklung der Biomasse über alle Flächen. In der Mitte der durchschnittliche zu erwartende Ertragswert und rechts die Ertragsprognose für die Einzelflächen.

Auch im aktuellen Jahr 2023 sind die Ergebnis ähnlich gut ausgefallen wie in den Vorjahren.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Abweichung der Ertragsprognose vom tatsächlich gemessenen Ertrag für die Jahre von 2018 – 2023. Ein Wert von 96 sagt aus, dass das Model den tatsächlich gemessenen Ertrag um 4 % unterschätzt hat. Vor allem im Zeitraum von Anfang bis Mitte Mai, also zwei Monate vor der Ernte, und im Fall von Getreide zwei Wochen vor der letzten Düngung, ist die Ertragsprognose nahe am tatsächlich gemessenen Ertrag.

Die Ergebnisse für die Einzelflächen im Jahr 2023 finden sich am Ende des Dokuments.

Die Ergebnisse für die Vorjahre wurden bereits im vorhergehenden Bericht veröffentlicht.

| <b>2018</b> | ha  | 20180407 | 20180419 | 20180501 | 20180513 | 20180525 | 20180606 | 20180618 | 20180630 | 20180712 | 20180724 |
|-------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Rapeseed    | 214 | 88       | 92       | 104      | 115      | 123      | 120      | 123      | 117      | 102      | 88       |
| Wheat       | 220 | 93       | 113      | 113      | 112      | 116      | 117      | 117      | 118      | 113      | 89       |
| Barley      | 167 | 99       | 117      | 108      | 107      | 111      | 129      | 129      | 117      | 106      | 92       |
| <b>2019</b> | ha  | 20190402 | 20190414 | 20190426 | 20190508 | 20190520 | 20190601 | 20190613 | 20190625 | 20190707 | 20190719 |
| Rapeseed    | 138 | 104      | 97       | 90       | 92       | 92       | 95       | 95       | 97       | 95       | 104      |
| Wheat       | 241 | 110      | 104      | 112      | 117      | 122      | 114      | 109      | 107      | 111      | 98       |
| Barley      | 177 | 72       | 75       | 82       | 89       | 88       | 82       | 85       | 86       | 93       | 89       |
| <b>2020</b> | ha  | 20200408 | 20200420 | 20200502 | 20200514 | 20200526 | 20200607 | 20200619 | 20200701 | 20200713 | 20200725 |
| Rapeseed    | 203 | 93       | 88       | 94       | 97       | 101      | 101      | 106      | 107      | 102      | 95       |
| Wheat       | 207 | 90       | 93       | 94       | 94       | 100      | 103      | 108      | 109      | 109      | 89       |
| Barley      | 116 | 95       | 95       | 94       | 95       | 99       | 103      | 105      | 105      | 103      | 89       |
| <b>2021</b> | ha  | 20210403 | 20210415 | 20210427 | 20210509 | 20210521 | 20210602 | 20210614 | 20210626 | 20210708 | 20210720 |
| Rapeseed    | 179 | 108      | 99       | 95       | 89       | 96       | 99       | 104      | 104      | 112      | 107      |
| Wheat       | 234 | 87       | 92       | 94       | 98       | 88       | 75       | 73       | 76       | 94       | 109      |
| Barley      | 201 | 91       | 97       | 102      | 98       | 87       | 74       | 75       | 93       | 114      | 119      |
| <b>2022</b> | ha  | 20220410 | 20220422 | 20220504 | 20220516 | 20220528 | 20220609 | 20220621 | 20220703 | 20220715 | 20220727 |
| Rapeseed    | 166 | 111      | 100      | 103      | 107      | 111      | 110      | 112      | 102      | 84       | 68       |
| Wheat       | 161 | 98       | 113      | 113      | 112      | 107      | 104      | 103      | 97       | 86       | 61       |
| Spelt       | 75  | 93       | 108      | 100      | 86       | 86       | 89       | 92       | 96       | 107      | 88       |
| <b>2023</b> | ha  | 20230405 | 20230417 | 20230429 | 20230511 | 20230523 | 20230604 | 20230616 | 20230628 | 20230710 | 20230722 |
| Rapeseed    | 218 | 101      | 93       | 95       | 98       | 100      | 106      | 112      | 114      | 104      | 106      |
| Wheat       | 254 | 121      | 125      | 125      | 111      | 100      | 93       | 97       | 104      | 105      | 89       |
| Barley      | 231 | 84       | 98       | 101      | 94       | 80       | 81       | 87       | 97       | 89       | 81       |

Bei dieser Methode wird bewusst auf weitere Daten wie Wetter- oder Bodendaten verzichtet, weil diese Daten i.d.R. eine andere zeitliche und räumliche Auflösung haben. Man kann nicht wissen, ob die Niederschlagsmenge an der nächsten Wetterstation für den beobachteten Betrieb tatsächlich repräsentativ ist. Temperaturdaten müsste man ggf. nach Höhenlage anpassen. Bodenkarten können durch bauliche Veränderungen wie Straßenbau oder Drainage ihre Aussagekraft verlieren.

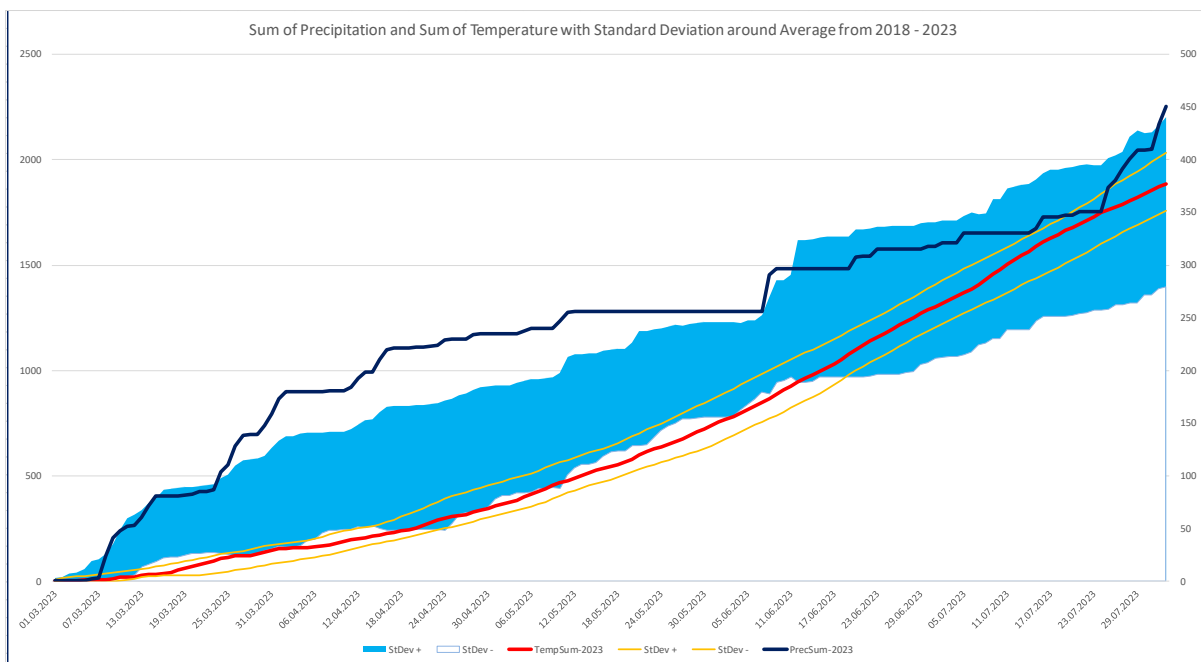
Wir glauben, dass sich die realen Wachstumsverhältnisse in den Pixelwerten des Biomasseindex abbilden und messen mit dem Sensor alle 12 Tage mit gleichbleibender Methodik.

Eine Untersuchung der Wetterdaten von der nächsten Wetterstation, die ca. 15 km vom Betrieb entfernt ist, zeigt über die 6 Untersuchungsjahre hinweg keinen eindeutigen Trend. (s. Annex 2-7)

Die folgende Graphik zeigt eine Auswertung der Wetterdaten für das Jahr 2023 im Vergleich zu den Jahren 2018 – 2023.

Es wurde für den Zeitraum von 6 Jahren der Mittelwert gerechnet sowohl für die Temperatursumme als auch für die Niederschlagssumme. Zudem wurde jeweils die einfache Standardabweichung gerechnet, die in der Graphik den Vertrauensbereich darstellt. Die blaue Linie zeigt die Niederschlagssumme für das Jahr 2023 und die blaue Fläche den dazugehörigen Vertrauensbereich, der sich aus den Daten von 2018 – 2023 ableitet.

Das Jahr 2023 war geprägt von einem feuchten Frühjahr von Ende März bis Mitte Mai. Ende Juli setzten neuerliche Niederschläge ein weshalb es bei Winterraps und Winterweizen zu Verzögerungen bei der Ernte kam. Die Temperatursumme blieb demgegenüber im Normbereich.



Als nächste Schritte planen wir Testläufe auf weiteren Betrieben und weiteren Kulturen.

In Argentinien haben wir mit den Kulturen Weizen, Mais, Soya und Sonnenblumen bereits ähnlich gute Ergebnisse erzielt.

<https://cropix.ch/wp-content/uploads/Ertragsvorhersage-mit-Sentinel-1-SAR-Daten-in-Argentinien.pdf>

Annex 1 : Ergebnis der Einzelflächen für die Kulturarten Winterraps, Winterweizen und Wintergerste im Jahr 2023. In der jeweils oberen Datenreihe finden sich die Durchschnittswerte.

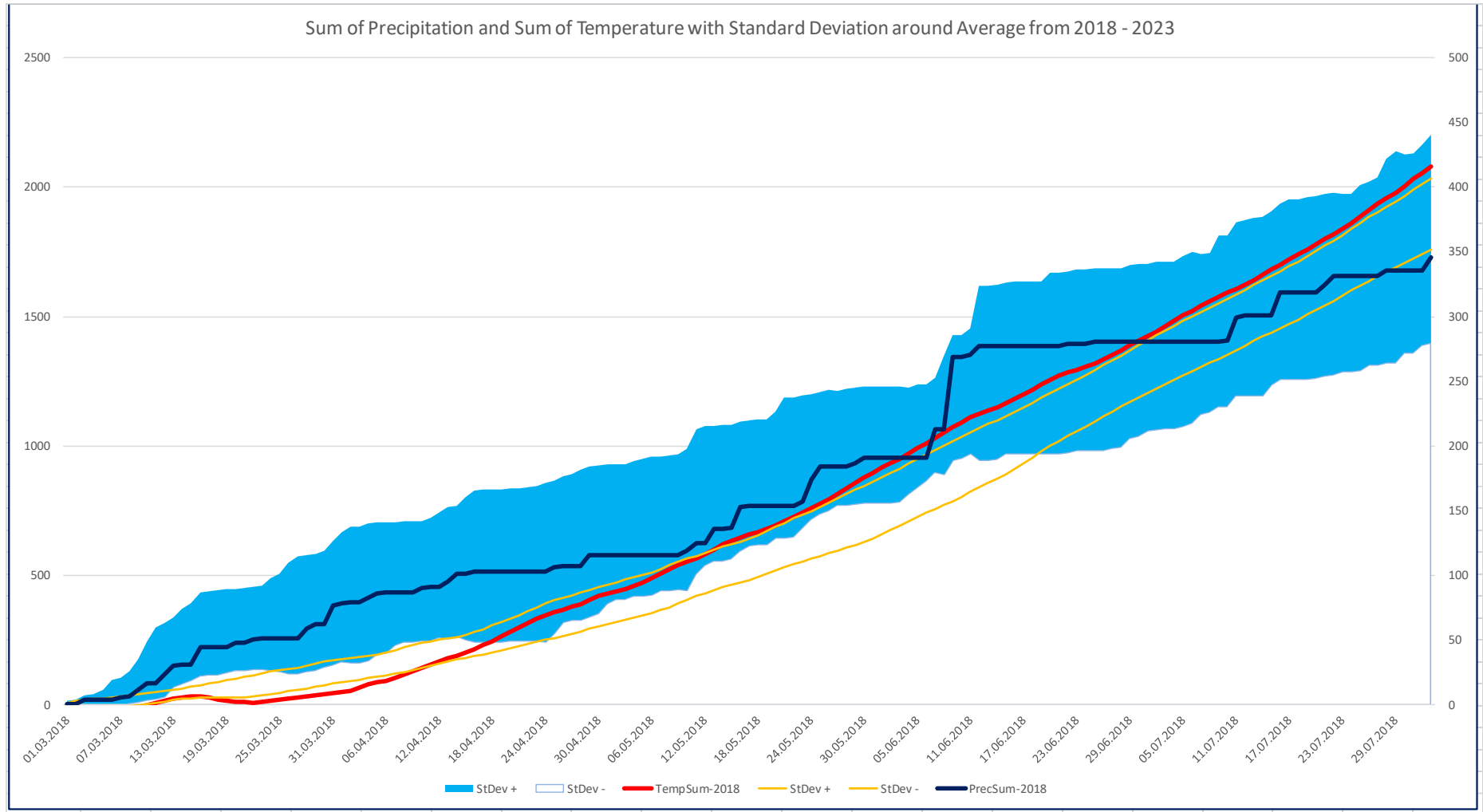
Die Ergebnisse für die Einzelflächen für die Jahre 2018 – 2022 finden sich hier:

<https://cropix.ch/wp-content/uploads/Ertragsvorhersage-fur-Ackerkulturen-basierend-auf-ESVI.pdf>

| Plot ID         | Yield/ha | ha   | Yield | 20230405 | 20230417 | 20230429 | 20230511 | 20230523 | 20230604 | 20230616 | 20230628 | 20230710 | 20230722 |
|-----------------|----------|------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Rapeseed</b> | 39       | 218  | 9214  | 101      | 93       | 95       | 98       | 100      | 106      | 112      | 114      | 104      | 106      |
| 3000            | 44       | 84,2 | 3690  | 100      | 90       | 91       | 93       | 94       | 99       | 104      | 107      | 96       | 88       |
| 3003            | 45       | 4,0  | 180   | 90       | 82       | 83       | 88       | 92       | 96       | 101      | 103      | 96       | 104      |
| 3004            | 43       | 12,6 | 537   | 102      | 92       | 93       | 95       | 95       | 100      | 105      | 109      | 102      | 103      |
| 3010            | 42       | 29,1 | 1210  | 98       | 90       | 92       | 95       | 98       | 104      | 110      | 113      | 100      | 91       |
| 3011            | 41       | 2,0  | 82    | 110      | 100      | 105      | 103      | 99       | 98       | 99       | 101      | 97       | 107      |
| 3012            | 39       | 19,4 | 747   | 106      | 97       | 98       | 100      | 101      | 107      | 115      | 119      | 107      | 104      |
| 3013            | 37       | 15,8 | 588   | 105      | 97       | 98       | 100      | 102      | 110      | 119      | 125      | 113      | 107      |
| 3101            | 39       | 3,8  | 147   | 112      | 101      | 99       | 99       | 98       | 103      | 106      | 106      | 97       | 106      |
| 3102            | 44       | 7,8  | 344   | 101      | 93       | 94       | 94       | 91       | 95       | 99       | 101      | 95       | 105      |
| 3103            | 32       | 15,9 | 509   | 93       | 90       | 97       | 107      | 114      | 126      | 135      | 139      | 125      | 123      |
| 3104            | 26       | 7,8  | 537   | 84       | 88       | 101      | 115      | 128      | 146      | 158      | 162      | 150      | 161      |
| 3120            | 43       | 8,0  | 340   | 92       | 84       | 85       | 88       | 92       | 98       | 104      | 107      | 96       | 95       |
| 3121            | 38       | 5,2  | 195   | 116      | 105      | 109      | 110      | 108      | 112      | 116      | 117      | 105      | 109      |
| 3122            | 40       | 2,7  | 107   | 100      | 91       | 94       | 102      | 108      | 112      | 116      | 117      | 103      | 103      |
| <b>Wheat</b>    | 77       | 254  | 19534 | 121      | 125      | 125      | 111      | 100      | 93       | 97       | 104      | 105      | 89       |
| 6               | 82       | 21,8 | 1796  | 117      | 122      | 121      | 105      | 90       | 83       | 88       | 97       | 99       | 81       |
| 12              | 83       | 17,6 | 1467  | 114      | 120      | 117      | 102      | 92       | 87       | 92       | 98       | 97       | 77       |
| 14              | 74       | 17,7 | 1317  | 130      | 129      | 125      | 110      | 104      | 100      | 106      | 113      | 113      | 93       |
| 15              | 73       | 22,1 | 1619  | 142      | 146      | 140      | 122      | 111      | 103      | 107      | 118      | 121      | 98       |
| 1000            | 76       | 17,7 | 1343  | 119      | 124      | 124      | 110      | 97       | 90       | 96       | 108      | 114      | 98       |
| 1008            | 72       | 24,9 | 1802  | 131      | 135      | 134      | 118      | 108      | 100      | 104      | 108      | 108      | 91       |
| 1011            | 80       | 28,9 | 2313  | 116      | 119      | 119      | 107      | 100      | 94       | 100      | 106      | 109      | 100      |
| 1013            | 85       | 27,3 | 2307  | 95       | 100      | 107      | 100      | 94       | 84       | 86       | 90       | 93       | 86       |
| 2010            | 71       | 23,2 | 1655  | 121      | 130      | 134      | 123      | 114      | 107      | 113      | 118      | 115      | 91       |
| 3100            | 73       | 37,5 | 2751  | 132      | 139      | 140      | 120      | 105      | 91       | 93       | 102      | 100      | 83       |
| 3105            | 79       | 14,8 | 1162  | 118      | 120      | 117      | 103      | 94       | 87       | 89       | 93       | 94       | 82       |
| <b>Barley</b>   | 80       | 231  | 18644 | 84       | 98       | 101      | 94       | 80       | 81       | 87       | 97       | 89       | 81       |
| 1003            | 89       | 4,2  | 376   | 81       | 92       | 92       | 87       | 78       | 86       | 94       | 105      | 97       | 89       |
| 1006            | 72       | 7,4  | 535   | 98       | 115      | 116      | 107      | 92       | 98       | 113      | 131      | 116      | 96       |
| 1007            | 90       | 3,8  | 342   | 95       | 107      | 102      | 91       | 77       | 88       | 97       | 108      | 99       | 88       |
| 1018            | 77       | 4,9  | 376   | 104      | 115      | 110      | 99       | 83       | 91       | 100      | 114      | 107      | 94       |
| 5200            | 93       | 52,6 | 4869  | 85       | 94       | 90       | 81       | 68       | 76       | 87       | 100      | 90       | 81       |
| 5202            | 107      | 7,1  | 760   | 56       | 68       | 70       | 64       | 51       | 49       | 55       | 72       | 67       | 61       |
| 5204            | 91       | 15,1 | 1372  | 69       | 81       | 84       | 79       | 66       | 70       | 83       | 100      | 89       | 78       |
| 5205            | 71       | 4,9  | 349   | 100      | 117      | 119      | 109      | 92       | 94       | 98       | 105      | 102      | 99       |
| 5400            | 75       | 13,3 | 994   | 72       | 87       | 101      | 100      | 87       | 87       | 90       | 91       | 82       | 75       |
| 8028            | 75       | 19,9 | 1487  | 88       | 104      | 115      | 115      | 99       | 85       | 82       | 92       | 94       | 97       |
| 8030            | 68       | 29,5 | 2005  | 90       | 109      | 119      | 113      | 93       | 89       | 82       | 79       | 67       | 62       |
| 8031            | 77       | 61,9 | 4794  | 76       | 93       | 103      | 98       | 80       | 76       | 76       | 81       | 73       | 69       |
| 8032            | 56       | 6,8  | 383   | 88       | 107      | 120      | 116      | 100      | 89       | 83       | 85       | 73       | 65       |

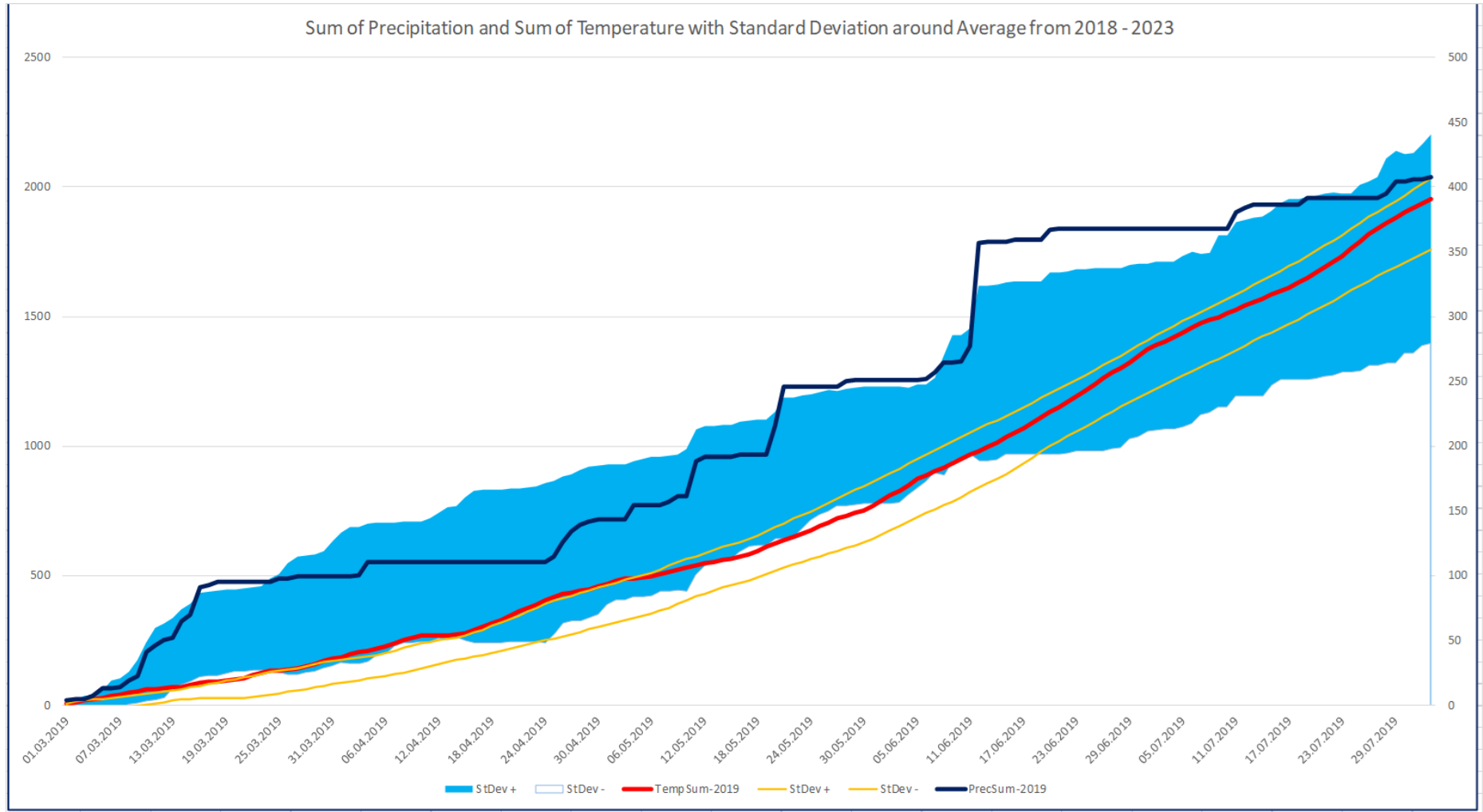
Annex 2:

| 2018     | ha  | 20180407 | 20180419 | 20180501 | 20180513 | 20180525 | 20180606 | 20180618 | 20180630 | 20180712 | 20180724 |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Rapeseed | 214 | 88       | 92       | 104      | 115      | 123      | 120      | 123      | 117      | 102      | 88       |
| Wheat    | 220 | 93       | 113      | 113      | 112      | 116      | 117      | 117      | 118      | 113      | 89       |
| Barley   | 167 | 99       | 117      | 108      | 107      | 111      | 129      | 129      | 117      | 106      | 92       |



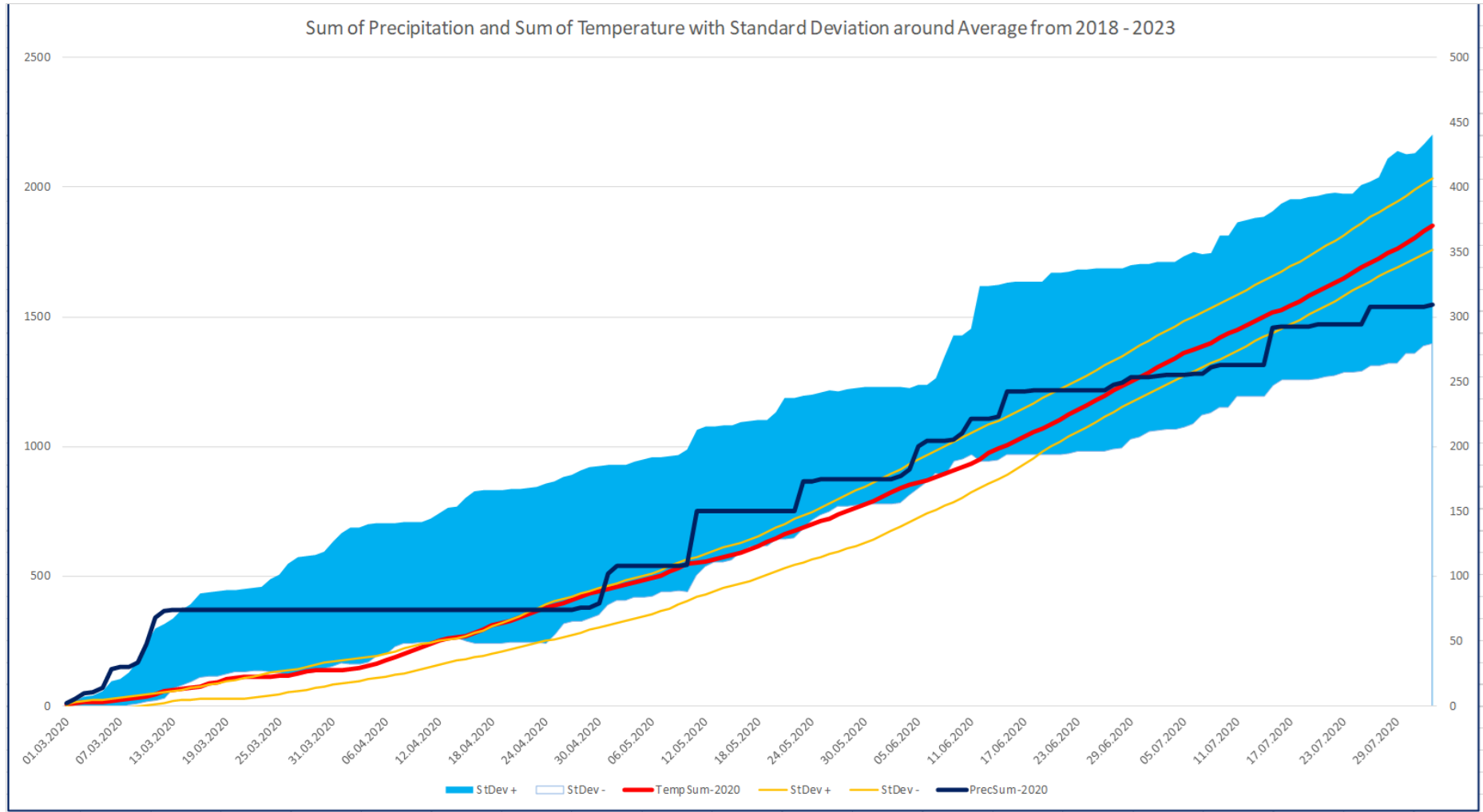
Annex 3

| 2019     | ha  | 20190402 | 20190414 | 20190426 | 20190508 | 20190520 | 20190601 | 20190613 | 20190625 | 20190707 | 20190719 |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Rapeseed | 138 | 104      | 97       | 90       | 92       | 92       | 95       | 95       | 97       | 95       | 104      |
| Wheat    | 241 | 110      | 104      | 112      | 117      | 122      | 114      | 109      | 107      | 111      | 98       |
| Barley   | 177 | 72       | 75       | 82       | 89       | 88       | 82       | 85       | 86       | 93       | 89       |



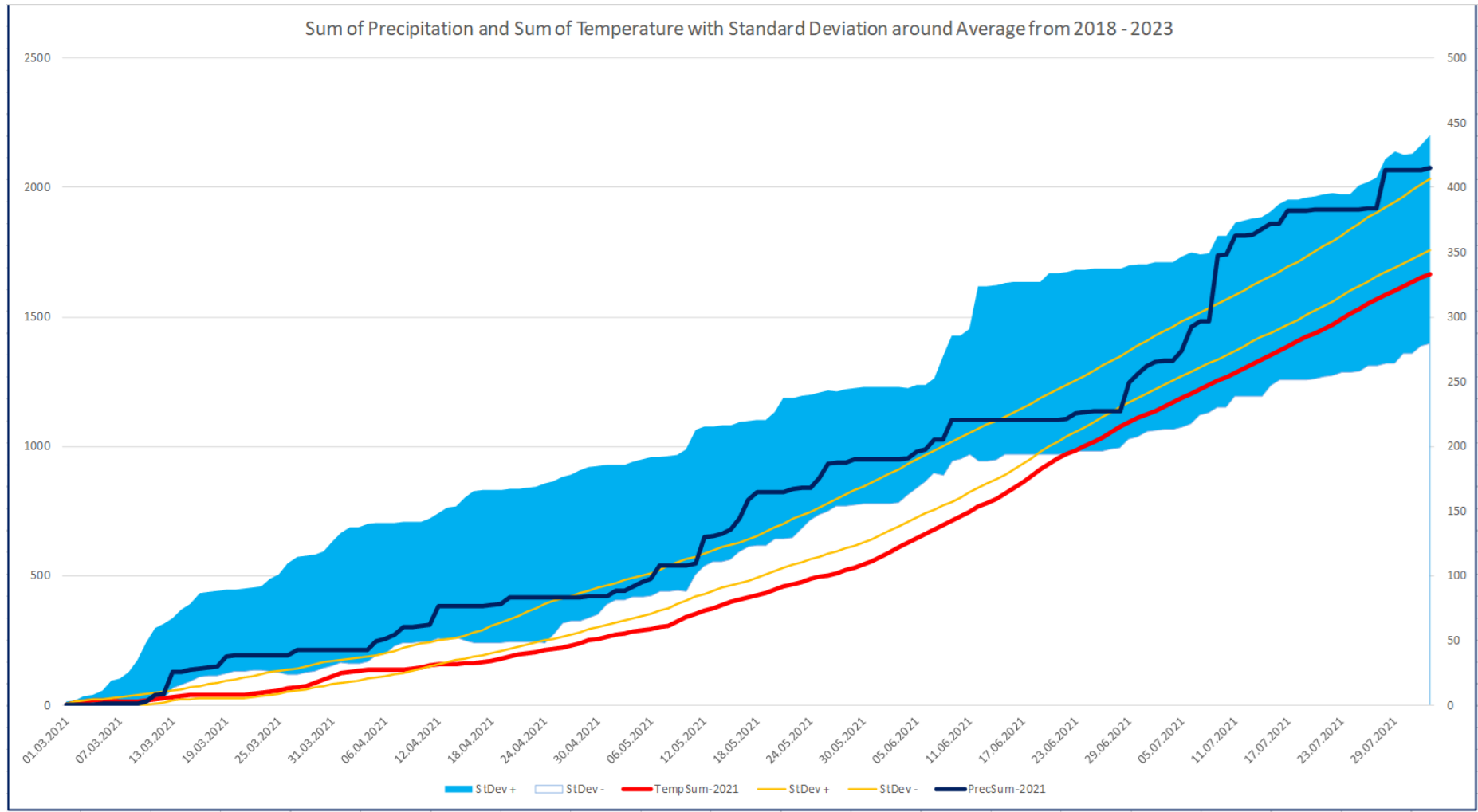
Annex 4

| 2020     | ha  | 20200408 | 20200420 | 20200502 | 20200514 | 20200526 | 20200607 | 20200619 | 20200701 | 20200713 | 20200725 |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Rapeseed | 203 | 93       | 88       | 94       | 97       | 101      | 101      | 106      | 107      | 102      | 95       |
| Wheat    | 207 | 90       | 93       | 94       | 94       | 100      | 103      | 108      | 109      | 109      | 89       |
| Barley   | 116 | 95       | 95       | 94       | 95       | 99       | 103      | 105      | 105      | 103      | 89       |



Annex 5

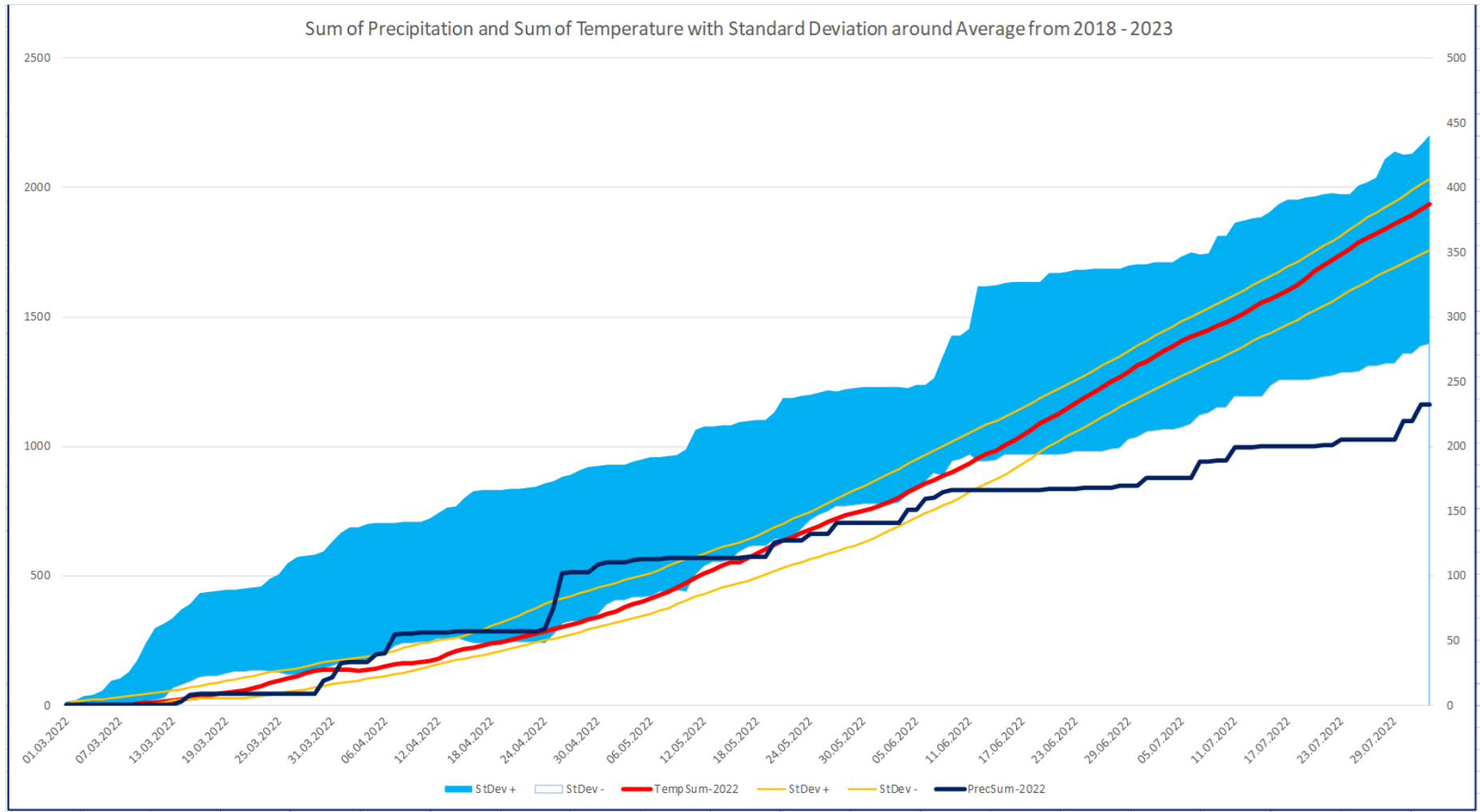
| 2021     | ha  | 20210403 | 20210415 | 20210427 | 20210509 | 20210521 | 20210602 | 20210614 | 20210626 | 20210708 | 20210720 |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Rapeseed | 179 | 108      | 99       | 95       | 89       | 96       | 99       | 104      | 104      | 112      | 107      |
| Wheat    | 234 | 87       | 92       | 94       | 98       | 88       | 75       | 73       | 76       | 94       | 109      |
| Barley   | 201 | 91       | 97       | 102      | 98       | 87       | 74       | 75       | 93       | 114      | 119      |





Annex 6

| 2022     | ha  | 20220410 | 20220422 | 20220504 | 20220516 | 20220528 | 20220609 | 20220621 | 20220703 | 20220715 | 20220727 |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Rapeseed | 166 | 111      | 100      | 103      | 107      | 111      | 110      | 112      | 102      | 84       | 68       |
| Wheat    | 161 | 98       | 113      | 113      | 112      | 107      | 104      | 103      | 97       | 86       | 61       |
| Spelt    | 75  | 93       | 108      | 100      | 86       | 86       | 89       | 92       | 96       | 107      | 88       |



Annex 7

| 2023     | ha  | 20230405 | 20230417 | 20230429 | 20230511 | 20230523 | 20230604 | 20230616 | 20230628 | 20230710 | 20230722 |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Rapeseed | 218 | 101      | 93       | 95       | 98       | 100      | 106      | 112      | 114      | 104      | 106      |
| Wheat    | 254 | 121      | 125      | 125      | 111      | 100      | 93       | 97       | 104      | 105      | 89       |
| Barley   | 231 | 84       | 98       | 101      | 94       | 80       | 81       | 87       | 97       | 89       | 81       |

