

## Ertragsvorhersage für Ackerkulturen basierend auf ESVI

Für einen landwirtschaftlichen Betrieb in Thüringen haben wir auf Basis von historischen Ertragsdaten und dem ESVI (enhanced SAR Vegetation Index) ein Modell entwickelt, das es ermöglicht den Ertrag von Ackerkulturen verlässlich abzuschätzen.

Sentinel-1 Satelliten liefern regelmäßig alle 12 Tage weltweit Daten in einer Auflösung von 20x20 m. Der ESVI basiert auf diesen Daten und kann als Proxy für Frischmasse angesehen werden.

SAR Daten sind unabhängig von Tageslicht und atmosphärischen Einflüssen und daher ideal für Zeitreihenanalysen. In dieser Auswertung verwenden wir als Referenz Ertrags- und Satellitendaten aus den Jahren 2018, 2019, 2020, 2021 und 2022.

**Daten:** Zunächst wurde für alle Einzelflächen und alle Jahre und zu jedem Aufnahmeterrin eine zonale Statistik erstellt, die im Ergebnis den Flächenmittelwert, das Maximum und das Minimum aus den jeweiligen ESVI Datensätzen extrahierte.

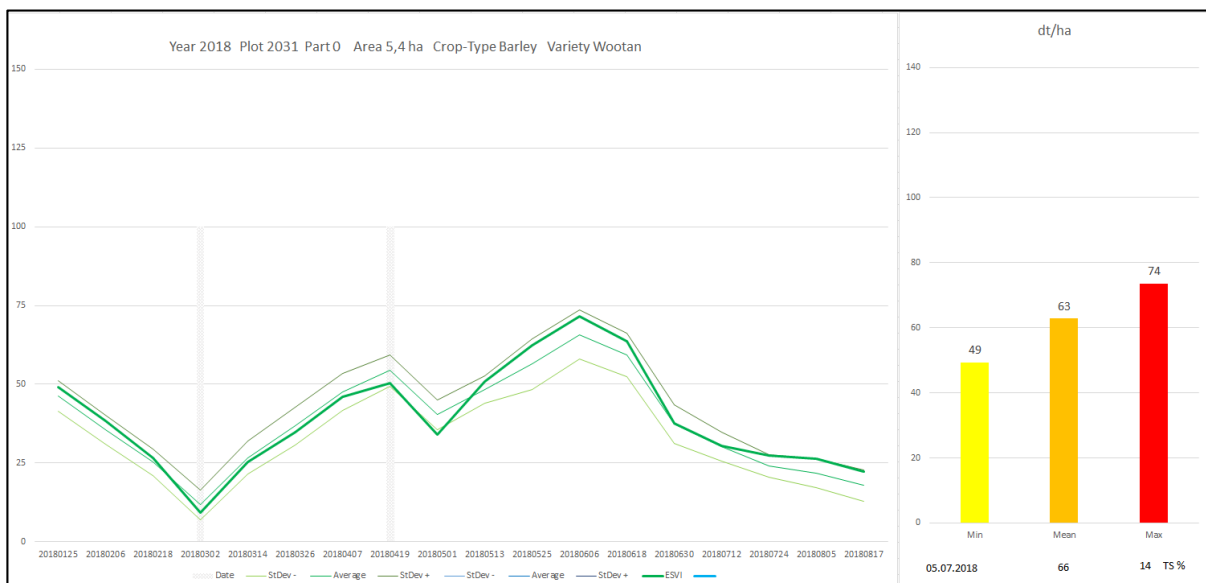
Diese Daten wurden dann in Datentabellen zusammengestellt und mit den Ertragsdaten der jeweiligen Jahre verglichen. Bei den Ertragsdaten handelt es sich um Wiegeprotokolle, die im Anschluss an die Ernte erfasst wurden.

**Methode:** Für die Modellierung der Ertragswerte wurden jeweils 5 aufeinander folgende ESVI Datensätze herangezogen. Es wurde eine Formel für alle Kulturen und alle Jahre verwendet. Es gibt eine Wichtungstabelle für jede Kulturart die für alle Jahre gültig ist.

Je nach Witterungsverlauf kann sich der Beginn der Saison um einige Tage verschieben.

Das Modell erlaubt eine entsprechende Anpassung, wenn sich abzeichnet, dass im aktuellen Jahr die Wachstumsphase im Vergleich zu den Vorjahren deutlich früher oder später beginnt.

Die **Auswertung** für eine Fläche und ein Jahr zeigt zum einen eine etwas dickere grüne Ganglinie. Sie repräsentiert den Mittelwert der Einzelfläche. Die Linie wird flankiert von 3 weiteren Linien, die den Mittelwert über alle Flächen der gleichen Kulturart und des gleichen Jahres zeigt. Zudem die einfache Standardabweichung um den Mittelwert herum als Vertrauensbereich. Die beiden grauen Balken indizieren den Zeitraum für den die Ertragsmodellierung in dem Beispiel berechnet wurde.



Auf der rechten Seite sieht man im Balkendiagramm zum einen die modellierten Ertragswerte für die Einzelfläche (Minimum, Mittelwert und Maximum) und darunter das Erntedatum, den gemessenen Ertrag und den Feuchtegehalt im Korn nach der Ernte.

**Ergebnisse:** Die Tabellen für die Einzeljahre finden sich in den Anhängen 2-6. In der Kopfzeile jeder Tabelle sieht man das Aufnahmedatum des letzten der 5 aufeinander folgenden ESVI Datensätze, die für die Ertragsmodellierung verwendet wurden. Die Tabellenwerte zeigen die Abweichung des modellierten Ertrags vom gemessenen Ertrag/ha.

Ein Wert von 104 in dieser Tabelle bedeutet, dass das Modell den Ertrag um 4 % überschätzt hat.

In der ersten Zeile jeder Tabelle sieht man die Abweichung des modellierten Ertrags über alle Flächen der selben Kulturart und des selben Jahres.

Flächen mit hohen ESVI Werten aber geringen Erträgen wurden massiv überschätzt. Es ist allerdings auch möglich, dass sich bei der Ertrags Erfassung Fehler eingeschlichen haben, weil Erntegut der falschen Fläche zugeordnet wurde, oder der Mähdrescher die Fläche gewechselt hat ohne das Erntegut vorher zu entleeren. Betrachtet man den Durchschnitt über den gesamten Betrieb, sind die Ergebnisse erstaunlich gut.

In der folgenden Tabelle sieht man eine Aggregation über die gesamten 5 Jahre. Das Ergebnis über alle Jahre, Kulturen und Sorten liegt nahe bei 100% im Vergleich zum gemessenen Ertrag. Ertragsvorhersagen können von Anfang April und mit hoher Präzision von Anfang bis Mitte Juni gemacht werden.

| Deviation from yield | Mid April | End April | Early May | Mid May | End May | Early June | Mid June | End June | Mid July | End July |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------------|----------|----------|----------|----------|
| All crops            | 96        | 99        | 100       | 101     | 102     | 101        | 103      | 102      | 102      | 92       |
| Rapeseed             | 101       | 95        | 97        | 100     | 105     | 105        | 108      | 105      | 99       | 92       |
| Wheat                | 96        | 103       | 105       | 107     | 107     | 103        | 102      | 101      | 103      | 89       |
| Barley               | 90        | 96        | 96        | 97      | 96      | 97         | 99       | 100      | 104      | 97       |

Insgesamt kann man sagen, dass das Modell stabil läuft. Auch wenn einzelne Flächen als Ausreisser auffallen, ist das Betriebsergebnis, bzw. der Durchschnittsertrag über alle Flächen nahe am tatsächlichen Ertrag.

Die Standardabweichung zeigt, dass die Ertragsvorhersage von Anfang bis Mitte Mai sowohl für jede einzelne Kultur, als auch über alle Kulturen in 2 von 3 Jahren weniger als 10 % abweicht.

In nur einem von 20 Jahren wäre zu erwarten, dass die Ertragsprognose um mehr als 20% abweicht.

| Standard Deviation | Mid April | End April | Early May | Mid May | End May | Early June | Mid June | End June | Mid July | End July |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------------|----------|----------|----------|----------|
| All crops          | 9,8       | 10,6      | 8,9       | 10,0    | 12,1    | 15,5       | 15,5     | 11,3     | 9,3      | 14,4     |
| Rapeseed           | 8,8       | 4,5       | 5,7       | 9,8     | 11,3    | 9,1        | 9,2      | 6,8      | 9,2      | 14,0     |
| Wheat              | 8,2       | 9,1       | 9,4       | 9,0     | 11,7    | 14,7       | 15,0     | 14,2     | 10,7     | 16,1     |
| Barley             | 10,3      | 14,9      | 9,6       | 6,5     | 9,5     | 21,2       | 20,7     | 12,0     | 7,4      | 12,8     |

Diese Daten können die Planung bzgl. der Erntelogistik und der benötigten Lagerkapazität verbessern. Weitere Anwendungen, die auf einer Ertragsmodellierung basieren, finden sich in der Ernteversicherung und im Agrarhandel.

Betrachtet man die aktuelle Situation in der Ukraine, wird deutlich wie wichtig eine verlässliche Ertragsvorhersage sowohl für die Produzenten als auch für die Abnehmerländer ist.

**Implementierung:** Das GIS Software Unternehmen **ESRI** baut eine Web basierte Anwendung in der die Ertragsvorhersage bereits implementiert ist. Das Werkzeug ermöglicht dem Landwirt Einzelflächen oder alle Flächen einer Kulturart zu selektieren um basierend auf ESVI Daten eine Ertragsprognose durchzuführen. Nutzer die sich für diesen Service registrieren, haben auch Zugang zu anderen Kartenprodukten wie dem SWI (SAR Water Index), der geeignet ist um den Feuchtegehalt in Kulturpflanzen zu überwachen .

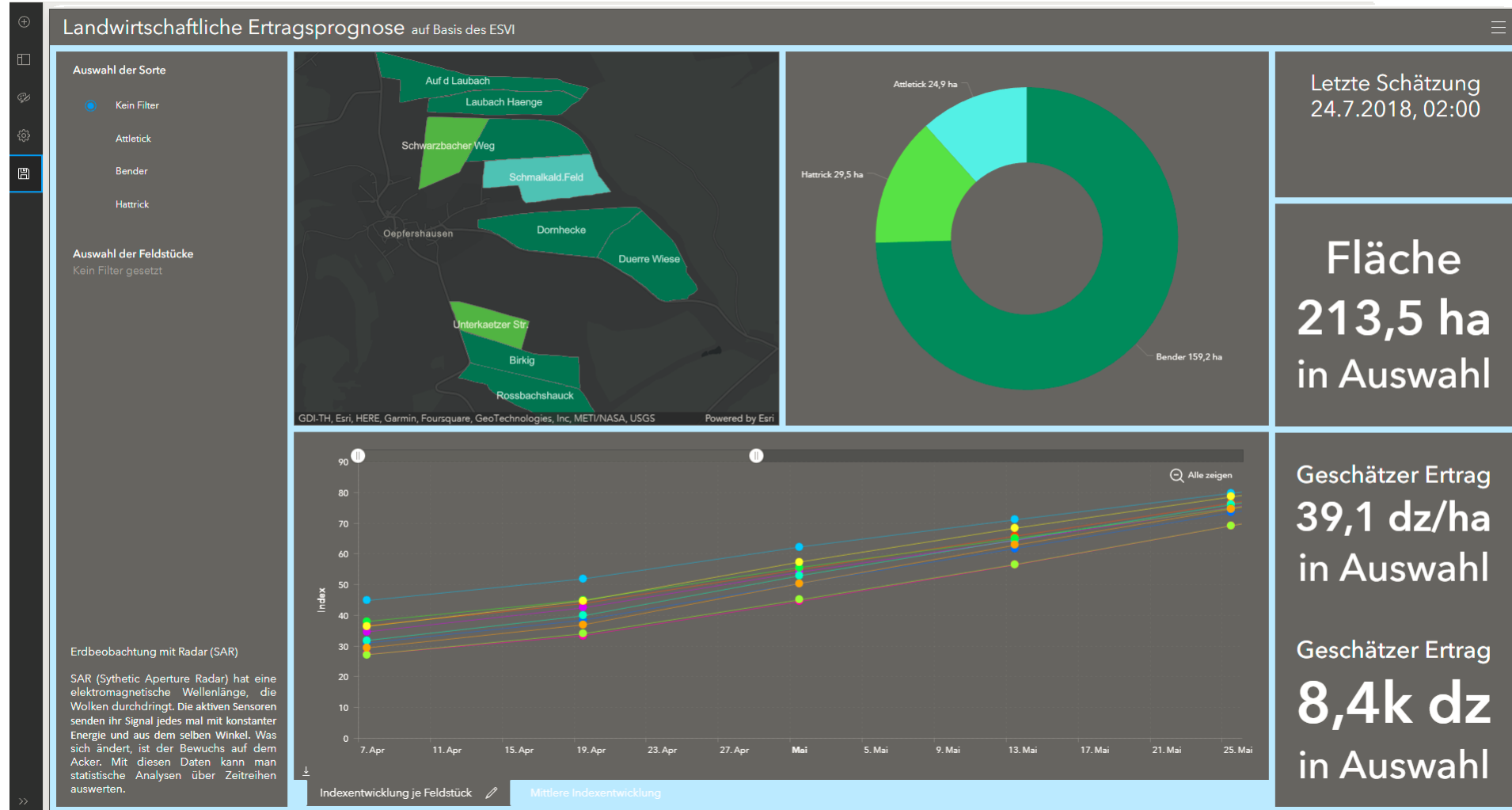
In ArcGIS online lassen sich damit saisonale und jährliche Veränderungen on-the-fly abbilden.

Die Daten werden regelmäßig für die Plattform mit einem zeitlichen Verzug von weniger als 48 Stunden aktualisiert und auf ArcGIS Imagery bereit gestellt.

## Anhang 1: Dashboard in ArcGIS Insights

Das interactive Werkzeug ermöglicht dem Landwirt eine Auswahl nach Kulturart und Sorte, um eine aktuelle Ertragsprognose zu erstellen, die auf den letzten ESVI Daten beruht.

Ertragsprognose



**Anhang 2: Ergebnisse von allen Flächen, den 3 Kulturarten Raps, Winterweizen, Wintergerste im Jahr 2018. Die erste Zeile unter der Kopfzeile zeigt das Ergebniss über alle Flächen einer Kulturart.**

| Plot ID | Variety    | Yield | 20180407 | 20180419 | 20180501 | 20180513 | 20180525 | 20180606 | 20180618 | 20180630 | 20180712 | 20180724 |
|---------|------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Average | Rapeseed   | 39    | 88       | 92       | 104      | 115      | 123      | 120      | 123      | 117      | 102      | 88       |
| 6       | Bender     | 41    | 77       | 82       | 96       | 107      | 115      | 113      | 116      | 112      | 100      | 86       |
| 12      | Hattrick   | 39    | 70       | 74       | 90       | 106      | 119      | 119      | 123      | 122      | 114      | 104      |
| 14      | Bender     | 39    | 96       | 100      | 111      | 121      | 126      | 121      | 122      | 115      | 96       | 76       |
| 15      | Bender     | 32    | 141      | 137      | 144      | 150      | 155      | 150      | 151      | 135      | 108      | 86       |
| 16      | Hattrick   | 36    | 101      | 104      | 116      | 128      | 135      | 131      | 134      | 131      | 119      | 110      |
| 1000    | Bender     | 43    | 77       | 84       | 98       | 108      | 114      | 111      | 112      | 107      | 92       | 79       |
| 1008    | Attletick  | 41    | 88       | 91       | 101      | 110      | 117      | 114      | 117      | 110      | 95       | 79       |
| 1011    | Bender     | 41    | 69       | 74       | 88       | 101      | 112      | 112      | 117      | 115      | 105      | 90       |
| 1013    | Bender     | 40    | 96       | 96       | 105      | 112      | 118      | 116      | 120      | 114      | 97       | 81       |
| 2010    | Bender     | 38    | 82       | 89       | 106      | 120      | 129      | 125      | 126      | 118      | 100      | 87       |
| Plot ID | Variety    | Yield | 20180407 | 20180419 | 20180501 | 20180513 | 20180525 | 20180606 | 20180618 | 20180630 | 20180712 | 20180724 |
| Average | Wheat      | 68    | 93       | 113      | 113      | 112      | 116      | 117      | 117      | 118      | 113      | 89       |
| 7       | Reform     | 77    | 92       | 115      | 105      | 96       | 94       | 92       | 96       | 103      | 104      | 79       |
| 1019    | Apostel    | 79    | 94       | 103      | 100      | 96       | 98       | 103      | 107      | 108      | 102      | 81       |
| 1021    | Boregar    | 69    | 80       | 91       | 99       | 104      | 111      | 111      | 107      | 103      | 100      | 96       |
| 1025    | Reform     | 67    | 101      | 126      | 129      | 124      | 123      | 124      | 124      | 128      | 126      | 99       |
| 1026    | Apostel    | 76    | 78       | 94       | 95       | 93       | 95       | 98       | 99       | 101      | 97       | 79       |
| 1028    | Boregar    | 67    | 59       | 82       | 93       | 101      | 109      | 111      | 107      | 102      | 92       | 72       |
| 1034    | Reform     | 73    | 109      | 125      | 117      | 107      | 106      | 108      | 109      | 114      | 118      | 107      |
| 1035    | Reform     | 68    | 98       | 127      | 125      | 123      | 124      | 124      | 126      | 125      | 116      | 88       |
| 1039    | Boregar    | 66    | 79       | 101      | 109      | 112      | 121      | 127      | 127      | 121      | 103      | 67       |
| 1042    | Reform     | 71    | 100      | 121      | 124      | 120      | 119      | 116      | 115      | 119      | 116      | 88       |
| 1043    | Reform     | 75    | 84       | 104      | 101      | 96       | 97       | 97       | 99       | 106      | 108      | 84       |
| 1045    | Reform     | 68    | 103      | 119      | 108      | 101      | 102      | 104      | 107      | 112      | 111      | 86       |
| 2012    | Boregar    | 61    | 93       | 111      | 117      | 121      | 126      | 124      | 123      | 123      | 115      | 88       |
| 2026    | Boregar    | 65    | 77       | 95       | 101      | 110      | 123      | 129      | 129      | 128      | 123      | 99       |
| 7004    | Apostel    | 67    | 106      | 123      | 117      | 116      | 123      | 128      | 130      | 132      | 128      | 97       |
| 7010    | RGT Sacran | 59    | 143      | 150      | 136      | 130      | 132      | 131      | 130      | 132      | 127      | 101      |
| 7020    | Apostel    | 68    | 81       | 99       | 100      | 102      | 109      | 113      | 115      | 119      | 112      | 84       |
| 8028    | Reform     | 59    | 90       | 123      | 138      | 146      | 152      | 150      | 145      | 138      | 128      | 104      |
| 8031    | Reform     | 60    | 107      | 146      | 158      | 158      | 158      | 153      | 149      | 140      | 125      | 104      |
| Plot ID | Variety    | Yield | 20180407 | 20180419 | 20180501 | 20180513 | 20180525 | 20180606 | 20180618 | 20180630 | 20180712 | 20180724 |
| Average | Barley     | 66    | 99       | 117      | 108      | 107      | 111      | 129      | 129      | 117      | 106      | 92       |
| 2030    | Wootan     | 48    | 118      | 139      | 134      | 143      | 160      | 185      | 176      | 153      | 133      | 113      |
| 2031    | Wootan     | 66    | 94       | 109      | 97       | 102      | 113      | 137      | 139      | 124      | 110      | 96       |
| 2100    | Wootan     | 50    | 123      | 143      | 138      | 149      | 165      | 184      | 171      | 154      | 139      | 125      |
| 2103    | Quadriga   | 64    | 97       | 114      | 109      | 108      | 113      | 134      | 137      | 134      | 130      | 114      |
| 2104    | Wootan     | 53    | 117      | 140      | 131      | 137      | 149      | 169      | 163      | 144      | 126      | 112      |
| 3000    | Quadriga   | 77    | 87       | 107      | 102      | 98       | 95       | 108      | 109      | 101      | 95       | 85       |
| 3003    |            |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 3010    | Quadriga   | 74    | 104      | 118      | 105      | 97       | 96       | 117      | 125      | 119      | 109      | 94       |
| 3012    | Wootan     | 73    | 89       | 106      | 96       | 95       | 101      | 125      | 129      | 113      | 98       | 84       |
| 3101    | Wootan     | 64    | 116      | 127      | 111      | 108      | 116      | 135      | 129      | 110      | 96       | 85       |
| 3102    | Wootan     | 69    | 116      | 129      | 117      | 112      | 114      | 129      | 124      | 107      | 94       | 82       |
| 3110    | Wootan     | 66    | 96       | 119      | 104      | 101      | 104      | 120      | 120      | 106      | 95       | 80       |
| 3120    | Wootan     | 77    | 91       | 102      | 96       | 91       | 89       | 108      | 114      | 108      | 99       | 81       |
| 3130    | Wootan     | 71    | 91       | 119      | 114      | 115      | 116      | 133      | 132      | 114      | 97       | 73       |
| 3800    | Wootan     | 68    | 81       | 99       | 101      | 96       | 85       | 85       | 84       | 88       | 90       | 84       |
| 3801    | Wootan     | 65    | 64       | 86       | 90       | 96       | 97       | 115      | 116      | 101      | 88       | 72       |

### Anhang 3: Ergebnisse aus dem Jahr 2019.

| Plot ID | Variety     | Yield | 20190402 | 20190414 | 20190426 | 20190508 | 20190520 | 20190601 | 20190613 | 20190625 | 20190707 | 20190719 |
|---------|-------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Average | Rapeseed    | 41    | 104      | 97       | 90       | 92       | 92       | 95       | 95       | 97       | 95       | 104      |
| 2103    | LG Architek | 46    | 106      | 96       | 82       | 77       | 75       | 74       | 71       | 72       | 75       | 89       |
| 3000    | Bender      | 40    | 108      | 103      | 97       | 100      | 101      | 104      | 105      | 107      | 101      | 103      |
| 3003    | Bender      | 45    | 107      | 96       | 85       | 83       | 81       | 83       | 84       | 88       | 92       | 107      |
| 3010    | Bender      | 40    | 87       | 86       | 86       | 94       | 99       | 104      | 104      | 106      | 102      | 107      |
| 3012    | LG Architek | 39    | 119      | 112      | 101      | 100      | 98       | 101      | 103      | 104      | 100      | 106      |
| 3101    | Bender      | 39    | 108      | 101      | 95       | 99       | 100      | 101      | 100      | 99       | 97       | 109      |
| 3102    | Bender      | 40    | 105      | 98       | 90       | 92       | 95       | 98       | 98       | 99       | 97       | 110      |
| 3110    | Bender      | 39    | 108      | 103      | 97       | 101      | 101      | 104      | 105      | 107      | 104      | 110      |
| 3120    | Bender      | 45    | 93       | 85       | 79       | 83       | 84       | 87       | 88       | 90       | 91       | 97       |
| 3130    | Bender      | 42    | 99       | 90       | 87       | 93       | 95       | 98       | 99       | 101      | 98       | 104      |
| Plot ID | Variety     | Yield | 20190402 | 20190414 | 20190426 | 20190508 | 20190520 | 20190601 | 20190613 | 20190625 | 20190707 | 20190719 |
| Average | Wheat       | 71    | 110      | 104      | 112      | 117      | 122      | 114      | 109      | 107      | 111      | 98       |
| 6       | Reform      | 72    | 118      | 112      | 116      | 118      | 119      | 111      | 104      | 101      | 109      | 97       |
| 12      | LG Initial  | 84    | 108      | 103      | 105      | 103      | 104      | 98       | 96       | 99       | 104      | 88       |
| 14      | Apostel     | 68    | 128      | 118      | 125      | 129      | 131      | 120      | 115      | 111      | 114      | 98       |
| 15      | Apostel     | 66    | 145      | 134      | 137      | 136      | 135      | 122      | 118      | 115      | 120      | 106      |
| 16      | LG Initial  | 100   | 104      | 90       | 90       | 91       | 93       | 87       | 84       | 85       | 88       | 75       |
| 1000    | Apostel     | 72    | 139      | 124      | 124      | 124      | 122      | 107      | 101      | 101      | 109      | 94       |
| 1008    | Reform      | 69    | 125      | 125      | 131      | 132      | 131      | 118      | 110      | 105      | 113      | 103      |
| 1011    | Asory       | 83    | 101      | 94       | 100      | 105      | 110      | 104      | 97       | 94       | 101      | 93       |
| 1013    | Reform      | 78    | 100      | 88       | 96       | 104      | 110      | 105      | 97       | 91       | 97       | 89       |
| 1021    | Euclide     | 56    | 103      | 103      | 118      | 131      | 140      | 136      | 130      | 124      | 131      | 120      |
| 2010    | Apostel     | 71    | 114      | 104      | 112      | 120      | 125      | 117      | 113      | 109      | 110      | 93       |
| 3800    | Reform      | 60    | 65       | 77       | 100      | 122      | 139      | 133      | 128      | 128      | 136      | 127      |
| 3801    | Reform      | 40    | 56       | 82       | 114      | 145      | 172      | 177      | 179      | 172      | 163      | 139      |
| Plot ID | Variety     | Yield | 20190402 | 20190414 | 20190426 | 20190508 | 20190520 | 20190601 | 20190613 | 20190625 | 20190707 | 20190719 |
| Average | Barley      | 85    | 72       | 75       | 82       | 89       | 88       | 82       | 85       | 86       | 93       | 89       |
| 1003    | Quadriga    | 70    | 115      | 113      | 118      | 123      | 114      | 99       | 93       | 90       | 99       | 99       |
| 1006    | Quadriga    | 96    | 71       | 71       | 77       | 83       | 79       | 71       | 75       | 76       | 80       | 76       |
| 1007    | Quadriga    | 81    | 100      | 102      | 105      | 104      | 99       | 91       | 90       | 89       | 99       | 99       |
| 1018    | Quadriga    | 114   | 68       | 69       | 74       | 78       | 74       | 63       | 61       | 60       | 66       | 62       |
| 5201    | Quadriga    | 93    | 75       | 77       | 81       | 84       | 82       | 74       | 80       | 85       | 91       | 85       |
| 5202    | SY Galileoc | 91    | 66       | 62       | 65       | 70       | 71       | 68       | 73       | 76       | 84       | 80       |
| 5203    | Quadriga    | 90    | 84       | 83       | 88       | 92       | 90       | 85       | 89       | 90       | 98       | 91       |
| 5204    | SY Galileoc | 98    | 73       | 73       | 76       | 79       | 76       | 69       | 77       | 84       | 93       | 88       |
| 5400    | Meridian    | 70    | 106      | 103      | 112      | 124      | 134      | 139      | 143      | 142      | 159      | 143      |
| 5403    | SY Galileoc | 81    | 74       | 79       | 87       | 94       | 96       | 90       | 86       | 82       | 91       | 92       |
| 8030    | Wootan      | 78    | 78       | 79       | 86       | 95       | 96       | 91       | 99       | 100      | 97       | 85       |
| 8031    | Wootan      | 96    | 60       | 64       | 68       | 70       | 68       | 62       | 72       | 80       | 85       | 80       |
| 8032    | Wootan      | 73    | 64       | 71       | 82       | 93       | 94       | 91       | 90       | 86       | 86       | 82       |
| 8033    | SY Galileoc | 96    | 55       | 54       | 58       | 61       | 58       | 52       | 64       | 75       | 88       | 87       |
| 8134    | Wootan      | 76    | 88       | 88       | 95       | 102      | 101      | 96       | 99       | 101      | 112      | 109      |
| 8140    | SY Galileoc | 63    | 54       | 65       | 90       | 114      | 117      | 110      | 112      | 110      | 122      | 119      |
| 8301    | SY Galileoc | 94    | 64       | 66       | 75       | 86       | 88       | 83       | 80       | 75       | 83       | 83       |
| 8302    | SY Galileoc | 64    | 48       | 64       | 84       | 98       | 95       | 87       | 85       | 83       | 93       | 91       |
| 8304    | SY Galileoc | 82    | 44       | 50       | 64       | 79       | 82       | 78       | 80       | 77       | 82       | 76       |

Im Fall von Gerste, scheint die Sorte Meridian ein anderes Verhältnis von Frischmasse zu Ertrag zu haben als die anderen Sorten.

#### Anhang 4: Die Ergebnisse für 2020.

| Plot ID | Variety    | Yield | 20200408 | 20200420 | 20200502 | 20200514 | 20200526 | 20200607 | 20200619 | 20200701 | 20200713 | 20200725 |
|---------|------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Average | Rapeseed   | 42    | 93       | 88       | 94       | 97       | 101      | 101      | 106      | 107      | 102      | 95       |
| 1003    | Bender     | 51    | 84       | 81       | 85       | 87       | 87       | 86       | 89       | 89       | 84       | 74       |
| 1006    | Bender     | 47    | 89       | 84       | 90       | 95       | 98       | 97       | 99       | 97       | 88       | 73       |
| 1007    | Bender     | 48    | 93       | 90       | 94       | 94       | 96       | 94       | 97       | 96       | 93       | 89       |
| 1018    | Bender     | 52    | 81       | 78       | 83       | 88       | 91       | 89       | 92       | 92       | 89       | 88       |
| 3800    | Bender     | 47    | 95       | 84       | 84       | 84       | 87       | 90       | 96       | 97       | 96       | 95       |
| 3801    | Bender     | 46    | 93       | 85       | 86       | 85       | 87       | 90       | 96       | 96       | 90       | 77       |
| 5201    | Bender     | 44    | 105      | 96       | 98       | 98       | 100      | 100      | 105      | 106      | 102      | 93       |
| 5202    | Bender     | 42    | 101      | 94       | 95       | 94       | 97       | 99       | 106      | 110      | 114      | 117      |
| 5203    | Bender     | 39    | 104      | 99       | 104      | 105      | 109      | 111      | 117      | 120      | 124      | 129      |
| 5204    | Bender     | 41    | 85       | 86       | 98       | 106      | 111      | 111      | 114      | 113      | 105      | 95       |
| 5400    | Bender     | 32    | 67       | 73       | 93       | 112      | 116      | 120      | 125      | 123      | 111      | 98       |
| 5403    | Bender     | 31    | 35       | 47       | 78       | 105      | 127      | 136      | 145      | 146      | 140      | 133      |
| 8029    | Bender     | 41    | 107      | 101      | 103      | 104      | 106      | 107      | 112      | 111      | 102      | 93       |
| 8030    | Bender     | 41    | 109      | 101      | 104      | 105      | 107      | 108      | 113      | 113      | 102      | 88       |
| 8031    | Bender     | 44    | 106      | 97       | 99       | 98       | 100      | 100      | 105      | 107      | 108      | 107      |
| 8032    | Bender     | 36    | 100      | 94       | 98       | 100      | 106      | 109      | 116      | 113      | 101      | 94       |
| 8033    | Bender     | 40    | 113      | 103      | 105      | 104      | 105      | 105      | 112      | 112      | 105      | 96       |
| Plot ID | Variety    | Yield | 20200408 | 20200420 | 20200502 | 20200514 | 20200526 | 20200607 | 20200619 | 20200701 | 20200713 | 20200725 |
| Average | Wheat      | 77    | 90       | 93       | 94       | 94       | 100      | 103      | 108      | 109      | 109      | 89       |
| 3000    | Asory      | 87    | 76       | 79       | 84       | 90       | 99       | 102      | 103      | 101      | 101      | 80       |
| 3003    | Reform     | 79    | 110      | 108      | 99       | 90       | 93       | 99       | 107      | 108      | 107      | 85       |
| 3004    | Asory      | 92    | 48       | 60       | 69       | 75       | 84       | 85       | 85       | 84       | 91       | 85       |
| 3010    | Apostel    | 76    | 100      | 101      | 100      | 99       | 104      | 105      | 109      | 110      | 109      | 85       |
| 3011    | Asory      | 80    | 92       | 97       | 94       | 89       | 90       | 89       | 95       | 102      | 109      | 94       |
| 3012    | Reform     | 75    | 89       | 95       | 99       | 101      | 109      | 113      | 116      | 113      | 111      | 86       |
| 3013    | Asory      | 67    | 104      | 106      | 107      | 110      | 120      | 128      | 139      | 141      | 144      | 118      |
| 3101    | Reform     | 59    | 114      | 107      | 104      | 104      | 110      | 124      | 140      | 143      | 140      | 110      |
| 3102    | Reform     | 75    | 106      | 105      | 103      | 100      | 103      | 103      | 106      | 106      | 105      | 82       |
| 3110    | Apostel    | 78    | 84       | 87       | 84       | 81       | 83       | 83       | 88       | 95       | 96       | 76       |
| 3120    | Reform     | 90    | 88       | 90       | 87       | 84       | 88       | 86       | 84       | 83       | 85       | 70       |
| 3130    | Apostel    | 69    | 91       | 95       | 102      | 108      | 116      | 122      | 127      | 123      | 117      | 89       |
| 5205    |            | 74    | 85       | 89       | 97       | 105      | 118      | 124      | 128      | 128      | 130      | 106      |
| Plot ID | Variety    | Yield | 20200408 | 20200420 | 20200502 | 20200514 | 20200526 | 20200607 | 20200619 | 20200701 | 20200713 | 20200725 |
| Average | Barley     | 67    | 95       | 95       | 94       | 95       | 99       | 103      | 105      | 105      | 103      | 89       |
| 7       |            |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 1019    | SY Galileo | 82    | 88       | 91       | 90       | 88       | 90       | 97       | 106      | 116      | 122      | 116      |
| 1021    | SY Galileo | 53    | 108      | 111      | 115      | 120      | 123      | 117      | 118      | 127      | 134      | 128      |
| 1025    |            |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 1026    | SY Galileo | 80    | 69       | 70       | 73       | 77       | 84       | 93       | 97       | 95       | 93       | 78       |
| 1028    | SY Galileo | 69    | 81       | 80       | 84       | 91       | 102      | 114      | 116      | 109      | 98       | 76       |
| 1034    | SY Galileo | 84    | 81       | 80       | 78       | 77       | 86       | 97       | 99       | 98       | 101      | 95       |
| 1035    |            |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 1039    |            |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 1042    | SY Galileo | 54    | 121      | 122      | 121      | 122      | 123      | 125      | 135      | 142      | 135      | 118      |
| 1043    | SY Galileo | 70    | 88       | 86       | 85       | 86       | 89       | 98       | 106      | 110      | 109      | 91       |
| 1045    |            |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 7004    | SY Galileo | 57    | 109      | 108      | 107      | 107      | 104      | 111      | 124      | 133      | 126      | 100      |
| 7010    | SY Galileo | 76    | 96       | 90       | 84       | 79       | 89       | 106      | 115      | 111      | 103      | 85       |
| 7020    | SY Galileo | 40    | 157      | 171      | 175      | 178      | 182      | 180      | 182      | 183      | 176      | 143      |

Lediglich Flächen mit auffallend geringen Ertragswerten wurden überschätzt.

**Anhang 5:** Im Jahr 2021 war der Saisonbeginn etwas verspätet im Vergleich zu den Vorjahren. Das Modell ermöglicht den Saisonstart anzupassen was in dem Fall mit einer Verzögerung von 18 Tagen ausgeglichen wurde.

| Plot ID | Variety    | Yield | 20210403 | 20210415 | 20210427 | 20210509 | 20210521 | 20210602 | 20210614 | 20210626 | 20210708 | 20210720 |
|---------|------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Average | Rapeseed   | 44    | 108      | 99       | 95       | 89       | 96       | 99       | 104      | 104      | 112      | 107      |
| 7       | Ludger     | 42    | 129      | 116      | 108      | 96       | 100      | 105      | 110      | 110      | 118      | 106      |
| 16      |            | 43    | 120      | 111      | 107      | 98       | 103      | 107      | 110      | 108      | 116      | 116      |
| 1019    | Heiner     | 39    | 104      | 100      | 101      | 97       | 103      | 104      | 111      | 112      | 123      | 120      |
| 1021    | Ludger     | 42    | 83       | 79       | 79       | 81       | 89       | 90       | 99       | 103      | 115      | 115      |
| 1025    | Heiner     | 43    | 116      | 105      | 98       | 89       | 94       | 97       | 105      | 106      | 116      | 115      |
| 1026    |            | 46    | 84       | 82       | 83       | 82       | 90       | 93       | 99       | 99       | 107      | 101      |
| 1028    | Ludger     | 47    | 104      | 95       | 91       | 84       | 90       | 93       | 97       | 96       | 104      | 99       |
| 1034    | Heiner     | 47    | 90       | 82       | 79       | 76       | 84       | 88       | 95       | 95       | 103      | 97       |
| 1035    | Ludger     | 42    | 124      | 111      | 106      | 99       | 106      | 109      | 112      | 109      | 114      | 100      |
| 1039    | Heiner     | 47    | 98       | 92       | 91       | 84       | 87       | 88       | 91       | 91       | 100      | 96       |
| 1042    | Heiner     | 39    | 120      | 109      | 106      | 101      | 108      | 111      | 116      | 116      | 126      | 126      |
| 1043    | Heiner     | 40    | 111      | 101      | 95       | 90       | 98       | 104      | 112      | 112      | 122      | 117      |
| 1045    | Ludger     | 45    | 112      | 99       | 92       | 85       | 91       | 96       | 102      | 101      | 108      | 96       |
| 7004    |            | 43    | 120      | 111      | 106      | 97       | 101      | 104      | 108      | 106      | 115      | 114      |
| 7010    | Ludger     | 45    | 106      | 97       | 94       | 88       | 95       | 99       | 103      | 102      | 110      | 98       |
| 7020    | Heiner     | 45    | 108      | 101      | 94       | 88       | 94       | 98       | 103      | 101      | 109      | 105      |
| Plot ID | Variety    | Yield | 20210403 | 20210415 | 20210427 | 20210509 | 20210521 | 20210602 | 20210614 | 20210626 | 20210708 | 20210720 |
| Average | Wheat      | 83    | 87       | 92       | 94       | 98       | 88       | 75       | 73       | 76       | 94       | 109      |
| 1003    | Asory      | 82    | 110      | 111      | 107      | 109      | 96       | 79       | 76       | 75       | 93       | 117      |
| 1006    | Asory      | 87    | 63       | 79       | 89       | 99       | 93       | 83       | 84       | 82       | 94       | 108      |
| 1007    | Asory      | 81    | 104      | 106      | 102      | 105      | 93       | 78       | 78       | 81       | 100      | 115      |
| 3800    | Emmerick   | 79    | 85       | 94       | 104      | 114      | 99       | 79       | 72       | 78       | 96       | 110      |
| 3801    | Emmerick   | 82    | 61       | 72       | 82       | 93       | 85       | 71       | 70       | 79       | 100      | 117      |
| 5200    | Asory      | 81    | 119      | 115      | 109      | 105      | 87       | 73       | 72       | 77       | 99       | 114      |
| 5202    | Asory      | 96    | 74       | 80       | 80       | 77       | 63       | 52       | 52       | 58       | 77       | 89       |
| 5204    | Asory      | 99    | 86       | 88       | 89       | 87       | 73       | 60       | 57       | 61       | 81       | 93       |
| 5205    | Asory      | 95    | 116      | 113      | 101      | 95       | 79       | 67       | 67       | 70       | 88       | 100      |
| 5400    | Asory      | 82    | 74       | 87       | 95       | 101      | 88       | 72       | 69       | 73       | 93       | 106      |
| 8028    | Foxx       | 68    | 97       | 105      | 108      | 122      | 122      | 111      | 108      | 104      | 119      | 135      |
| 8029    | Foxx       | 80    | 124      | 116      | 109      | 114      | 105      | 92       | 90       | 89       | 102      | 115      |
| 8030    | Asory      | 85    | 76       | 86       | 90       | 98       | 92       | 80       | 77       | 77       | 96       | 108      |
| 8031    | Asory      | 79    | 59       | 73       | 82       | 96       | 95       | 86       | 83       | 83       | 101      | 117      |
| 8032    | Asory      | 80    | 41       | 49       | 54       | 66       | 68       | 60       | 58       | 61       | 81       | 96       |
| 8033    | Asory      | 79    | 98       | 107      | 105      | 103      | 88       | 73       | 73       | 80       | 103      | 118      |
| Plot ID | Variety    | Yield | 20210403 | 20210415 | 20210427 | 20210509 | 20210521 | 20210602 | 20210614 | 20210626 | 20210708 | 20210720 |
| Average | Barley     | 74    | 91       | 97       | 102      | 98       | 87       | 74       | 75       | 93       | 114      | 119      |
| 6       | SY Galileo | 70    | 97       | 103      | 108      | 106      | 97       | 82       | 76       | 90       | 111      | 118      |
| 12      | SY Galileo | 82    | 79       | 83       | 87       | 85       | 78       | 69       | 70       | 88       | 108      | 114      |
| 14      | SY Galileo | 81    | 95       | 99       | 100      | 93       | 81       | 71       | 74       | 91       | 110      | 110      |
| 15      | SY Galileo | 76    | 93       | 97       | 100      | 94       | 81       | 69       | 78       | 97       | 116      | 119      |
| 1000    | SY Galileo | 71    | 97       | 98       | 99       | 93       | 83       | 71       | 83       | 104      | 124      | 132      |
| 1008    | SY Galileo | 79    | 89       | 97       | 102      | 98       | 87       | 72       | 69       | 85       | 104      | 106      |
| 1011    | SY Galileo | 70    | 99       | 105      | 110      | 107      | 94       | 79       | 76       | 94       | 119      | 128      |
| 1013    | SY Galileo | 68    | 98       | 106      | 114      | 112      | 100      | 83       | 81       | 100      | 124      | 132      |
| 2010    | SY Galileo | 72    | 76       | 88       | 96       | 96       | 87       | 73       | 75       | 93       | 112      | 120      |

**Anhang 6: Im Jahr 2022 gab es keine Ertragsdaten für Gerste, jedoch für 2 Dinkelflächen.**

| Plot ID | Variety        | Yield | 20220410 | 20220422 | 20220504 | 20220516 | 20220528 | 20220609 | 20220621 | 20220703 | 20220715 | 20220727 |
|---------|----------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Average | Rapeseed       | 40    | 111      | 100      | 103      | 107      | 111      | 110      | 112      | 102      | 84       | 68       |
|         | 6 Ludger       | 43    | 106      | 93       | 93       | 96       | 100      | 99       | 103      | 95       | 82       | 69       |
|         | 12 Ludger      | 40    | 113      | 100      | 101      | 105      | 109      | 109      | 113      | 106      | 91       | 75       |
|         | 14             |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|         | 15 Daktari     | 38    | 121      | 109      | 113      | 117      | 120      | 117      | 118      | 101      | 78       | 60       |
|         | 1000           |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|         | 1008 Ludger    | 40    | 116      | 102      | 104      | 109      | 113      | 111      | 113      | 99       | 80       | 65       |
|         | 1011 Ludger    | 40    | 111      | 100      | 103      | 108      | 113      | 112      | 116      | 110      | 96       | 79       |
|         | 1013 Ludger    | 42    | 98       | 91       | 95       | 100      | 104      | 103      | 107      | 101      | 90       | 75       |
|         | 2010 Daktari   | 38    | 109      | 99       | 104      | 110      | 115      | 113      | 116      | 104      | 83       | 63       |
|         |                |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Plot ID | Variety        | Yield | 20220410 | 20220422 | 20220504 | 20220516 | 20220528 | 20220609 | 20220621 | 20220703 | 20220715 | 20220727 |
| Average | Wheat          | 63    | 98       | 113      | 113      | 112      | 107      | 104      | 103      | 97       | 86       | 61       |
|         | 7 Asory        | 73    | 96       | 106      | 103      | 98       | 93       | 93       | 97       | 99       | 88       | 59       |
|         | 16 Asory       | 64    | 99       | 113      | 113      | 112      | 110      | 110      | 112      | 106      | 92       | 64       |
|         | 1019 Asory     | 66    | 97       | 114      | 114      | 113      | 111      | 107      | 104      | 97       | 91       | 69       |
|         | 1021 Asory     | 57    | 82       | 98       | 109      | 120      | 117      | 113      | 108      | 106      | 111      | 97       |
|         | 1025 Asory     | 62    | 97       | 110      | 112      | 109      | 100      | 96       | 97       | 96       | 89       | 63       |
|         | 1026 Asory     | 64    | 83       | 96       | 100      | 106      | 106      | 103      | 99       | 86       | 70       | 44       |
|         | 1028 Asory     | 64    | 90       | 105      | 105      | 102      | 94       | 89       | 88       | 82       | 69       | 46       |
|         | 1034 Asory     | 64    | 104      | 117      | 116      | 113      | 107      | 102      | 99       | 91       | 82       | 62       |
|         | 1035 Jonte     | 59    | 94       | 119      | 127      | 127      | 120      | 116      | 114      | 103      | 81       | 51       |
|         | 1039 Asory     | 60    | 115      | 121      | 114      | 108      | 106      | 107      | 111      | 108      | 96       | 65       |
|         | 1042 Asory     | 57    | 111      | 123      | 125      | 126      | 123      | 120      | 119      | 111      | 100      | 74       |
|         | 1043           |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|         | 1045 Jonte     | 60    | 97       | 116      | 118      | 115      | 109      | 105      | 104      | 96       | 84       | 63       |
|         | 7004 Asory     | 69    | 89       | 102      | 103      | 101      | 97       | 94       | 94       | 89       | 80       | 54       |
|         | 7010 Asory     | 61    | 123      | 134      | 129      | 122      | 115      | 109      | 107      | 98       | 85       | 60       |
|         | 7020 Asory     | 67    | 101      | 119      | 115      | 107      | 102      | 101      | 104      | 96       | 76       | 49       |
|         |                |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Plot ID | Variety        | Yield | 20220410 | 20220422 | 20220504 | 20220516 | 20220528 | 20220609 | 20220621 | 20220703 | 20220715 | 20220727 |
| Average | Spelt          | 42    | 93       | 108      | 100      | 86       | 86       | 89       | 92       | 96       | 107      | 88       |
|         | 8028 Zollerper | 47    | 86       | 98       | 90       | 77       | 76       | 83       | 96       | 114      | 139      | 121      |
|         | 8030           |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|         | 8031 Zollerper | 38    | 108      | 124      | 114      | 98       | 100      | 99       | 97       | 95       | 106      | 85       |