



UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN  
University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna

# Masterarbeit

## Einfluss von Winterniederschlägen auf Winterweichweizen

verfasst von

Philipp GRABLER, BSc

im Rahmen des Masterstudiums

Nutzpflanzenwissenschaften

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Wien, Februar 2023

Betreut von:

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Hans-Peter Kaul  
Institut für Pflanzenbau  
Department für Nutzpflanzenwissenschaften

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere an Eides statt, dass ich diese Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Gedanken, die im Wortlaut oder in grundlegenden Inhalten aus unveröffentlichten Texten oder aus veröffentlichter Literatur übernommen wurden, sind ordnungsgemäß gekennzeichnet, zitiert und mit genauer Quellenangabe versehen.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher weder ganz noch teilweise in gleicher oder ähnlicher Form an einer Bildungseinrichtung als Voraussetzung für den Erwerb eines akademischen Grades eingereicht. Sie entspricht vollumfänglich den Leitlinien der Wissenschaftlichen Integrität und den Richtlinien der Guten Wissenschaftlichen Praxis.

Wetzleinsdorf, am 23.01.2023

Philipp Grabler (eigenhändig)

*Nicht Gold und Geld ernährt die Welt,  
sondern ein wogend´ Weizenfeld.*

Alter Spruch von Landwirten und Bäckern, Autor unbekannt

## Danksagung

Zu allererst möchte ich mich bei Herrn Dr. Hans-Peter Kaul für die Betreuung der Arbeit und auch bei Herrn Dr. Gernot Bodner für seine Mitwirkung bedanken. Mein Dank gilt auch Herrn Dr. Josef Eitzinger vom Institut für Meteorologie und Klimatologie, der als Vermittler zwischen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und mir eingetreten ist.

Auch möchte ich der österreichischen Hagelversicherung danken, die mir das Thema meiner Arbeit vorgegeben und mich bei der Durchführung unterstützt hat. Mein Dank gilt hier in besonderer Weise Herrn Dr. Kurt Weinberger und Herrn Dipl.-HLFL-Ing. Johann Fank.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Clemens Bauer, BSc bedanken, der meine Anfrage bezüglich der Wetterdaten bei der ZAMG bearbeitet und die Daten auch übermittelt hat.

Auch möchte ich der Landwirtschaftskammer Niederösterreich, für die Bereitstellung der landwirtschaftlichen Arbeitskreisdaten, danken. Mein Dank gilt hier in besonderer Weise Herrn DI Christian Emsenhuber, der die Arbeitskreisdaten aufbereitet und übermittelt hat.

Meinen Dank möchte ich auch Frau Mag. Renate Bader von der Statistik Austria aussprechen, die mir die Ertragsdaten übermittelt hat.

Zu guter Letzt möchte ich den Landwirtinnen und Landwirten danken, die ihre Aufzeichnungen den Arbeitskreisen bzw. der Statistik Austria zur Verfügung stellen. Ohne diese präzisen Aufzeichnungen wäre es nicht möglich gewesen die Arbeit zu verfassen.

Abschließend möchte ich meinen Eltern Magdalena und Leopold Grabler danken, die mich während des Studiums finanziell unterstützt haben, sowie meiner Partnerin Sophie Plass für das Korrekturlesen der Arbeit.

# Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung .....	ii
Danksagung .....	iv
Inhaltsverzeichnis .....	v
Kurzfassung.....	vii
Abstract .....	viii
1. Einführung .....	1
1.1. Einleitung .....	1
1.2. Zielsetzung.....	1
1.3. Forschungsfragen .....	2
2. Stand des Wissens .....	3
2.1. Geschichte des Weizens .....	3
2.2. Winterweichweizen in Österreich und weltweit .....	4
2.3. Entwicklungsstadien des Winterweichweizens .....	5
2.4. Klimatische Voraussetzungen und Ertragsbildung bei Weizen .....	6
2.5. Einfluss der Bodenbearbeitung .....	7
2.6. Einfluss der Vorfrucht.....	10
2.7. Einfluss der Temperatur und der (Winter-)Niederschläge .....	13
3. Material und Methoden .....	20
3.1. Grundsätzliches .....	20
3.2. Klima und Böden in NÖ .....	21
3.3. Kurzbeschreibung der einzelnen Bezirke.....	23
3.3.1. Baden.....	23
3.3.2. Hollabrunn .....	24
3.3.3. Horn .....	25
3.3.4. Krems .....	26
3.3.5. Mistelbach .....	27
3.3.6. Wiener Neustadt.....	28
3.4. Datenaufbereitung .....	29
3.4.1. Ertragsdaten.....	29
3.4.2. Wetterdaten.....	30
3.5. Verarbeitung der Daten.....	31
3.6. Analysen .....	34
3.7. Diagramme .....	35
4. Ergebnisse.....	36
4.1. Überblick.....	36
4.2. Ergebnisse auf Bezirksebene .....	38

4.2.1.	Bezirk Baden .....	39
4.2.2.	Bezirk Hollabrunn .....	40
4.2.3.	Bezirk Horn.....	42
4.2.4.	Bezirk Krems (Land).....	43
4.2.5.	Bezirk Mistelbach .....	45
4.2.6.	Bezirk Wiener Neustadt (Land) .....	46
4.3.	Ergebnisse der kumulierten Auswertung .....	48
4.3.1.	Auswertung mit den Einzelwerten aller Bezirke.....	48
4.3.2.	Auswertung mit den Mittelwerten aller Bezirke .....	50
4.4.	Vorfruchtwirkung .....	51
4.5.	Pflugeinsatz .....	54
4.5.1.	Differenzen im Kornertrag .....	54
4.5.2.	Korrelationen mit den Wetterdaten.....	56
5.	Diskussion .....	57
5.1.	Methodenkritik und Datenbasis.....	57
5.2.	Einflüsse der verschiedenen Faktoren auf den Kornertrag von Winterweichweizen .....	58
5.2.1.	Einfluss der Niederschläge in den verschiedenen Wachstumsperioden .	58
5.2.1.1.	Winterniederschläge .....	58
5.2.1.2.	Einfluss der Niederschläge im Herbst und Frühjahr bzw. Frühsommer	59
5.2.1.3.	Einfluss der Jahresniederschlagsmenge eines Erntejahres.....	61
5.2.2.	Einfluss der Hitzetage über 27°C bzw. der mittleren Tagestemperatur in der generativen Phase (1.5.-15.7.) .....	62
5.2.3.	Einfluss der Vorfrucht .....	63
5.2.4.	Einfluss des Pflugeinsatzes vor der Saat .....	64
5.3.	Schlussfolgerungen .....	67
6.	Zusammenfassung .....	68
	Literaturliste .....	71
	Abkürzungsverzeichnis .....	75
	Tabellen- bzw. Abbildungsverzeichnis .....	76

## Kurzfassung

Die Landwirtschaft in Österreich wird immer stärker mit den Auswirkungen des Klimawandels, wie Hitze und Trockenheit, konfrontiert. Deshalb ist es wichtig die genauen Einflussfaktoren die zur Erreichung eines bestimmten Getreideertrags führen, zu kennen. Das Ziel dieser Arbeit war im gemeinsamen Interesse mit der österreichischen Hagelversicherung den Einfluss von Winterniederschlägen auf Winterweichweizen zu beschreiben. Zusätzlich wurden der Einfluss der Niederschläge in den restlichen Perioden des Jahres, der Einfluss eines Pflugeinsatzes vor der Saat sowie der Ertragsauswirkung verschiedener Vorfrüchte auf Winterweichweizen untersucht. Mit den Ertrags- und Wetterdaten der Erntejahre 2006 bis 2019 aus den niederösterreichischen Bezirken Baden, Hollabrunn, Horn, Krems, Mistelbach und Wiener Neustadt, wurden Auswertungen mittels des Statistikprogramms „SAS“ angestellt.

Die Auswertungen ergaben, dass der Einfluss der Winterniederschläge (16.11.-28./29.2.), sowie der Einfluss der Frühjahrs- bzw. Frühsommerniederschläge (1.3.-15.7.) auf den Kornertrag von Winterweichweizen nicht gegeben ist. Die Anzahl der Hitzetage mit über 27°C Maximaltemperatur im selben Zeitraum, sowie hohe Tagesdurchschnittstemperaturen in der generativen Phase (1.5.-15.7.), wirken sich hingegen negativ auf den Weizenertrag aus. Die Herbstniederschläge (16.7.-15.11.), sowie die Gesamtniederschläge eines Erntejahres (16.7.-15.7.) beeinflussen den Kornertrag positiv. Die Auswertung des Pflugeinsatzes vor der Saat ergab, unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen mit Standort und Erntejahr, mit Ausnahme des Bezirks Mistelbach, einen signifikant negativen Einfluss des Pflugeinsatzes auf den Kornertrag. Es konnte ein Minderertrag von rund 500 kg pro ha über alle Bezirke nachgewiesen werden. Der Einfluss unterschiedlicher Vorfrüchte auf den Weizenertrag konnte ebenfalls nachgewiesen werden. Allerdings sind auch hier die signifikanten Wechselwirkungen mit Standort und Erntejahr zu erwähnen.

## Abstract

Agriculture in Austria is increasingly confronted with the effects of climate change, such as heat and drought. It is therefore important to know the exact influencing factors that lead to the achievement of a certain grain yield. The aim of this master thesis was to describe the influence of winter precipitation on winter wheat in common interest with the Austrian "Hagelversicherung" which is the insurance company for damages in the Austrian agriculture. In addition, the influences of precipitation in the other periods of the year as well as the influence of using a plow before sowing and the yield effects of various preceding crops on winter wheat were examined. With the yield- and weather data for the harvest years 2006 to 2019 from the Lower Austrian districts of Baden, Hollabrunn, Horn, Krems, Mistelbach and Wiener Neustadt, evaluations were made using the statistics program "SAS".

The evaluations showed that the influence of winter precipitation (16.11.-28./29.2.) as well as the influence of spring and early summer precipitation (1.3.-15.7.) on grain yield of winter wheat is not given. The number of hot days with a maximum temperature of more than 27°C in the same period and high daily average temperatures in the generative growth phase (1.5.-15.7.), on the other hand, show negative impact on wheat yield. The autumn precipitation (16.7-15.11.), as well as the total precipitation of a harvest year (16.7.-15.7.) has positive influence on grain yield. With the exception of the district of Mistelbach, the evaluation of the use of the plow before sowing winter wheat showed a significant negative influence on grain yield. But there were significant interactions with location and harvest year. A reduced yield of around 500 kg per ha could be demonstrated across all districts. The influence of different preceding crops on the wheat yield could also be demonstrated. Also here significant interactions with location and harvest year appeared.

---

# 1. Einführung

## 1.1. Einleitung

Winterweichweizen spielt eine zentrale Rolle in der menschlichen Ernährung. Deshalb ist er die flächenmäßig bedeutendste Kultur in Österreich und weltweit (FAO 2021). Der Kornertrag wird von zahlreichen Faktoren, unter anderem vom Niederschlag, mehr oder weniger stark beeinflusst. Die Auswirkungen des Klimawandels, wie Hitze und Trockenheit, stellen auch die Landwirtinnen und Landwirte in Österreich vor immer größere Herausforderungen.

Die vergangenen Jahre zeigen, dass Wassermangel vor allem in den großen Getreideanbaugebieten im Osten Österreichs keine Seltenheit mehr ist. Die Erträge von Wintergetreide variieren dadurch stark von Jahr zu Jahr und auch von Region zu Region. Immer mehr Landwirte greifen auf Dürreversicherungen zurück, um bei ausbleibenden Niederschlägen und daraus resultierenden Mindererträgen finanziell abgesichert zu sein. Die österreichische Hagelversicherung bietet so einen Dienst an. In den Versicherungsmodellen fließen die Niederschläge ab dem 1. März eines jeden Kalenderjahres in die Berechnung der Entschädigungszahlungen mit hinein. Ob ein Einfluss der Niederschläge vor dem 1.3., vor allem für Winterweichweizen, besteht bzw. ob sich ein signifikanter Zusammenhang der Winterniederschläge zum Kornertrag herstellen lässt, wird im Rahmen dieser Arbeit untersucht.

Die Böden im Osten Österreichs sind größtenteils tiefgründige Lössböden und haben gute Wasserspeicherkapazitäten. Die Landwirtinnen und Landwirte wissen, dass sich die Kulturen mit einer ausreichenden Menge an vorhandenem Bodenwasser aus einem niederschlagsreichen Winter ein Stück weit über eine Zeit retten können, in der die Niederschläge in der Vegetationsperiode ausbleiben. Wie hoch aber der Einfluss dieser Winterniederschläge ist wurde bis dato nicht genau untersucht. Die Aufgabe soll diese Masterarbeit abdecken und dadurch der österreichischen Landwirtschaft helfen „klimafitter“ zu werden und die Auswirkungen von Winterniederschlägen besser in die Bewirtschaftungsmaßnahmen der einzelnen Kulturen eingliedern zu können.

## 1.2. Zielsetzung

Hauptziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss von Winterniederschlägen auf den Kornertrag von Winterweichweizen zu ermitteln. Die österreichische Hagelversicherung ist an diesem Thema interessiert, da zurzeit nur die Niederschläge nach dem 1.3. jedes Jahres als Berechnungsbasis für Dürreentschädigungszahlungen herangezogen werden.

Zusätzlich werden der Ertragseinfluss der Niederschläge im Herbst und Frühjahr, bis zur Ernte hin, sowie auch der Einfluss des Jahresniederschlags, beschrieben.

Auch wird untersucht, ob die Anzahl der Hitzetage, also die Anzahl der Tage, an denen die Maximaltemperatur 27°C übersteigt, während der Vegetationsperiode des Winterweichweizens, einen signifikanten Einfluss auf den Ertrag hat.

Des Weiteren soll mit dieser Arbeit festgestellt werden, ob der Pflugeinsatz vor der Saat des Winterweichweizens einen signifikanten Ertragseinfluss hat, da dieser den

---

Boden tief wendet und so die unproduktive Wasserverdunstung steigert. Es soll die durchschnittliche Ertragsdifferenz zwischen dem konventionellen Anbau mittels Pflug und der konservierenden Bearbeitung bzw. der Direktsaat ermittelt werden.

Außerdem soll die Vorfruchtwirkung der einzelnen Kulturgruppen auf Winterweichweizen beschrieben werden. Auch der Wasserverbrauch der Vorfrucht soll hierbei betrachtet werden.

Die Daten, die die Grundlage für die Erreichung der Ziele bilden, stammen aus landwirtschaftlichen Betrieben in sechs verschiedenen Bezirken Niederösterreichs. Es sind landwirtschaftliche Arbeitskreisdaten, die von der Landwirtschaftskammer Niederösterreich und der Statistik Austria zur Verfügung gestellt wurden. Die Wetterdaten sind Daten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, die durch die Zusammenarbeit der ZAMG mit dem Institut für Meteorologie und Klimatologie an der BOKU übermittelt wurden.

### **1.3. Forschungsfragen**

Aus der Zielsetzung heraus ergeben sich folgende Forschungsfragen, die mit dieser Arbeit beantwortet werden sollen:

- Haben Winterniederschläge einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag von Winterweichweizen? Mit Winterniederschlägen sind die Niederschläge in der Zeit von 16. November bis 28./29. Februar gemeint.
- Haben die Niederschläge im Herbst oder im Frühjahr (vegetative und generative Wachstumsphase) einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag?
- Hat die Jahresniederschlagsmenge eines Erntejahres (16.7.-15.7.) einen signifikanten Ertragseinfluss auf den Kornertrag bei Winterweichweizen?
- Hat die Anzahl der Hitzetage mit über 27°C Maximaltemperatur von 1.3. bis 15.7. eines jeden Erntejahres einen signifikanten Ertragseinfluss?
- Hat der Pflugeinsatz vor der Saat des Winterweichweizens, als Maßnahme die die Wasserverdunstung beschleunigt, einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag?
- Hat die Vorfrucht, also die Kultur, die vor dem Anbau von Winterweichweizen am Feld steht, einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag?

## 2. Stand des Wissens

### 2.1. Geschichte des Weizens

Winterweichweizen ist heute eine der wichtigsten Getreidearten für die menschliche Ernährung. Die Erntemenge wird zu einem überwiegenden Anteil zur Erzeugung von Backwaren verwendet. Die Geschichte des Weizens ist eng mit der Entstehung des Ackerbaus und der Viehzucht verknüpft. Der hexaploide Winterweichweizen (*Triticum aestivum* L.) wurde ab etwa 9500 vor Christus in einem, bis zu tausend Jahre andauernden Prozess, durch Kreuzungen aus Wildformen domestiziert (Miedaner 2014).

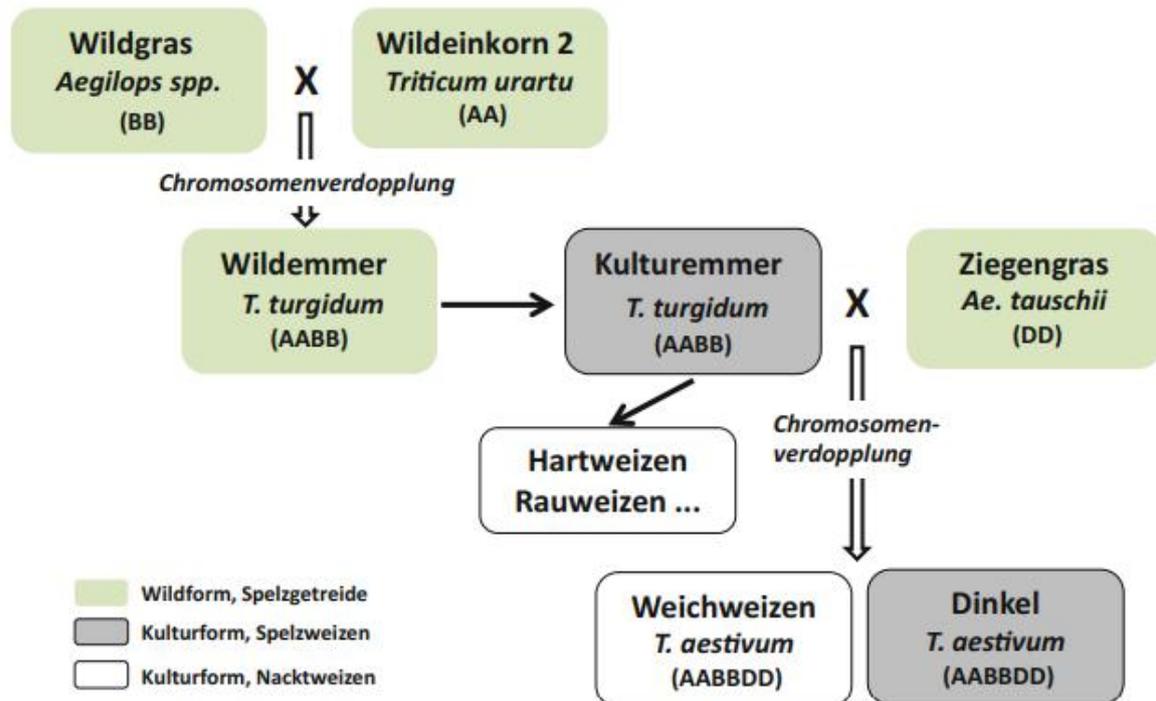


Abbildung 1: Abstammung und Verwandtschaft der wichtigsten Weizenformen (Miedaner 2014)

Winterweichweizen gehört zur Familie der Süßgräser (Poaceae). Die Bezeichnung „hexaploid“ bedeutet, dass sich in seiner DNA sechs Chromosomensätze mit je sieben Chromosomen befinden (Abb.1). Ohne diese Vervielfachung der Chromosomensätze (Polyploidie), wäre der Winterweichweizen in dieser Form nicht entstanden. Nach Miedaner (2014) und zahlreichen anderen AutorInnen geht die Kulturform Winterweichweizen aus einer Kreuzung des tetraploiden Kulturemmers (4 Chromosomensätze) mit einem diploiden Wildgras Namens *Aegilops tauschii* (2 Chromosomensätze) hervor. Der Kulturemmer entstammt ebenfalls einer Kreuzung von einem noch nicht eindeutig identifizierten diploiden Wildgras und dem diploiden Wildeinkorn.

Diese Domestikation fand in Vorderasien, im sogenannten Gebiet des „fruchtbaren Halbmondes“ (Abb.2) statt. Der „fruchtbare Halbmond“ umfasst das niederschlagsreiche Winterregengebiet nördlich der syrischen Wüste bzw. im Norden der arabischen Halbinsel. Dazu gehören Teile der heutigen Staaten Israel, Libanon, Türkei, Syrien, Jordanien, Irak und Iran.

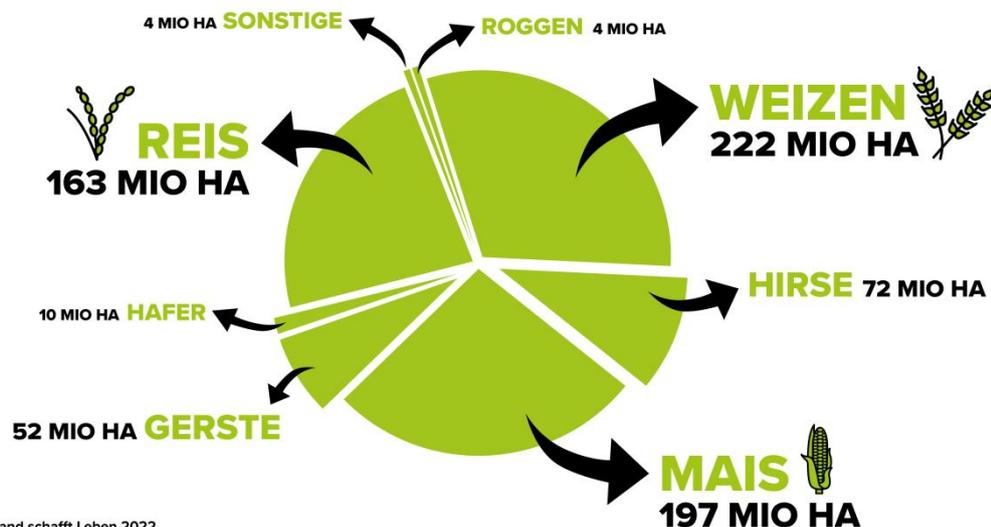


Abbildung 2: "Fruchtbarer Halbmond" in Vorderasien (Miedaner 2014)

Es dauerte bis etwa 5500 vor Christus, bis die Landwirtschaft und damit auch der Weizenanbau in Mitteleuropa Einzug hielt. Der Anbau von Weizen spielte dabei aber bis ins zweite Jahrtausend nach Christus, mit Ausnahme der Römerzeit, eine untergeordnete Rolle. Viel häufiger wurden die robusteren, aber deutlich ertragsschwächeren Arten Einkorn (diploid) oder Emmer (tetraploid) kultiviert. Ab dem Mittelalter wurden diese Weizenformen von Roggen und Hafer abgelöst. Weißbrot aus Weizen war bis ins Spätmittelalter der reichen bzw. adeligen Gesellschaftsschicht vorbehalten (Miedaner 2014).

## 2.2. Winterweichweizen in Österreich und weltweit

Winterweichweizen ist die flächenmäßig am häufigsten angebaute Kultur in Österreich und weltweit. Auf den rund 243000 ha, die in Österreich 2020 geerntet wurden, wurde ein Gesamtertrag von 1,53 Millionen Tonnen erzielt. Dabei wurde ein durchschnittlicher Hektarertrag von 6,2 Tonnen erreicht (Bundesministerium für



Infografik © Land schafft Leben 2022  
Anbaufläche in Mio. ha 2020/21; Quelle: LfL Bayern, Agrarmärkte 2020, Getreide; Werte gerundet

Abbildung 3: Getreideanbau weltweit 2020/2021 (Land schafft Leben 2022)

Landwirtschaft und Regionen und Tourismus 2021). Abbildung 3 zeigt die weltweiten Flächendaten zum Anbau von Winterweichweizen in den Jahren 2020 und 2021 (Land schafft Leben 2022).

Weltweit betrachtet zählt Weizen, mit rund 800 Millionen Tonnen erzeugter Marktware im Jahr 2019, zu den vier Kulturen, die mehr als die Hälfte der globalen landwirtschaftlichen Primärerzeugung ausmachen. Einzig Zuckerrohr, mit 1,9 Milliarden Tonnen, wobei hier im Vergleich zu Getreide die gesamte vegetative Biomasse geerntet wird, Mais, mit 1,1 Milliarden Tonnen und Reis, mit ebenfalls 800 Millionen Tonnen Marktwarenanteil sind dem Weizen mengenmäßig überlegen (FAO 2021). Winterweichweizen ist folglich essentiell wichtig für die Humanernährung.

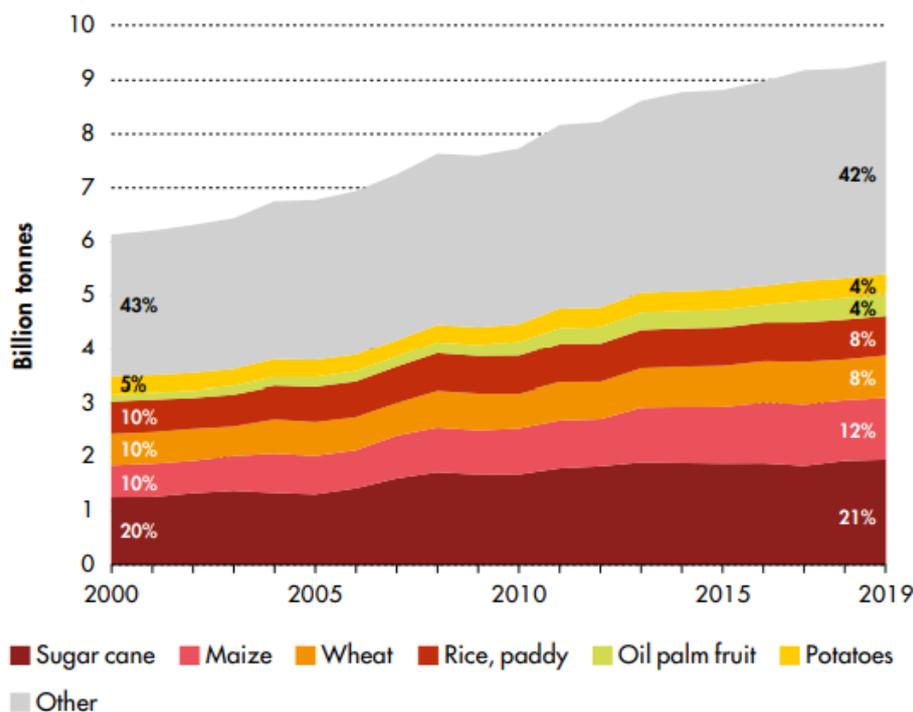


Abbildung 4: Weltweite Erzeugung von Agrarprodukten in Milliarden Tonnen (FAO 2021)

### 2.3. Entwicklungsstadien des Winterweichweizens

Winterweichweizen wird in Österreich von Anfang Oktober bis Anfang November, Spätsaaten auch bis Ende November, ausgesät. Die Ernte erfolgt je nach Region von etwa Anfang Juli bis Mitte August. Die Entwicklung der Weizenpflanzen vom Anbau bis zur Ernte kann anhand der BBCH-Skala in 9 (ohne Keimung) sogenannte Makrostadien unterteilt werden:

- 0) Keimung
- 1) Blattentwicklung
- 2) Bestockung
- 3) Schossen
- 4) Ährenscheiden
- 5) Ährenschieben
- 6) Blüte
- 7) Fruchtbildung
- 8) Reife
- 9) Absterben (Brockenhoff 2015)

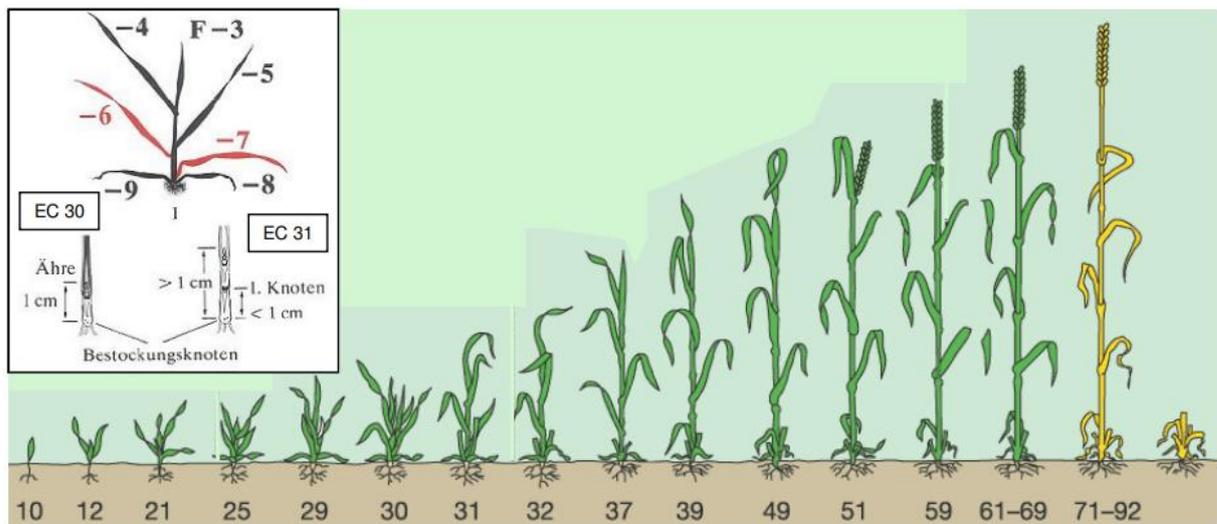


Abbildung 5: Entwicklungsstadien des Getreides (Brockerhoff 2015)

Die Keimung und die Blattentwicklung erfolgen im Herbst nach der Aussaat. Damit die Keimung einsetzt muss das Weizenkorn auf etwa 40% Kornfeuchte aufquellen. Die Bestockung kann bereits im Herbst oder erst im Frühjahr, je nach Aussaattermin beginnen. Um in die Schossphase zu gelangen bedarf der Winterweichweizen einer Mindestanzahl an Tagen mit niedrigen Temperaturen (=Vernalisation). Auch ist eine bestimmte Mindest-Tageslichtlänge für den Schossbeginn notwendig. Eine höhere Temperatur beschleunigt generell alle Entwicklungsphasen des Weizens. Nach dem Ährenschieben und Ährenschieben erfolgt die Blüte. Bis zu einer Woche kann es dauern, bis alle Blütchen in den Ährchen einer Pflanze befruchtet sind. Es folgt die Samenreife, in der das Kornvolumen steigt und dann bis zum Absterben aufgrund der Wasserabgabe wieder sinkt (Christen 2009). Weizen für den Speisesektor wird in Österreich möglichst ab einer Kornfeuchte von  $\leq 14,5\%$  geerntet.

## 2.4. Klimatische Voraussetzungen und Ertragsbildung bei Weizen

Winterweichweizen stellt relativ hohe Ansprüche an das Klima. Die benötigte Wärmesumme beläuft sich auf 2000 bis 2200°Cd. Weizen hat auch einen verhältnismäßig hohen Wasserbedarf. Der Transpirationskoeffizient beträgt laut Berger et al. (2009) ca. 400 Liter, laut neuerer Literatur liegt er zwischen 500 und 600 Liter (Diepenbrock et al. 2016). Das bedeutet zur Bildung von einem Kilogramm Trockensubstanz werden ca. 400 bis 600 Liter Wasser benötigt. Für den Anbau eignet sich am besten warmes, aber nicht zu trockenes Klima mit ausreichenden Mai- und Juniniederschlägen. Außerdem gedeiht Winterweichweizen bevorzugt auf schweren bis mittelschweren Böden mit entsprechend hoher nutzbarer Feldkapazität und hohem Nährstoffspeichervermögen. Der pH-Wert soll im neutralen bis leicht alkalischen Bereich liegen (pH 6,5-7,5) (Berger et al. 2009).

Nach Satorre und Slafer (1999) erfolgt die Ertragsbildung bei Winterweichweizen durch die Anzahl der Körner pro m<sup>2</sup> bei der Ernte und durch das individuelle Gewicht der Körner. Die Anzahl der Körner pro m<sup>2</sup> wird durch die Anzahl der ährentragenden Halme pro m<sup>2</sup> und die Anzahl der Körner pro Ähre beeinflusst. Der rapide Anstieg im Kornertrag von Winterweichweizen in der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts ist auf den Züchtungsfortschritt, d.h. insbesondere auf die Steigerung des Ernteindex (=mehr Korn im Verhältnis zum Stroh) und die gestiegene Kornzahl pro Ähre, zurückzuführen. Die Autoren räumen ein, dass das spezifische

---

Korngewicht den Ertrag weniger stark beeinflusst als die Kornzahl pro m<sup>2</sup>. Es ist sogar im Verlauf der Ertragssteigerung im zwanzigsten Jahrhundert leicht zurückgegangen. Extremer Stress zum Ende der Kornfüllungsphase hin beeinflusst das spezifische Korngewicht negativ.

Wichtige ertragsbildende Faktoren, die die Anzahl der ährentragenden Halme beeinflussen, sind neben der Saatedichte der Saatzeitpunkt, der Feldaufgang, die Bodenfruchtbarkeit und Düngung, sowie die Boden- und Lufttemperatur und die Wasserversorgung im Boden. Hauptfaktoren, die die Anzahl der Körner pro Ähre beeinflussen sind der Blattflächenindex (BFI) und die Photosyntheserate der Blätter. Die Photosyntheserate und der BFI können durch optimale Versorgung der Weizenpflanzen mit Wasser und Nährstoffen ab drei Wochen vor Blühbeginn (70 bis 90 Prozent des Gesamt-N werden in dieser Zeit aufgenommen) gesteigert werden. Stress hingegen, verursacht durch Hitze, Trockenheit, Insektenfraß, oder Krankheitsbefall senkt den Blattflächenindex und die Photosyntheserate und führt direkt zu einer Ertragsdepression, vor allem über eine Reduktion der Kornzahl pro Ähre (Satorre und Slafer 1999).

Das pannonische Klimagebiet, wozu auch das mittlere und östliche Niederösterreich zählt, ist aufgrund seiner klimatischen Gegebenheiten prädestiniert für den Qualitätsweizenanbau. Er hat auf den fruchtbaren Ackerböden dieser Gebiete einen bevorzugten Stellenwert. Die optimale Ausnützung des Nährstoffdepots der Vorfrucht, sowie die Spätsaatverträglichkeit sind Gründe für den hohen Weizenanteil in diesen Regionen (Weber 2013).

Die Niederschlagsverteilung wird durch das Voranschreiten des Klimawandels zu einem immer größeren Problem, besonders im pannonischen Klimagebiet, wo die Jahresniederschlagssumme von vorn herein gering ausfällt. Auch die Hitzetage, die in dieser Arbeit als Tage mit über 27°C Maximaltemperatur angenommen werden, mehren sich. Der Einfluss von, unter anderem, Temperatur und Niederschlag auf den Kornertrag von Winterweichweizen soll deshalb in dieser Arbeit untersucht werden.

## **2.5. Einfluss der Bodenbearbeitung**

Die Bodenbearbeitung kann den Ertrag von Winterweichweizen sowohl positiv als auch negativ beeinflussen. Es gibt verschiedenste Bodenbearbeitungssysteme. Da das Hauptaugenmerk dieser Arbeit auf dem Einfluss der (Winter-)Niederschläge auf den Kornertrag von Winterweichweizen liegt, entfällt eine Aufzählung aller bekannten Systeme der Bodenbearbeitung. Es wird lediglich zwischen einer Grundbodenbearbeitung mittels dem Einsatz eines Pfluges, auch konventionelle Bodenbearbeitung genannt, und einer pfluglosen Bestellung unterschieden.

Mit dem Pflug wird der Boden in der Regel auf mindestens 20 bis maximal 35 cm Tiefe bearbeitet und dabei gewendet. Das bedeutet einen massiven Eingriff in die Bodenstruktur. Auch wird dadurch der Boden auf dieser Tiefe durchschnitten, was zu einer Unterbrechung des kapillaren Wasseranstieges führen kann. Mehrjähriges Pflügen kann außerdem zu einer Pflugsohlenbildung führen. Eine Pflugsohle ist eine verdichtete Schicht im Boden unterhalb der Bearbeitungstiefe des Pfluges, die von Pflanzenwurzeln und auch von Bodenwasser und Niederschlagswasser nur schwer durchdrungen werden kann. Dadurch kann es nach dem Anbau, von in diesem Fall Winterweichweizen, leichter zu einem Defizit an pflanzenverfügbarem Bodenwasser kommen (Lima et al. 2021). Natürlich kann der Pflugeinsatz auch gewisse

phytosanitäre Vorteile mit sich bringen, vor allem wenn man an Fußkrankheiten oder die Fusarium-Problematik bei Mais-Weizen Fruchtfolgen denkt.

Vergleicht man verschiedene Bodenbearbeitungsvarianten so ist nach Pelegrin et al. (1990) die Direktsaat in trockenen Zeiträumen des Jahres der Pflugsaat überlegen, was die Evaporation, also die unproduktive Wasserverdunstung betrifft. Nach ausreichenden Niederschlägen jedoch, ist die Evaporation bei Direktsaat im Vergleich zu Pflugsaat bei Weizen nicht signifikant verschieden.

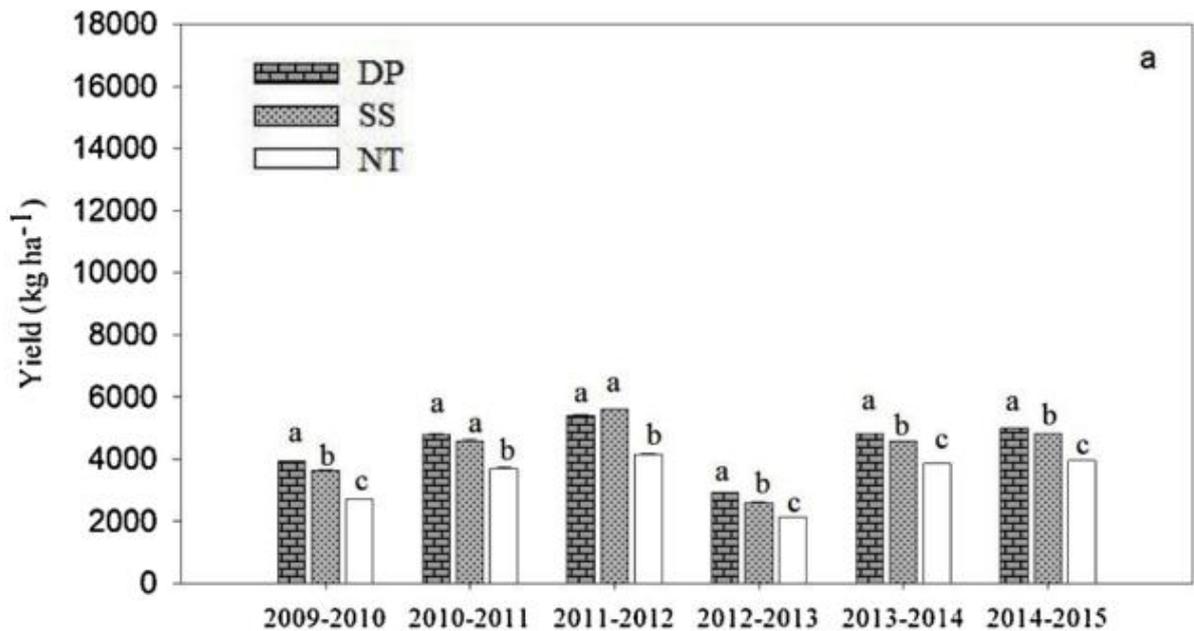


Abbildung 6: Kornertrag von Winterweichweizen unter verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen in China DP=tiefes Pflügen (25-30 cm), SS=Tiefenlockerung (40 cm), NT=No tillage (keine Bearbeitung) (Xue et al. 2019)

Xue et al (2019) untersuchte den Einfluss von verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten auf den Korn- und Trockenmasseertrag von Winterweizen und die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens. Der Versuch wurde auf einem Löss-Plateau in der Shanxi Provinz in China durchgeführt und dauerte von 2009-2015. Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt dort 491mm und die Jahresdurchschnittstemperatur 12,9°C. Zwei Drittel des Niederschlages fallen über den Sommer, wo der Weizen bereits abgeerntet und der Boden nicht bewachsen ist. Es wurden drei verschiedene Bodenbearbeitungsvarianten untersucht, die 15 Tage nach der Ernte durchgeführt wurden: Pflügen auf 25-30 cm Tiefe, Tiefenlockerung auf 40 cm und no tillage, also keine Bearbeitung über den Sommer. Vor der Saat wurde der Boden in allen drei Varianten auf 12-15 cm Tiefe mit einer Kreiselegge bearbeitet. Die Wasserspeicherefähigkeit des Bodens konnte beim Pflügen und bei der Tiefenlockerung signifikant ( $p < 0,05$ ) erhöht werden im Vergleich zur no-till-Variante. Die Autoren machen die zunehmende Verdichtung des Lössbodens bei fehlender Bearbeitung dafür verantwortlich. Auch der Kornertrag von Winterweichweizen konnte durch die beiden Bearbeitungsvarianten, im Vergleich zur no-till-Variante signifikant gesteigert werden (um 31% beim Pflügen und um 26% beim Tiefenlockern). In Abbildung 6 ist der Kornertrag in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung für die sechs Versuchsjahre ersichtlich. Unterschiedliche Buchstaben über den Balken bedeuten einen signifikanten Unterschied bei  $p < 0,05$ . Der Kornertrag des Winterweichweizens korreliert des Weiteren signifikant-positiv mit

---

den Niederschlägen in der vegetationsfreien Zeit bis zum Anbau Ende September. Hingegen war keine Korrelation zwischen dem Ertrag und den Niederschlägen von der Saat bis zum Beginn der Schossphase und weiter zur Blüte feststellbar (Xue et al. 2019). Auf die Niederschläge wird im Kapitel 2.7 näher eingegangen.

In der oben genannten Arbeit sind deutliche Ertragssteigerungen bei Pflugeinsatz als Grundbodenbearbeitung erkennbar. Diese Tatsache hängt vermutlich mit den zu Verdichtung neigenden Lössböden und mit der hohen Niederschlagsintensität vor der Saat und den geringen Niederschlägen während der Vegetation des Weizens zusammen. Die hohen Niederschlagsmengen lassen den Boden nach dem Pflügen wieder absetzen und heben so höchst wahrscheinlich die negativen Effekte auf.

Laut Reckleben (2007), die unter anderem den Weizenertrag nach verschiedenen Bodenbearbeitungsmaßnahmen an zwei deutschen Standorten untersuchte, lieferte die konservierende Bodenbearbeitung mittels Grubber vor der Saat zumindest gleichwertige Erträge im Vergleich zur konventionellen Variante. Ein inhomogenerer Feldaufgang bei den konservierenden Varianten konnte zwar beobachtet werden, wirkte sich aber nicht ertragsmindernd aus.

Weber (2013) untersuchte im Rahmen seiner Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur unter anderem den Einfluss der Bodenbearbeitung und der Vorfrucht auf den Kornertrag von Winterweichweizen. Der Versuchsstandort liegt in der Nähe von Raasdorf, 23 km östlich von Wien und wurde von der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Großenzersdorf betreut. Der Langzeitversuch mit zwei unterschiedlichen Fruchtfolgen wurde im Jahr 2012 ausgewertet. Im Versuch wurden fünf verschiedene Bodenbearbeitungsvarianten, von „Direktsaat“ bis zur konventionellen Bearbeitung mit dem Pflug angewandt. Im Jahr 2012 ließ sich kein signifikanter Unterschied im Kornertrag von Winterweichweizen zwischen den einzelnen Varianten feststellen. Ein signifikanter Ertragsunterschied zwischen der „Pflugsaat“ und der pfluglosen Bestellung, unabhängig von der Form, ist folglich nicht in jedem Erntejahr erkennbar.

Eine weitere Studie, die sich mit dem Langzeit-Bodenbearbeitungsversuch der Universität für Bodenkultur, mit unterschiedlichen Vorfrüchten vor Winterweichweizen, in der Nähe von Raasdorf beschäftigt, wurde im Jahr 2016 veröffentlicht. Hierbei kamen vier Bodenbearbeitungsvarianten, im Auswertungszeitraum von 1998 bis 2012, zum Einsatz. Unterschieden wurde zwischen Pflügen auf 25-30 cm Tiefe, Direktsaat ohne Bodenbearbeitung, tiefe konservierende Bearbeitung mittels Grubber auf 20-25 cm Tiefe und seichte konservierende Bearbeitung auf 8-10 cm Tiefe. Auch wurden die Niederschläge in der Vegetationsperiode des Weichweizens von Oktober bis Juni in die Auswertung mit einbezogen (Durchschnitt: 362 mm). Die Düngung und der Pflanzenschutz wurden nach den Grundsätzen der guten landwirtschaftlichen Praxis auf allen Parzellen ident durchgeführt. Bei der Direktsaat wurde zusätzlich ein nichtselektives Herbizid eingesetzt. Nach den Vorfrüchten Mais und Zuckerrübe konnte eine signifikante Wechselwirkung zwischen dem Erntejahr und der Bodenbearbeitung festgestellt werden. In Jahren mit hohen Niederschlagsmengen während der Vegetation war der Ertrag nach Pflugeinsatz bzw. der konservierenden Bearbeitung signifikant höher als nach Direktsaat, während in Jahren mit unterdurchschnittlichem Niederschlag die Direktsaat ertraglich überlegen war. Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten konnten aber nicht in jedem Jahr festgestellt werden (Neuschwandtner et al. 2016).

---

Die Versuche von Weber (2013) und Reckleben (2007) bestätigen beide, dass konservierende Bearbeitung gleichwertige Weizenerträge liefern kann. Betrachtet man die Kraftstoffersparnis und die Schonung des Bodengefüges bzw. des Bodenlebens, hat die konservierende Bearbeitung bei zumindest gleichbleibenden Erträgen also neben der Bodenschonung auch einen wirtschaftlichen Vorteil. Laut Neugschwandtner et al. (2016) ist die Direktsaat in Jahren mit geringen Niederschlägen während der Vegetation des Weizens der konventionellen Bearbeitung überlegen, wobei sich dieser Effekt bei überdurchschnittlichen Niederschlägen umkehrt. Auf dem chinesischen Lössplateau hingegen, kann, laut Xue et al. (2019), die Direktsaat bzw. seichte konservierende Bearbeitung vor allem aufgrund der ungleichmäßigen Verteilung der Niederschläge langfristig zu Ertragsdepressionen führen. Die teils unterschiedlichen Ergebnisse dieser Studien machen sichtbar, dass der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Ertragsbildung von Winterweichweizen immer standortspezifisch betrachtet werden muss.

## 2.6. Einfluss der Vorfrucht

Auch der Einfluss der Vorfrucht auf den Ertrag von Winterweichweizen soll in dieser Arbeit behandelt werden. Als Vorfrucht wird jene Kultur bezeichnet, die im vergangenen Erntejahr auf dem, im aktuellen Erntejahr mit Weizen bestellten, Feldstück Hauptkultur war. In dieser Arbeit ist mit Vorfrucht immer die Kultur **vor** dem Anbau von Winterweichweizen gemeint.

Weizen ist wenig selbstverträglich und zieht grundsätzlich andere Vorfrüchte als Getreide vor. Hafer bildet hier eine Ausnahme. Weizen nach Raps weist bei langjähriger Betrachtung einen Ertragsvorteil von zumindest zehn Prozent gegenüber Weizen nach Weizen auf. Dies geht aus einem Fruchtfolgeversuch in Hohenschulen bei Kiel in Deutschland hervor. Ungünstige Vorfrüchte haben eine verminderte Photosyntheseleistung und eine eingeschränkte Ausbildung des Wurzelsystems zur Folge. Das bedingt eine schlechtere Wasser- und Nährstoffversorgung sowie eine verkürzte Abreife. Diese schlechtere Versorgung der Weizenpflanze stellt vor allem ein Problem bei zu hohen Temperaturen und geringen Niederschlägen dar. Die Ährenzahl und das Tausendkorngewicht sind vermindert, was schlussendlich zu einer Ertragsdepression führt (Christen 2009).

Als mögliche Ursachen für diese schlechte Vorfruchtwirkung nennt Christen (2009) eine schlechtere Stickstoffnachlieferung, den Befall mit Krankheiten und Schädlingen (z.B. Schwarzbeinigkeit), den Unkrautbesatz, allelopathische Einflüsse (z.B. Hemmung der Keimung bei erhöhtem Strohanteil an der Oberfläche) und Veränderungen von bodenphysikalischen oder bodenbiologischen Parametern. Diese Faktoren können auch miteinander in Wechselwirkung stehen. Auf sehr guten Standorten ist der etwaige negative Einfluss der Vorfrucht nach Christen (2009) geringer und kann durch optimale Stickstoffversorgung und eine günstige Niederschlagsverteilung weiter minimiert werden.

Auch über die Ernterückstände kann die Vorfrucht die Ertragserwartung von Winterweichweizen negativ beeinflussen. Unter unzureichender Verteilung bzw. Zerkleinerung des Strohs der Vorfrucht oder einer unzureichenden Einarbeitung bzw. Einmischung in den Oberboden kann der Feldaufgang von Weizen leiden, was sich bis zur Ernte hin negativ auswirken kann (Weißbach und Isensee 2005). Dies trifft vor allem beim Weizenanbau in Direktsaat oder seichter konservierender Bearbeitung, insbesondere nach Getreide mit hohen Strohmenge oder nach Körnermais zu.

---

Wie bereits oben erwähnt, untersuchte Weber (2013) im Jahr 2012 im Rahmen eines Langzeitversuches unter anderem auch den Einfluss der Vorfrucht auf den Kornertrag von Winterweichweizen. Die Vorfrüchte waren Winterweichweizen und Zuckerrübe. Anbau, Düngung und Pflanzenschutz waren bei allen Parzellen ident. Bei der Vorfrucht Winterweichweizen war der Kornertrag signifikant höher als bei Zuckerrübe. Dies liegt vermutlich an der längeren Vegetationszeit der Zuckerrübe und dem daraus resultierenden höheren Bodenwasserverbrauch, welches dem Winterweizen dann nicht zur Verfügung stand.

Auch beim bereits in Kapitel 2.5. erwähnten Langzeit-Bodenbearbeitungsversuch (1998-2012), der Universität für Bodenkultur in Raasdorf in der Nähe von Wien konnten Unterschiede im Weizenertrag nach verschiedenen Vorfrüchten festgestellt werden. Im Jahr 1998 war der Weizenertrag nach Mais signifikant höher als nach Zuckerrübe, im Jahr 2000 war der Weizen nach Raps dem nach Sonnenblumen ertraglich überlegen. Winterweizen nach Sojabohnen brachte im Jahr 2002 einen signifikant höheren Kornertrag als nach Zuckerrübe. Der Niederschlag (Oktober-Juni) war in den erwähnten Erntejahren stark bis schwach unterdurchschnittlich. (Neugschwandtner et al. 2016). Eine Erklärung für die ausgeprägte Vorfruchtwirkung im Versuch könnte der unterdurchschnittliche Niederschlag und die damit einhergehende Wasserknappheit für den Weizen sein.

In den Jahren 2004 und 2005 wurde in Vinkovci in Kroatien ein Stickstoffdüngungsversuch (4 Varianten; 50/100/150/200 kg N/ha) mit den Vorfrüchten Wintergerste und Winterraps vor Winterweichweizen angelegt. Es waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Vorfrüchten beim Kornertrag von Winterweichweizen zu erkennen. Bei den niedrigeren Stickstoffvarianten mit 50 bzw. 100 kg N/ha zeigten sich zwischen Raps und Gerste als Vorfrucht im Durchschnitt etwa 400 kg/ha Ertragsdifferenz, welche aber ebenfalls nicht signifikant war (Kraljević et al. 2007). Aus dieser Arbeit lässt sich schlussfolgern, dass die Vorfruchtwirkung nicht immer klar erkennbar und messbar ist, vor allem wenn sonst optimale Bedingungen vorherrschen.

Ein dreijähriger Stickstoffdüngungsversuch mit der Hauptkultur Winterweichweizen und den Vorfrüchten Winterraps und Winterweichweizen wurde in Deutschland am Versuchsgut Hohenschulen bei Kiel (Schleswig-Holstein) in den Erntejahren 1997 bis 1999 durchgeführt. Der durchschnittliche Ertragsunterschied im Kornertrag zwischen den beiden genannten Vorfrüchten betrug etwa 1 t/ha (8,03 t/ha bei Vorfrucht Winterraps; 7,06 t/ha bei Winterweizen), war aber nicht signifikant (Sieling et al. 2007).

Eine Arbeit aus dem Jahr 1998 vergleicht ebenfalls den Ertrag von Winterweichweizen nach unterschiedlichen Vorfrüchten. Der Versuch wurde 1994 in Beverly in Westaustralien, als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Es wurden 50 kg/ha Weizen ausgesät und 11 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und 20 kg N/ha gedüngt. Die Vorfrüchte waren Lupine (*Lupinus angustifolius*), Saat-Wicke (*Vicia sativa*), Kichererbse (*Cicer arietinum*), Ackerbohne (*Vicia faba*), Brauner Senf (*Brassica juncea*), Raps (*Brassica napus*) und Weizen (*Triticum aestivum* L.). Die Erträge schwankten zwischen 3,7 t/ha nach Lupine und 1,6 t/ha nach Winterweizen. Der Kornertrag nach der Vorfrucht Lupine war signifikant höher (p<0,05) im Vergleich zu den anderen Leguminosen und den Ölsaaten. Der Ertrag nach der Vorfrucht Winterweichweizen unterschied sich signifikant von allen anderen Erträgen, außer jenen nach Senf und Raps (Asseng et al. 1998). Der Einfluss der Vorfrüchte in

diesem Versuch hängt vermutlich auch mit der Stickstofffixierung der Leguminosen aus der Luft und der generell geringen Stickstoffdüngung zur Kultur zusammen.

Tabelle 1: Kornenertrag nach unterschiedlichen Vorfrüchten im Jahr 1994 in Beverly (Australien) (Asseng et al. 1998) l.s.d.= least significant difference (Schwellenwert für einen signifikanten Unterschied zwischen den Vorfrüchten (t/ha))

Vorfrucht	Kornenertrag (t/ha)
Lupine	3,7
Saat-Wicke	2,6
Kichererbse	2,4
Ackerbohne	2,1
Brauner Senf	2,3
Raps	2,2
Weizen	1,6
<b>l.s.d. (p=0,05)</b>	<b>0,77</b>

Ein langjähriger Fruchtfolgeversuch mit Winterweichweizen und Wintergerste besteht seit 1982 in der Türkei. Der durchschnittliche Jahresniederschlag in der Gegend beträgt 370 mm. Es wurden drei Ernten von 1999 bis 2002 ausgewertet und unter anderem der Kornenertrag der verschiedenen Fruchtfolgen miteinander verglichen. Die Vorfrüchte waren: Schwarzbrache, Winterweizen, Winterlinse (*Lens culinaris*), Winter-Wicke (*Vicia sativa*), Sonnenblume (*Helianthus annuus*), Saflor (*Carthamus tinctorius*), Sommerlinse (*Lens culinaris*), Kichererbse (*Cicer arietinum*) und ein Wicken-Getreide-Mix. Die beste Vorfruchtwirkung erzielte Sommerlinse, Kichererbse, der Wicken-Getreide-Mix und Schwarzbrache. Weizen auf Weizen schnitt, was den Kornenertrag betrifft, am schlechtesten ab. Dies geht vermutlich auf das verbleibende Stroh an der Oberfläche zurück, welches die Keimung und das Wurzelwachstum hemmt (Buck und Nisi 2007).

Ein in den Jahren 1995 bis 1997 durchgeführter Versuch an der Versuchsstation „Ihinger Hof“ der Universität Hohenheim in Deutschland, wurde angelegt, um den Einfluss von vier verschiedenen Vorfrüchten (Körnererbse (*Pisum sativum*), Ackerbohne (*Vicia faba*), Lupine (*Lupinus albus*) und Öllein (*Linum usitatissimum*)) auf Winterweichweizen und Winterraps (*Brassica napus*) zu beschreiben. Die Düngung zu den Folgekulturen Winterweizen und Winterraps betrug jeweils 150 kg N/ha. Der verfügbare Gesamtstickstoff im Boden (=Stickstoffgehalt der Ernterückstände + mineralisierter Stickstoff ( $N_{min}$ )) vor Winterbeginn war nach Körnererbse am höchsten (110 kg N/ha), gefolgt von Ackerbohne, Lupine und Öllein (48 kg N/ha). Der Kornenertrag von Winterraps, sowie die Stickstoffaufnahme in den Spross waren nach der Vorfrucht Körnererbse leicht erhöht. Obwohl die Stickstoffaufnahme in den Spross bei der Folgefrucht Winterweizen nach den Vorfrüchten Erbse und Ackerbohne erhöht war, konnte kein signifikanter Ertragsunterschied bei Winterweizen zwischen den unterschiedlichen Vorfrüchten festgestellt werden. Die mineralische Stickstoffdüngung konnte nach Kaul (2004) die Vorfruchteffekte ausgleichen.

Aus der verfügbaren Literatur geht hervor, dass eine schlechte Vorfruchtwirkung unter sonst günstigen Bedingungen (optimale(r) Niederschlag, Nährstoffversorgung und Temperatur) zu keiner messbaren Ertragsdepression führen muss. Das bedeutet, dass Unterschiede im Kornenertrag von Winterweichweizen zwischen den Vorfrüchten auftreten können, aber durch bestimmte günstige Witterungseinflüsse oder Düngung nicht an jedem Standort bzw. in jedem Jahr erkennbar sind.

---

## 2.7. Einfluss der Temperatur und der (Winter-)Niederschläge

Zum Thema Trockenheit oder Dürre und Niederschlag, sowie auch dem Einfluss der Temperatur auf den Getreideertrag gibt es bereits einiges an verfügbarer Literatur. Im folgenden Kapitel wird versucht den Einfluss der Temperatur und der Niederschläge, je nach Verfügbarkeit auch der Winterniederschläge, auf den Kornertrag von Winterweichweizen aus bisher existierenden Arbeiten zusammenzufassen.

Neben dem Einfluss des Niederschlages ist der Einfluss der Temperatur ein wichtiger ertragsbestimmender Faktor für Wintergetreide. Insbesondere die maximale Lufttemperatur während der generativen Phase, also während der Blüte und der Kornfüllung des Winterweichweizens (BBCH 60-87), beeinflusst den Kornertrag signifikant (Salehnia et al. 2018). Ciaia et al. (2005) sagt für Europa einen Rückgang der Primärproduktion von Feldfrüchten um etwa 30 Prozent voraus. Zurückzuführen sei der Rückgang vor allem auf den Klimawandel, der eine gesteigerte Anzahl an Hitzewellen und eine Senkung der Jahresniederschlagsmenge zur Folge habe.

Nach Christen (2009) sind ausreichende Niederschläge und gemäßigte Temperaturen besonders in der Kornfüllungsphase des Winterweichweizens entscheidend. Dies gilt im Besonderen wenn der Weizen nach einer ungünstigen Vorfrucht wie z.B. Getreide gesät wurde.

Wegener (2000) untersuchte unter anderem die Parameter Temperatur und Niederschlag im Rahmen eines internationalen Stickstoffdüngerversuches in den Jahren 1972 bis 1983 an 3 Standorten in Deutschland. Die 3 Standorte Gruppenbühren, Rauschholzhausen und Puch liegen annähernd an einer Nord-Süd Achse über das ganze Land verteilt, wobei Gruppenbühren der nördlichste und Puch der südlichste Standort ist. Die mittleren Erträge der 12 Versuchsjahre schwanken dabei von Nord nach Süd zwischen 112,4 und 76,9 dt/ha. Die Auswertungen zeigen für den Standort Gruppenbühren eine negative Korrelation des Ertrages mit dem Niederschlag ( $r=-0,55$ ). Der Einfluss der Temperatur ist je nach Stickstoffdüngerintensität am Standort unterschiedlich. In Rauschholzhausen sind Temperatur ( $r=0,33$ ) und Niederschlag ( $r=0,50$ ) hingegen positiv mit dem Ertrag korreliert. Die Auswertung des Standortes Puch lieferte keine aussagekräftigen Ergebnisse.

Anhand dieser Untersuchung lässt sich erkennen, dass unterschiedliche Standorte, mit verschiedenen Klima- und Bodenbedingungen, unterschiedlich auf die Ertragsfaktoren Niederschlag und Temperatur reagieren.

Bei dem bereits erwähnten Langzeitversuch der Universität für Bodenkultur in Raasdorf in der Nähe von Wien (1998-2012), spielten die Niederschläge während der Vegetation des Winterweichweizens (Oktober-Juni) eine wichtige Rolle. Mit steigenden Niederschlägen wuchs auch der Weizenertrag, wobei der Anstieg bei der Direktsaatvariante am geringsten ausfiel (Abb. 7) (Neugschwandtner et al. 2016).

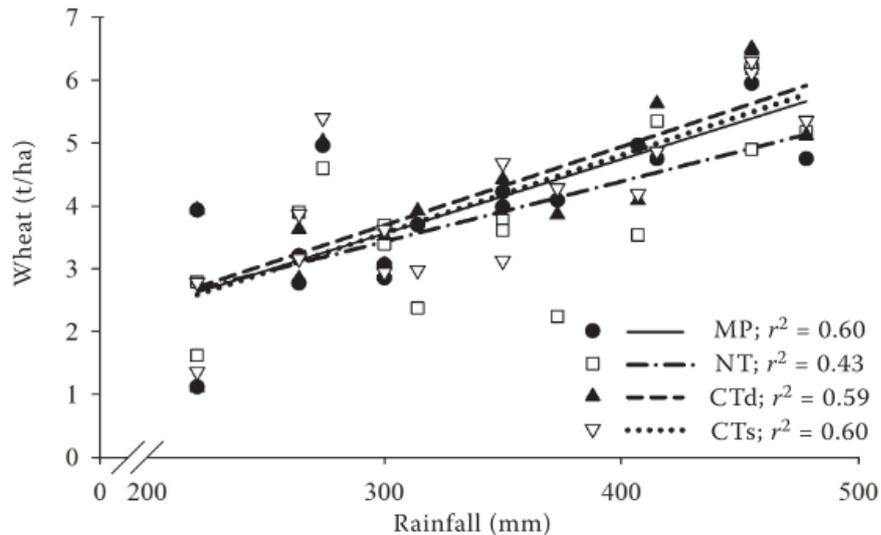


Abbildung 7: Einfluss des Niederschlags (Okt.-Juni) auf den Ertrag von Winterweichweizen unter verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen (MP=konventionell, NT=Direktsaat, CTd=konservierend tief, CTs=konservierend seicht) (Neugschwandtner et al. 2016)

Eine wissenschaftliche Arbeit aus dem Iran beschreibt eine Studie über einen Trockenheitsindex (Keetch-Byram Drought Index, kurz KBDI), der ursprünglich entwickelt wurde um die Waldbrandgefahr zu ermitteln. Im nordöstlichen Iran fallen jährlich, je nach Standort zwischen 137 und 308 mm Jahresniederschlag, wobei der Großteil im Winter und im beginnenden Frühjahr fällt. Der KBDI zeigt den Wasserentzug in der oberen Bodenschicht, als Funktion vom täglichen Niederschlag und der täglichen maximalen Lufttemperatur, an. Der KBDI wurde auf seine Eignung hin getestet, die Vegetation in Abhängigkeit der Wasserversorgung und die Ertragsschwankungen in dem semi-ariden Klima zu beschreiben. Der KBDI korrelierte positiv mit der Maximaltemperatur ( $r=0,45$  bis  $0,57$ ) und negativ mit dem Niederschlag ( $r=-0,58$  bis  $-0,74$ ). Eine Korrelation zwischen dem KBDI und dem Ertrag von Wintergetreide konnte für die Wintermonate nicht festgestellt werden. An vier Standorten zeigten sich allerdings für die Monate April und Mai signifikante Zusammenhänge ( $r=0,53$  bis  $0,65$ ). Des Weiteren wurde der Einfluss der Jahresniederschlagsmenge auf den Winterweichweizenertrag untersucht, welcher ebenfalls an vier von sechs Standorten nachweisbar war ( $r=0,45$  bis  $0,52$ ) (Salehnia et al. 2018).

Aus der fehlenden Korrelation des KBDI mit dem Wintergetreideertrag in den Wintermonaten kann abgeleitet werden, dass der Wasserbedarf von Wintergetreide in der frühen Entwicklungsphase eher gering ist oder aber die Stresseinflüsse in der späteren Entwicklung kompensiert werden können. Folglich hat die Höhe der Winterniederschläge im Iran, laut der oben genannten Studie, keinen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag von Winterweichweizen und Wintergerste. Aufgrund des signifikanten Zusammenhangs zwischen KBDI und Ertrag in den Monaten April und Mai kann weiters abgeleitet werden, dass Wintergetreide ab der beginnenden generativen Phase am empfindlichsten gegenüber fehlendem Niederschlag und hohen maximalen Tagestemperaturen ist. Die Korrelation der Jahresniederschlagsmenge mit dem Weizenertrag hängt vermutlich mit der generell geringen Jahresniederschlagsmenge im Iran zusammen.

Der NDVI (Normalisierter Differenzierter Vegetationsindex) ist ein Index, welcher die Dichte des Bewuchses auf einer Fläche beschreibt. Über Satellit wird festgestellt wie

viel photosynthetisch-aktive Strahlung von der Vegetation auf dieser Fläche absorbiert und wie viel reflektiert wird. Je mehr Strahlung absorbiert wird, desto dichter ist der Bewuchs. Die Aufzeichnung erfolgt in einem Abstand von 16 Tagen. Salehnia et al. (2018) stellten fest, dass der NDVI stark positiv mit dem Jahresniederschlag an sechs Standorten im Iran korreliert ( $r=0,70$  bis  $0,91$ ), jedoch wurde keine signifikante Korrelation des NDVI mit dem Getreideertrag gefunden.

In einer spanischen Studie wurde ein meteorologischer Dürre-Index, der SPI (=Standardized Precipitation Index; Standardisierter Niederschlagsindex), mit satellitenbasierten agronomischen Dürre-Indices, wie dem VCI (=Vegetation Condition Index; Vegetationszustandsindex), dem TCI (=Temperature Condition Index; Temperaturzustandsindex) sowie deren Mittelwert, die auf Agrarbezirksebene berechnet wurden, verglichen. Für die Studie wurden die Daten von 12 Anbaujahren mit unter anderem Winterweichweizen, herangezogen. Der Standardisierte Niederschlagsindex (SPI) und die zwei satellitenbasierte Dürre-Indices, VCI und TCI, die mit Hilfe des NDVI (siehe oben) berechnet werden, sowie deren Mittelwert wurden verwendet um die Schwere einer Dürre zu beschreiben. Die satellitenbasierten Indices stellten sich als besser geeignet heraus um die Ertragshöhe aber auch Ertragsanomalien von Winterweichweizen zu beschreiben. (Tab.2) Bei Winterweizen stimmten die Ertragshöhen zu etwa 70 Prozent ( $R^2=0,70$ ) mit den tatsächlich gemessenen Erträgen im selben Zeitraum überein. Das  $R^2$  beschreibt wie viel Prozent der Gesamtvarianz durch das Modell erklärt werden können. Die Ergebnisse der Studie weisen auf die Wichtigkeit hin, satellitenbasierte Dürre-Indices, also genaue Standortdaten in die landwirtschaftliche Entscheidungsfindung einzubauen und mit meteorologischen Daten zu verknüpfen. Die Zielsicherheit bei Dürrevorhersagen oder Ertragsschätzungen wird so erhöht (García-León et al. 2019).

Tabelle 2:  $R^2$  für die Genauigkeit der Berechnung vom Weizenertrag, je nach verwendeten Dürreindices (SPI1-6=Betrachtungszeitraum 1-6 Monate) (García-León et al. 2019)

Berechneter Kornertrag aus diversen Dürreindices	
Dürreindex	Bestimmtheitsmaß $R^2$
VCI	0,693
TCI	0,661
VCI+TCI	0,700
SPI-1	0,636
SPI-3	0,656
SPI-6	0,655

Die oben genannten Dürreindices beinhalten sowohl Niederschlag (SPI), in ausgewählten Zeiträumen( 1-6 Monate), als auch die Lufttemperatur (TCI). Das hohe  $R^2$  der verschiedenen Modelle beweist zusammen mit dem Vegetationsindex (VCI) einen ebenfalls hohen Einfluss von Niederschlag und Temperatur auf den Weizenertrag.

Eine tschechische Studie beschäftigte sich mit dem Einfluss, den Dürreperioden, in bestimmten Zeitpunkten des Jahres, auf den Ertrag von 11 Feldfrüchten (Winter- und Sommerweizen (*Triticum aestivum*), Winter- und Sommergerste (*Hordeum ssp.*), Hafer (*Avena sativa*), Winterroggen (*Secale cereale*), Mais (*Zea mays*), Zuckerrüben (*Beta vulgaris ssp. vulgaris*), Kartoffel (*Solanum tuberosum*), Raps (*Brassica napus*) und Wein (*Vitis vinifera*)) haben. Der SPEI (=Standardisierter Niederschlags-

Evapotranspirations-Index) wurde verwendet um die Feuchtigkeit für jedes Monat von 1961 bis 2012 zu bestimmen. Der SPEI kann Werte zwischen -2 (Dürre) und 2 (Übersättigung mit Wasser) annehmen. Es wurde festgestellt, dass der SPEI mit dem Kornertrag korreliert. Die Korrelation ist je nach Kultur und Wachstumsperiode unterschiedlich hoch. Der Korrelationskoeffizient ( $r$ ) beträgt für Winterweichweizen während der Blüte und Kornfüllung, in den Monaten Mai und Juni  $r=0,32-0,62$ , je nachdem ob man den SPEI in einer Zeitspanne von einem Monat oder in einer Zeitspanne von sieben Monaten mit dem Ertrag in Beziehung setzt. Jedoch ist eine Trockenphase in den Monaten April und Mai, laut den Autoren, für Wintergetreide weniger ertragswirksam als für Sommergetreide oder Mais. Als Grund dafür wird die bereits weiter fortgeschrittene Wurzelentwicklung von Wintergetreide genannt. Die größte Dürre-Ertragskorrelation wurde generell für Getreide, im Vergleich zu den oben genannten Kulturen, festgestellt. Auch wurde festgestellt, dass sich das Risiko einer Frühjahrstrockenheit seit dem Jahr 2000 im Vergleich zur Periode 1960-1980 verdoppelt hat (Potopová et al. 2015). Das zunehmende Risiko von Frühjahrstrockenheiten macht eine ausreichende Menge an Winterniederschlägen, die die Bodenporen über den Winter mit Wasser füllen, umso wichtiger.

Der Winterweizen und Wintergerstenertrag auf der iberischen Halbinsel wurde von 1986 bis 2012 untersucht. Das Dürrierisiko wurde dabei ebenfalls durch den SPEI (=Standardisierter Niederschlags-Evapotranspirations-Index) den VCI, den TCI und den VHI (Mittelwert von VCI und TCI; Abkürzungen siehe oben bzw. im Abkürzungsverzeichnis) beschrieben. Es stellte sich heraus, dass der Ertrag besonders stark unter einer Trockenheit zu Vegetationsbeginn und unter zu hohen Temperaturen in der Kornfüllungsphase zur Ernte hin leidet. Alle Dürre-Indices hatten großen Einfluss auf den Ertrag in den Phasen, in denen die Pflanze am photosynthetisch aktivsten ist, also den größten Biomassezuwachs aufweist. Für Winterweizen wurden kleinere Einflüsse einer Dürre- bzw. Hitzeperiode auf den Ertrag im Herbst und Winter und größere Einflüsse im Frühjahr zur Blüte und Reife des Getreides festgestellt (siehe Abb.8). Ab der achten Woche des Jahres ist die Korrelation zwischen VHI und Ertrag signifikant (Ribeiro et al. 2019).

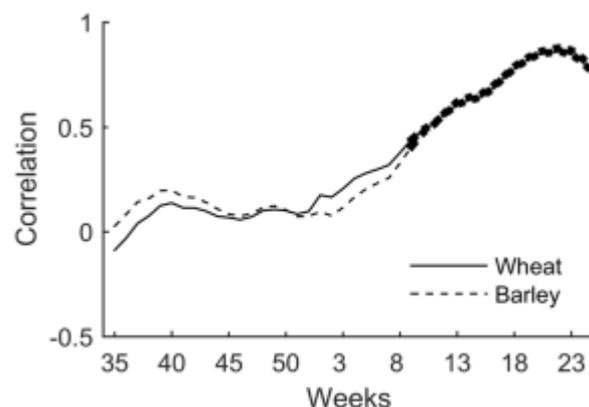


Abbildung 8: Korrelation des VHI (Vegetationsgesundheitsindex) mit dem Ertrag von Winterweichweizen und Wintergerste auf dem südlicheren Teil der iberischen Halbinsel von 1986 bis 2012 (Spanien/Portugal) (Ribeiro et al. 2019)

Laut Ribeiro et al. (2019) sinkt der Ertrag von Wintergerste und Winterweichweizen signifikant, wenn ab Woche acht eines Jahres zu wenig Bodenwasser vorhanden ist. Eine Trockenheit zu Vegetationsbeginn kann durch eine ausreichende Menge an Bodenwasser aus Niederschlägen im Winter kompensiert werden. Somit lässt sich schlussfolgern, dass Winterniederschläge, da sie den Bodenwasservorrat auffüllen,

---

einen Einfluss auf das Pflanzenwachstum zu Beginn der Vegetationsperiode haben. Des Weiteren sind ausreichende Bodenfeuchte und gemäßigte Temperaturen in der Blüte und Reifephase des Getreides laut Ribeiro et al. (2019) entscheidend für den Kornertrag. Ob dies auch für Niederösterreich gilt, soll im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden.

Der Einfluss von Niederschlag und Temperatur auf den Weizenertrag in Europa wurde von einem sechszwanzigköpfigen AutorInnenteam untersucht und daraus Klimamodelle für die Zukunft generiert. Es wurden jeweils Daten von einer Wetterstation in Spanien, zwei Wetterstationen in Deutschland und einer Wetterstation in Finnland für die Auswertung herangezogen. Die Weizenerträge wurden von 1981 bis 2010 erfasst und als Grundlage für die Berechnung der zukünftigen Ertragsentwicklung in Europa verwendet. Für Finnland lässt sich sagen, dass eine Steigerung der Durchschnittstemperatur den Ertrag stärker fallen lässt als eine Senkung der Jahresniederschlagsmenge. In Spanien und Deutschland waren die Auswirkungen von Temperatur und Niederschlag etwa ausgeglichen. Ein Temperaturanstieg in Europa um 1°C würde die Weizenerträge etwa um 5 bis 7 Prozent senken. Beim Niederschlag ist die Aussage weniger eindeutig. 10 Prozent weniger Niederschlag senken den Ertrag um etwa 1 bis 10 Prozent (Pirttioja et al. 2015). Diese Studie kommt zu dem Schluss, dass mit regionalen Unterschieden eine Steigerung der Durchschnittstemperatur einen höheren bzw. eindeutigeren Ertragsrückgang für Winterweichweizen bedeutet, als das bei einer sinkenden Jahresniederschlagsmenge der Fall wäre. Das streicht den großen Einfluss der Temperatur auf den Weizenertrag heraus.

Eine Arbeit aus dem Jahr 2016 in Ungarn beschreibt den Einfluss des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Produktion. Die aktuellen Probleme werden in zwei Gruppen eingeteilt: Einerseits bringen die Veränderungen, die der Klimawandel in der Natur hervorbringt, wie Unwetter, Dürren, Wasserknappheit, Spätfrost, Anstieg der Hitzetage etc., andererseits die immer strenger werdenden politischen Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft, Probleme hervor. Die Autoren schlussfolgern, dass Veränderungen des Niederschlags die größten Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion haben. Eine geringe Verfügbarkeit von Wasser in der Vegetationsperiode hat äußerst negative Folgen für den Pflanzenertrag. Trockene und milde Winter begünstigen die Entwicklung von Schädlingen oder die Überwinterung von Unkräutern. In Ungarn pendeln deshalb die Weizen- und Maisernten, die die Hälfte der Anbaufläche beanspruchen, jährlich zwischen 9 und 15 Millionen Tonnen (Jolánkai et al. 2016). Die Verfügbarkeit von Wasser in der Vegetationsperiode hängt nicht nur von den Niederschlägen in derselben, sondern auch von den Niederschlägen in der Winterperiode ab, die im Boden zwischengespeichert werden. Des Weiteren wird der Bodenwasserhaushalt auch von den bereits oben genannten Faktoren, wie der Evaporation beeinflusst. Fallen ausreichend Winterniederschläge, so muss der Boden außerdem genügend Wasserspeicherkapazität aufweisen, damit den Pflanzen in der Vegetationsperiode dieses Wasser auch zur Verfügung steht.

Eine im Jahr 2007 veröffentlichte Studie beschreibt den Einfluss von Hitze auf den Kornertrag und die Qualität von Winterweichweizen während der Kornfüllungsphase. Die Versuche wurden über 2 Jahre in Glashäusern angelegt. Die Tagestemperatur war 25°C und die Nachttemperatur 16°C. Die erste Versuchsvariante war eine Erhöhung der Tagestemperatur auf 35°C (für 5 h pro Tag) und der Nachttemperatur auf 25°C, für die Dauer von einer Woche, 25 Tage nach der Blüte. In der zweiten

---

Variante wurde, ab demselben Zeitpunkt, die Temperatur für 2 Wochen auf dasselbe Niveau erhöht. Die dritte Variante war eine einwöchige Temperaturerhöhung wie in Variante 1 und 2, allerdings bereits 15 Tage nach der Blüte. Die Kontrollgruppe blieb bis zur Reife konstant bei 25 bzw. 16°C (Tag- bzw. Nachttemperatur). Die Ergebnisse zeigten eine Verkürzung der Kornfüllungsphase um sechs Tage bei einwöchigem Hitzestress (15 bzw. 25 Tage nach der Blüte) und eine Verkürzung um dreizehn Tage bei zweiwöchigem Hitzestress. Auch das Tausendkorngewicht des Erntegutes war signifikant geringer (Buck und Nisi 2007).

Dieses Experiment zeigt, dass Winterweichweizen, beinahe für jeden Tag mit 35°C Tagestemperatur (hier unter Laborbedingungen) die Kornfüllungsphase um einen Tag reduziert, was das Tausendkorngewicht und somit den Kornertrag stark negativ beeinflusst.

Die ökonomischen Effekte des Klimawandels auf Getreide werden durch eine iranische Studie beschrieben. Es wurden die Ertrags- und Klimadaten (Temperatur und Niederschlag) von 1983 bis 2014 im Iran erfasst. Für die Auswertung wurde ein PCSE-Modell (=Panel Corrected Standard Error) verwendet. Eine positive Korrelation zwischen dem Weizenertrag und der Herbst- und Wintertemperatur bzw. den Frühjahrsniederschlägen wurde gemessen. Der Klimawandel sei im Großen und Ganzen für die Weizenerträge im Iran vorteilhaft (Saei et al. 2018).

Ein Anstieg der Frühjahrsniederschläge, wie in dem Klimamodell im Iran angenommen, würde sich vermutlich auch auf den Weizenertrag in Österreich positiv auswirken, während ein Temperaturanstieg wohl negative Auswirkungen hätte.

Eine Studie aus Dänemark, die Ertrags und Wetterdaten von 1992 bis 2008 miteinander in Beziehung setzt, kommt zu dem Schluss, dass eine Temperaturerhöhung während der Kornfüllungsphase des Winterweichweizens den Kornertrag schmälert. Ein Anstieg der Temperatur in der Kornfüllungsphase um 1°C in Dänemark senkt nach Kristensen et al. (2011) den Kornertrag um durchschnittlich 0,25 t/ha und verkürzt die Kornfüllungsphase um fünf Prozent in der Dauer. Ein Niederschlagsanstieg im Frühjahr und Sommer wirkt sich laut den Autoren negativ auf den Weizenertrag aus, was vor allem auf einen Anstieg des Krankheitsdrucks zurückzuführen ist. Ein Temperaturanstieg im Winter beeinflusst den Kornertrag ebenfalls negativ aufgrund der zu raschen Entwicklung der Weizenpflanze und dem dadurch unzureichend ausgebildeten Wurzelsystem (Kristensen et al. 2011).

Eine ungarische Arbeit aus dem Jahr 2020 beschäftigt sich mit der saisonalen Vorhersagbarkeit des Wetters und der landwirtschaftlichen Pflanzenerträge. Es wurde aufgezeigt, dass der tägliche Niederschlag, über einen längeren Zeitraum gemittelt, keinem mathematischen Trend folgt. Warme Winter machen laut Juhász et al (2020) auch ein warmes Frühjahr wahrscheinlich. Auch wenn Langzeitdaten für die Berechnung herangezogen werden, in diesem Fall von 1982 bis 2016, sei der Ertrag von landwirtschaftlichen Produkten für die jeweils kommende Vegetationsperiode, genauso wie das Wetter, nicht vorherzusagen. Entdeckt wurde aber ein Zusammenhang zwischen Winterweizen- und Maiserträgen für die untersuchte Region in Ungarn. Wenn der Winterweizenertrag schlecht ist, ist es wahrscheinlich, dass auch der Maisertrag unterdurchschnittlich ausfällt (Juhász et al. 2020).

In einer schwedischen Arbeit aus dem Jahre 2009 wurden der Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf Kornertrag, Tausendkorngewicht und Krankheitsbefall von Winterweizen untersucht. Es wurden Winterweizenfelder mit und ohne Fungizideinsatz getrennt untersucht. Die Daten stammen aus den Jahren

---

1988 bis 2007, mit einem Durchschnittsniederschlag von 664 mm pro Jahr und monatlichen Durchschnittstemperaturen im Minimum von 0,5°C und im Maximum von 17,3°C. Da der Anbau- und Erntetermin von Winterweizen in Schweden aufgrund des Klimas von unserem abweicht, lassen sich keine direkten Vergleiche anstellen, trotzdem sind die Ergebnisse auch für die österreichische Produktion nicht uninteressant. Die Entwicklung des Winterweizens wurde signifikant von den Niederschlägen im August vor der Saat, der Temperatur im Aussaatmonat September bzw. von der Frühjahrstemperatur im Monat Mai beeinflusst ( $p < 0,01$ ). Je höher die Temperaturen, desto schneller war der Weizen in der vegetativen und generativen Entwicklung. Beim Kornertrag gab es eine Korrelation zwischen Ertrag und Temperatur im September und März bzw. dem Niederschlag im Februar und Juni ( $R^2 = 0,67$ ). Der Februar- und Juniniederschlag und die Temperaturhöhe im Dezember als unabhängige Wetterfaktoren beschrieben den steigenden Kornertrag am Besten ( $r = 0,55$ ;  $p < 0,05$ ). Dezember-, Mai- und Junitemperatur erklärten über 50% der Änderungen des Tausendkorngewichts ( $R^2 = 0,51$ ) (Wiik und Ewaldz 2009).

Laut der oben genannten Arbeit wirken sich die Winterniederschläge, in diesem Fall die Niederschläge im Monat Februar, positiv auf den Kornertrag von Winterweizen aus.

In einer chinesischen Arbeit wurde, wie bereits im Kapitel 2.5 erwähnt, der Einfluss von verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten auf den Kornertrag und Trockenmasseertrag von Winterweizen und die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens untersucht. Der Versuch wurde auf einem Löss-Plateau in der Shanxi Provinz in China durchgeführt und dauerte von 2009-2015. Der durchschnittliche Jahresniederschlag betrug 491mm und die Jahresdurchschnittstemperatur 12,9°C. Zwei Drittel des Niederschlages fallen dort über den Sommer, wenn der Weizen bereits abgeerntet und der Boden nicht bewachsen ist. Der Kornertrag des Winterweizens korrelierte positiv mit den Niederschlägen in der vegetationsfreien Zeit bis zum Anbau Ende September. Hingegen war keine Korrelation zwischen dem Ertrag und den Niederschlägen von der Saat bis zum Beginn der Schossphase und weiter zur Blüte feststellbar (Xue et al. 2019). Das bedeutet, dass die Winterniederschläge, die in den Niederschlägen von der Saat bis zur Schossphase enthalten sind, laut den Autoren keinen signifikanten Ertragseinfluss haben, was vermutlich an der Niederschlagsverteilung, insbesondere der hohen Niederschlagsintensität im Sommer, in der nicht bewachsenen Phase des Bodens, und den generell sehr gering ausfallenden Winterniederschlägen liegt.

In einer tschechischen Studie, veröffentlicht im Jahr 2013, wurde hervorgehoben, dass Winterweizen an zu hohen Winterniederschlägen leidet. Eine lange Schneedecke bis in das Frühjahr kann, kombiniert mit höheren Regenmengen wie in den Jahren 1986 und 2006 in Süd-Mähren (tschechische Region), eine erhöhte Auswinterung bewirken und so einen Minderertrag zufolge haben (Kolář et al. 2014). An diesem Beispiel lässt sich erkennen, dass Winterniederschläge auch negative Ertragsauswirkungen haben können.

Bezugnehmend auf die verfügbare Fachliteratur lässt sich sagen, dass der Einfluss der Winterniederschläge auf den Ertrag von Winterweizen standortabhängig sehr unterschiedlich ausfällt. Da nahezu alle Studien die Winterniederschläge oder aber auch den Bodenwassergehalt zu Vegetationsbeginn in ihre Ergebnisse mit einbeziehen, haben diese zumindest einen indirekten Ertragseinfluss. Der negative Einfluss von hohen Temperaturen auf die Ertragsbildung von Winterweizen, vor allem in der Kornfüllungsphase (Mai und Juni), wird in zahlreichen Arbeiten bestätigt.

---

## 3. Material und Methoden

### 3.1. Grundsätzliches

Diese Arbeit ist eine Analyse bereits vorhandener, zusammengetragener Daten. Es wurden die Ertragsdaten von Winterweichweizen aus den Jahren 2006 bis 2019 für eine statistische Auswertung herangezogen. Die Daten wurden von der Landwirtschaftskammer Niederösterreich und der Statistik Austria zur Verfügung gestellt. Die Datensätze beinhalten sowohl die Weichweizenerträge konventionell, als auch biologisch wirtschaftender Betriebe, wobei dies nicht getrennt ausgewiesen ist. Es handelt sich hierbei unter anderem um landwirtschaftliche Arbeitskreisdaten, aus sechs verschiedenen niederösterreichischen Verwaltungsbezirken. Die ausgewerteten Bezirke sind:

- Baden,
- Hollabrunn,
- Horn,
- Krems,
- Mistelbach und
- Wiener Neustadt

Die Daten wurden und werden weiterhin auf freiwilliger Basis von ausgewählten landwirtschaftlichen Betrieben aufgezeichnet. Einmal jährlich werden die gesammelten Daten an die Landwirtschaftskammer Niederösterreich übermittelt. Ein zweiter Datensatz an Ertragsdaten wurde von der Statistik Austria bezogen. Diese Daten stammen von etwa 2000 Betrieben, über ganz Niederösterreich verteilt, die die Weizenerträge ebenfalls jährlich an die Statistik Austria melden. Es wurden hierbei nur die Daten aus den sechs oben genannten Bezirken verwendet.

Die meteorologischen Parameter wie Niederschlag und Temperatur stammen von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (kurz: ZAMG). Bei den Daten handelt es sich um Tagesdaten aus dem Teilautomatischen Wettererfassungssystem der ZAMG (kurz: TAWES) (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2022). Für den Niederschlag wurde die Tagessumme ermittelt, bei der Temperatur wurden die Minimum-, Maximum- und die Durchschnittstemperatur jedes Tages aufgezeichnet. Die Tagesdaten werden von den Wetterstationen von 7 Uhr bis 7 Uhr des Folgetages, also genau über 24 Stunden, aufgezeichnet. Sie stammen aus dem Zeitraum von 01.01.2005 bis 31.12.2019 von Wetterstationen aus den oben genannten Bezirken. Abbildung 11 zeigt eine Übersicht aller Wetterstationen in Niederösterreich. Es wurden die Daten der folgenden Wetterstationen verwendet:

- Horn
- Gars am Kamp
- Langenlois
- Krems
- Wr. Neustadt Flugplatz
- Laa an der Thaya
- Mistelbach
- Poysdorf (Ost)
- Schöngrabern

- Retz-Windmühle
- Berndorf
- Klausen-Leopoldsdorf
- Seibersdorf
- Gumpoldskirchen

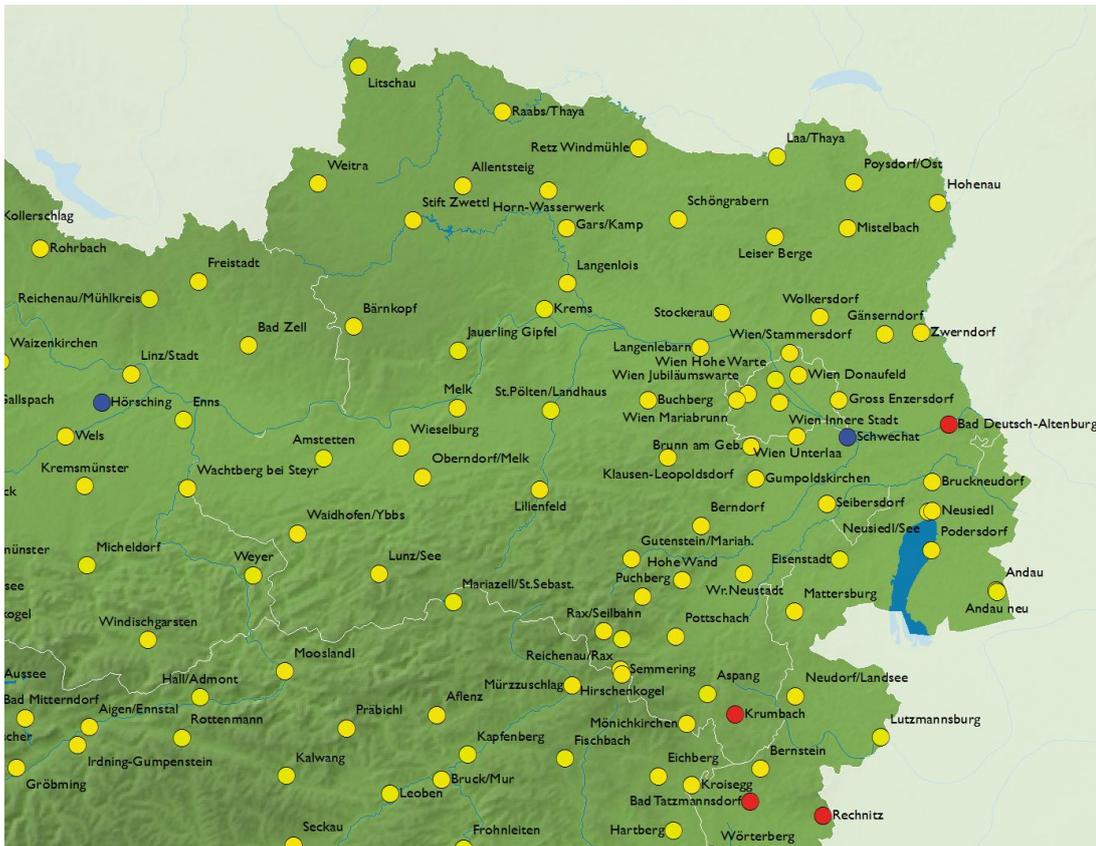


Abbildung 9 Meteorologisches Messnetz in Niederösterreich (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2022)

### 3.2. Klima und Böden in NÖ

Niederösterreich hat Anteil an zwei großen Klimazonen Mitteleuropas. Es treffen dort das westeuropäisch atlantische und das osteuropäisch kontinentale Klima zusammen. Das atlantisch-ozeanisch geprägte Klima ist durch höhere Niederschlagsmengen (bis 1000 mm/Jahr), eine geringere Anzahl an Sonnenstunden und geringere Temperaturschwankungen gekennzeichnet. Genau genommen teilt sich Niederösterreich in fünf Klimagebiete auf (Abb.12):

- 1) alpines Klima
- 2) pannonisches Klima im Osten NÖ
- 3) atlantisch geprägtes Klima im Alpenvorland
- 4) kontinental geprägtes Hochflächenklima
- 5) illyrisches Klima im Südosten NÖ

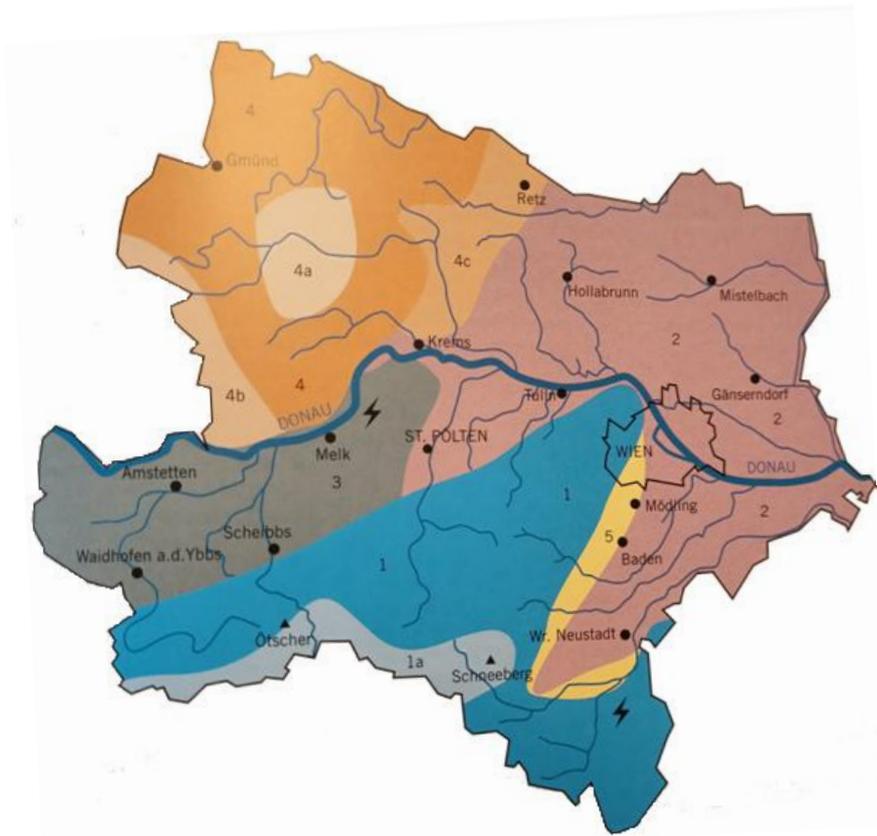


Abbildung 10 Die Klimagebiete Niederösterreichs (Nagl 2002b)

Alle Ziffern, die zusätzlich mit Buchstaben gekennzeichnet sind, stellen Übergangszonen dar (siehe Abb.12) (Nagl 2002b).

Von den sechs untersuchten Bezirken liegen die Bezirke Mistelbach (vollständig), Hollabrunn, Baden und Wiener Neustadt (zu einem Großteil) im pannonischen Klimagebiet. Die Großlandschaften „Weinviertel“ und das „Wiener Becken“ grenzen das pannonische Klimagebiet ein. Die Böden dieses Klimaraums sind hauptsächlich aus Löss, einem kalkhaltigen „Flugsand“ der vom Wind verfrachtet wurde, entstanden. Aus Löss entstehen meist Lehmböden (Gemisch aus etwa gleichen Teilen Sand, Schluff und Ton) des Typs Tschernosem (Schwarzerde), bei etwas feuchteren Niederschlagsverhältnissen Parabraunerden, sowie bei stauender Nässe Pseudogleye. Krems, Horn sowie Teile des Bezirks Hollabrunn (wie die Stadtgemeinde Retz) liegen bereits im kontinentalen Hochflächenklima oder in dessen Übergangszone, die als besonders niederschlagsarm gilt. Das kontinentale Hochflächenklima ist das typische Klima des Granit- und Gneishochlandes, wozu das gesamte Waldviertel zählt. Die Bodentypen des Waldviertels sind je nach Niederschlagsmenge saure Braunerden bis Podsole und bei Grundwassereinfluss Gleye. Das illyrische Klima, in dem sich Teile der Bezirke Baden und Wiener Neustadt befinden, weist höhere Niederschlagsmengen als das pannonische Klimagebiet auf. Der typische Boden des illyrischen Klimas ist der meist auf eiszeitlichen Mergeln entstandene Pseudogleye (Nagl 2002a).

Sowohl das kontinentale als auch das pannonische Klimagebiet sind durch häufig auftretende Trockenperioden (mind. 4-10 jährlich), die mindestens zehn Tage andauern, gekennzeichnet. Die Jahresniederschlagsmenge (400-600 mm/Jahr) ist tendenziell am Sinken, wobei gleichzeitig die Starkregenereignisse zunehmen, die vom Boden meist nicht vollständig aufgenommen werden können. (Nagl 2002b).

### 3.3. Kurzbeschreibung der einzelnen Bezirke

#### 3.3.1. Baden



Abbildung 11 Bezirk Baden  
(<https://www.noel.gv.at/noe/index.html>)

Der Bezirk Baden liegt südlich von Wien, im sogenannten Industrieviertel. Die Gesamtfläche des Bezirkes beträgt etwa 75.300 ha. Die Bezirksbauernkammern Baden und Mödling erfassen ihre Daten gesammelt. Der Bezirk Mödling hat eine Gesamtfläche von etwa 27.700 ha. Die Ackerfläche beider Bezirke beträgt im Jahr 2022 23.668 ha, wobei etwa 11.000 ha mit Getreide bestellt waren. Winterweichweizen wurde auf etwa 6.000 ha davon ausgesät. Die Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe, die einen Mehrfachantrag-Flächen bei der Bezirksbauernkammer gestellt haben, belief sich 2022 auf 965 (Nagl 2022).

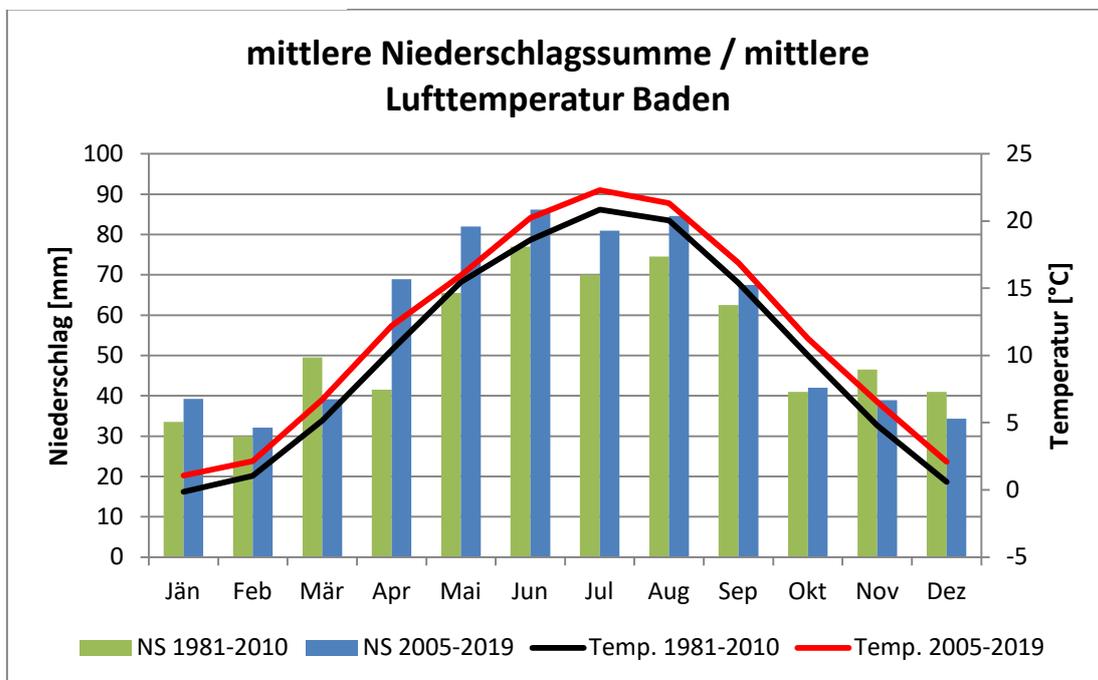


Abbildung 12: Klimadiagramm Baden

Die Jahresniederschlagssummen der Wetterstationen Seibersdorf und Gumpoldskirchen betragen im Zeitraum 1981 bis 2010 im Mittel 632,5 mm und im Auswertungszeitraum 2005 bis 2019 695,9 mm, wobei die Schwankungsbreite beim Jahresniederschlag im Zeitraum 2005 bis 2019 von 656,1 mm im Jahr 2010 bis 350,3 mm im Jahr 2011 reicht. Die höheren Niederschlagssummen teilen sich wie in Abb.13 ersichtlich auf die Monate April bis September auf und sind vermutlich auf häufige Starkniederschläge in diesem Zeitraum zurückzuführen. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt von 1981 bis 2010 bei 10,18°C, während sie von 2005 bis 2019 bereits 11,61°C beträgt. Das Jahr mit der höchsten Jahresdurchschnittstemperatur im Versuchszeitraum ist 2019 (12,59°C), jenes mit der niedrigsten 2010 (10,19°C) (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2022).

### 3.3.2. Hollabrunn



Der Bezirk Hollabrunn liegt im nördlichen Niederösterreich, genauer gesagt im westlichen Weinviertel und hat eine Gesamtfläche von 101.100 ha. Etwa 21 Prozent des Bezirkes sind bewaldet. Die landwirtschaftliche Nutzfläche beläuft sich auf 66.800 ha, davon entfallen ca. 59.000 ha auf Ackerland und ca. 7.000 ha auf Weingärten. 2019 belief sich die Getreideanbaufläche des Bezirkes auf 30.340 ha, wovon 19.240 ha mit Winterweichweizen bestellt waren. Im Jahr

Abbildung 13 Bezirk Hollabrunn (<https://www.noel.gv.at/noe/index.html>)

2019 stellten 1.162 landwirtschaftliche Betriebe (ohne Weinbaubetriebe) einen Mehrfachantrag-Flächen um Ausgleichszahlungen zu erhalten (Widl 2019).

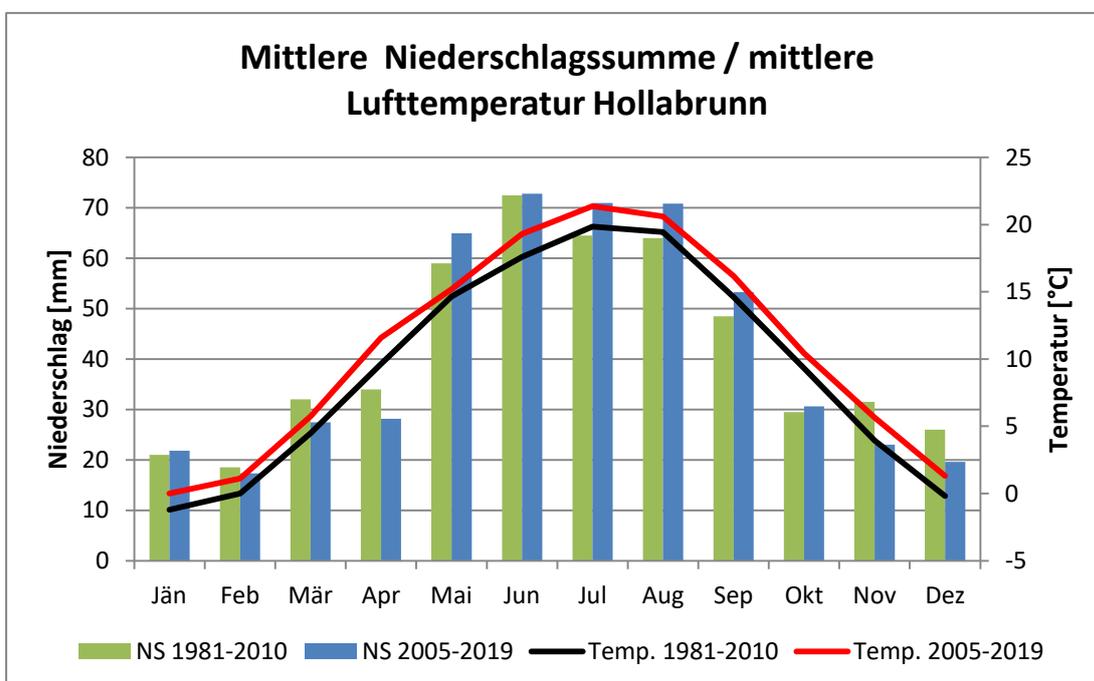


Abbildung 14 Klimadiagramm Hollabrunn

Die durchschnittliche Jahresniederschlagssumme der Wetterstationen Schöngrabern und Retz beträgt in den Jahren 1981 bis 2010 501 mm, genau wie im Untersuchungszeitraum 2005 bis 2019, wobei aber ein leichter Trend der Verlagerung der Niederschlagsmengen in die Sommermonate erkennbar ist. Die Schwankungsbreite beim Jahresniederschlag im Versuchszeitraum reicht von 656,1 mm im Jahr 2010 bis 350,3 mm im Jahr 2011. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt von 1981 bis 2010 9,35°C während sie im Zeitraum 2005 bis 2019 auf 10,76°C ansteigt. Das wärmste Jahr im Zeitraum 2005 bis 2019 ist 2018 (11,87°C Jahresdurchschnittstemperatur) und das kühlfste 2010 (9,24°C) (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2022).

### 3.3.3. Horn



Abbildung 15 Bezirk Horn  
(<https://www.noel.gv.at/noe/index.html>)

Der Bezirk Horn liegt im Norden Niederösterreichs und stellt den östlichsten Teil des Waldviertels dar. Kleine Teile des Bezirks reichen bis in das Weinviertel. Das Klima ist, wie bereits eingangs erwähnt, kontinental geprägt. Die Katasterfläche beträgt etwa 78.400 ha, wobei der Waldanteil bei 29 Prozent liegt. Die Ackerfläche des Bezirks beläuft sich laut Mehrfachantrag-Flächen 2021 auf 47.350 ha, wobei etwa die Hälfte der Fläche mit Getreide bestellt war. Winterweichweizen wuchs auf 11.318 ha im Bezirk. Die Zahl der abgegebenen Mehrfachanträge betrug im Jahr 2021 1020 (Sprung 2021).

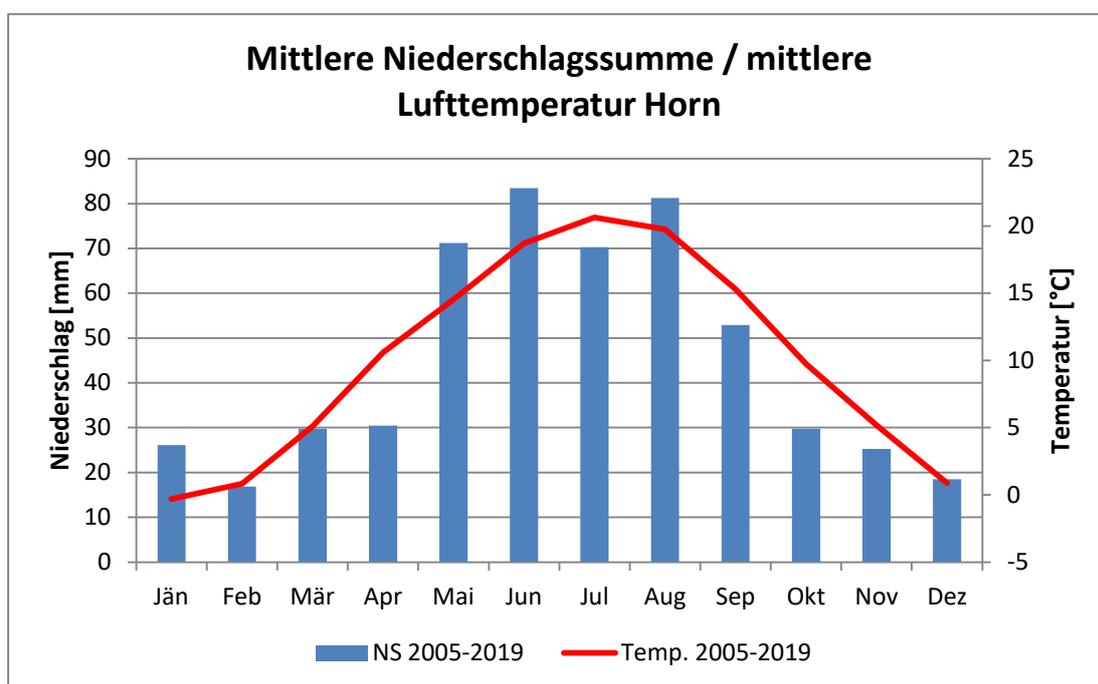


Abbildung 16 Klimadiagramm Horn

Die Wetterstation Horn lieferte leider mehrmals im Zeitraum von 1981-2010 keine Daten, weshalb es nicht möglich ist den Klimaspiegel für diesen Zeitraum zu berechnen. Im Versuchszeitraum beträgt die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge 535,9 mm und die durchschnittliche Jahrestemperatur 10,12°C. Die Jahresniederschläge schwanken von 732,7 mm im Jahr 2010 bis 372,5 mm im Jahr 2017. Die höchste maximale Tagestemperatur im Zeitraum 2005 bis 2019 ist 38,7°C, gemessen im August 2013. 2010 war nicht nur das feuchteste, sondern auch das kälteste Jahr mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,56°C. Das wärmste Jahr ist 2015 mit 11,08°C (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2022).

### 3.3.4. Krems



Der Bezirk Krems (ohne die Statutarstadt Krems an der Donau) liegt zu einem Großteil im Waldviertel (kontinentaler Klimaeinfluss), hat aber auch Anteile am Wein- und Mostviertel. Die Fläche des Bezirks beträgt ungefähr 92.400 ha, wobei 55 Prozent der Fläche bewaldet sind. Die Ackerfläche betrug 2021 20.439 ha, die Grünlandfläche etwa 5.700 ha. Weinbau wurde auf 6.439 ha betrieben. Die Hälfte der Ackerfläche war 2021 mit Getreide bestellt, auf 3.420 ha wuchs Winterweichweizen. Die Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe, die einen Mehrfachttrag-Flächen stellten belief sich im Jahr 2021 auf 2476 (inkl. Weinbaubetriebe) (Schmudermayer 2021).

Abbildung 17 Bezirk Krems-Land  
(<https://www.noel.gv.at/noe/index.html>)

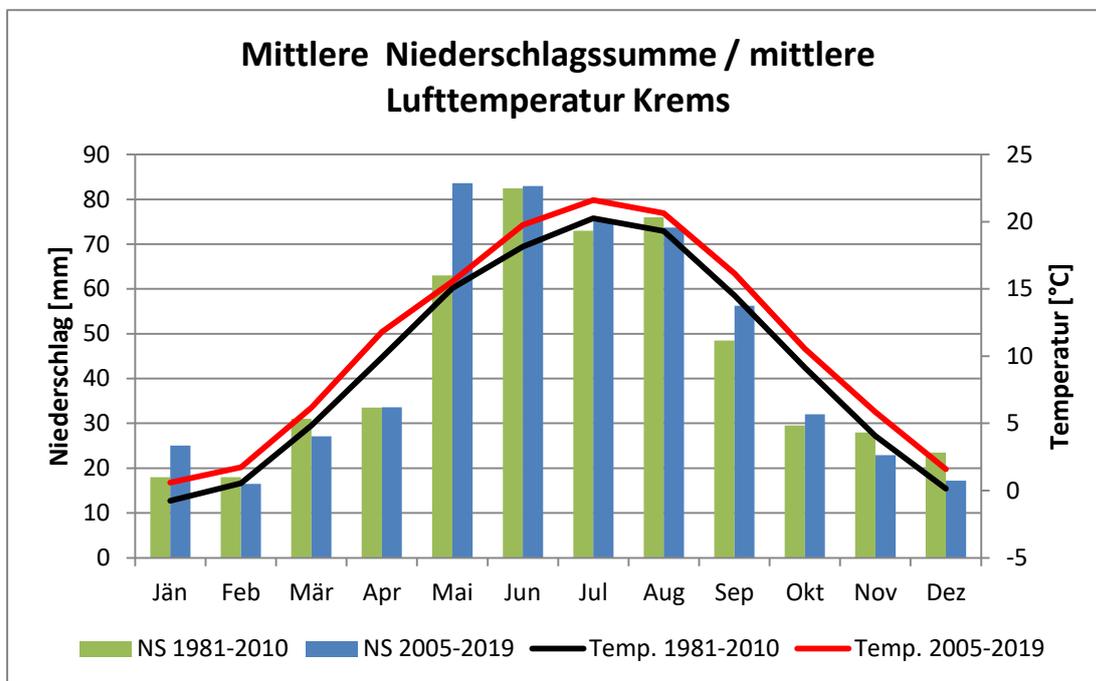


Abbildung 18 Klimadiagramm Krems

Der durchschnittliche Jahresniederschlag der Wetterstationen Krems und Langenlois beträgt im Zeitraum 1981 bis 2010 524,5 mm und im Auswertungszeitraum 2005 bis 2019 546,4 mm. Die Schwankungsbreite beim Jahresniederschlag in der Periode 2005 bis 2019 reicht von 745,5 mm im Jahr 2009 bis 309,8 mm im Jahr 2011. Die durchschnittliche Jahrestemperatur liegt von 1981 bis 2010 bei 9,6°C, während sie von 2005 bis 2019 auf 11,1°C ansteigt. Das wärmste Jahr im Auswertungszeitraum war 2015 mit 11,94°C Jahresdurchschnittstemperatur, das kühlfte 2010 mit 9,56°C (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2022).

### 3.3.5. Mistelbach



Abbildung 19 Bezirk Mistelbach (<https://www.noel.gv.at/noe/index.html>)

Der Bezirk Mistelbach liegt im Weinviertel, im nordöstlichen Niederösterreich und zählt zum pannonischen Klimaraum. Er hat eine Gesamtfläche von 123.930 ha wovon etwa 14,5 Prozent bewaldet sind. Die landwirtschaftliche Nutzfläche des Bezirkes beträgt 91.800 ha, davon entfallen etwa 87.150 ha auf Ackerfläche, 4.300 ha auf Weinbau und 430 ha auf Grünland. Im Jahr 2020 belief sich die Getreidefläche auf 57.400 ha, wovon 26.300 ha mit Winterweichweizen bestellt waren. Die Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe (ausgenommen Weinbaubetriebe), die 2020 einen Mehrfachantrag-Flächen eingereicht haben betrug im Jahr 2020 1532 (Uhl 2020).

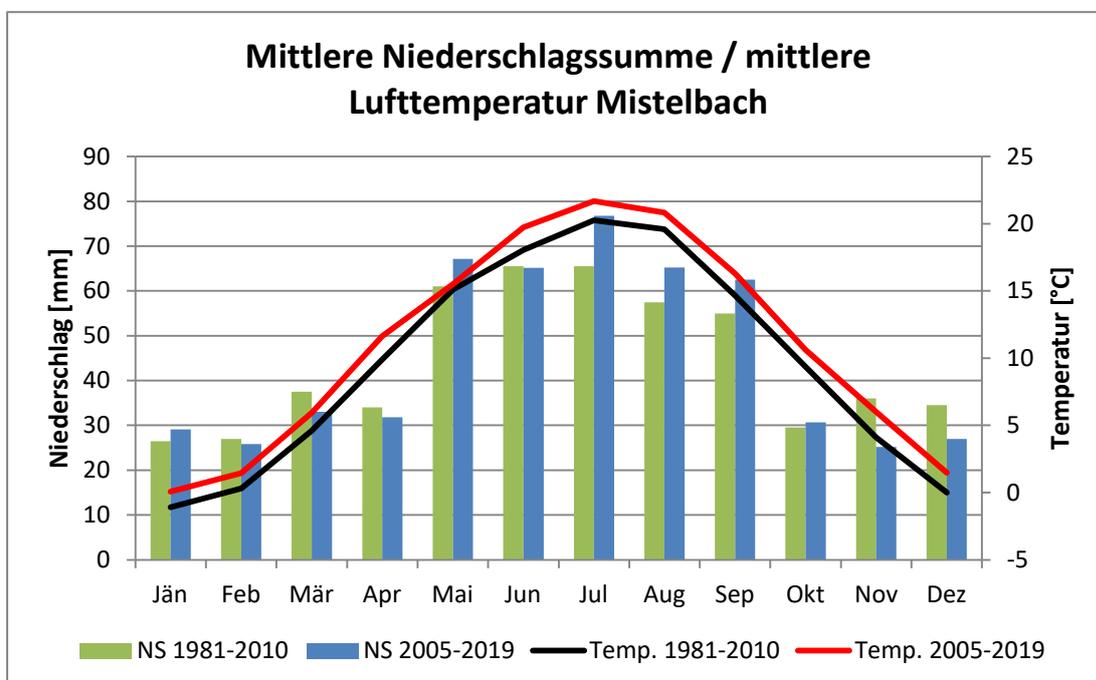


Abbildung 20 Klimadiagramm Mistelbach

Die Wetterstationen Laa an der Thaya und Poysdorf im Bezirk Mistelbach lieferten die Daten für das Klimadiagramm. Der durchschnittliche Jahresniederschlag im Zeitraum 1981 bis 2010 liegt bei 529,5 mm, für den Zeitraum 2005 bis 2019 beträgt dieser 539,5 mm. Die Schwankungsbreite zwischen den Jahresniederschlägen im Auswertungszeitraum 2005 bis 2019 reicht von 724,9 mm im Jahr 2010 bis zu 389,3 mm im Jahr 2015. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt von 1981 bis 2010 9,56°C. In den Jahren 2005 bis 2019 steigt sie auf 10,98°C an, was auch an dem deutlich zu erkennenden Abstand der beiden Temperaturkurven in Abb. 21 erkennbar ist. Das Jahr mit der höchsten Durchschnittstemperatur ist 2018 mit 12,09°C, jenes mit der niedrigsten Jahresdurchschnittstemperatur 2010, mit 9,50°C (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2022).

### 3.3.6. Wiener Neustadt



Der Bezirk Wiener Neustadt liegt im Südwesten Niederösterreichs und hat eine Gesamtfläche von etwa 97.200 ha. Etwa 58 Prozent des Bezirkes sind bewaldet. Die landwirtschaftliche Nutzfläche des Bezirkes beläuft sich auf 27.125 ha davon entfallen etwa 8.300 ha auf Grünland. Auf 9.800 ha Fläche des Bezirkes wird Getreide angebaut. Im Jahr 2019 wurde, laut der Bezirksbauernkammer Wiener Neustadt, von 1088 landwirtschaftlichen Betrieben ein

Abbildung 21 Bezirk Wiener Neustadt  
(<https://www.noel.gv.at/noe/index.html>)

Mehrfachantrag-Flächen für den Erhalt von Ausgleichzahlungen gestellt (Stangl 2020).

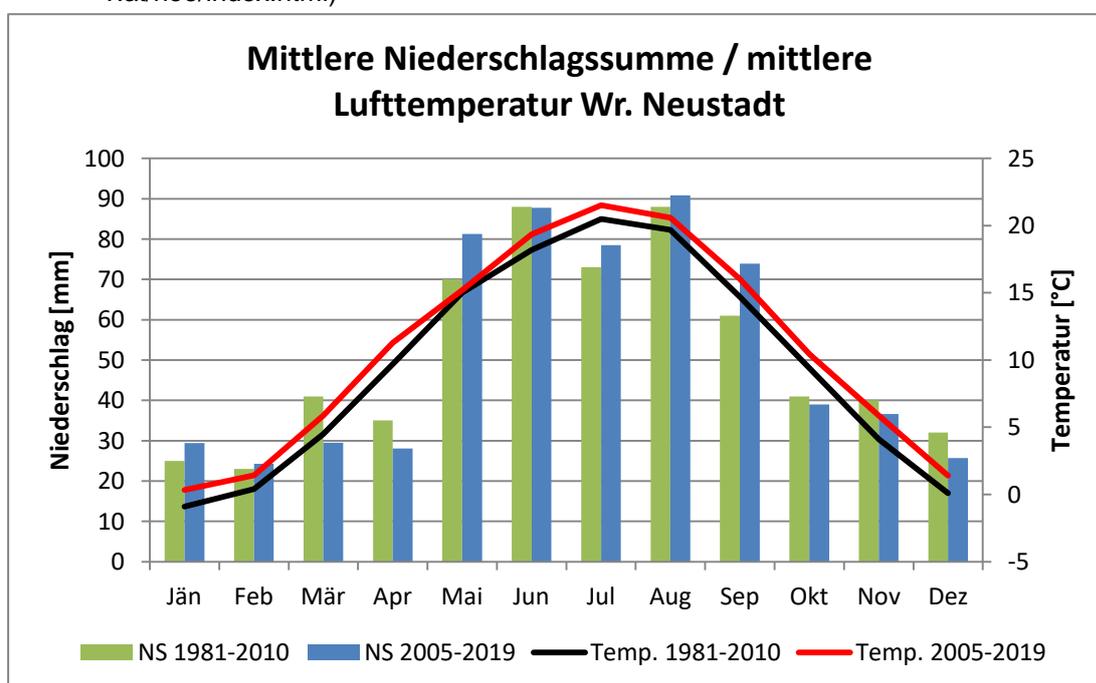


Abbildung 22 Klimadiagramm Wiener Neustadt

Die Jahresniederschlagssumme der Wetterstation Wiener Neustadt Flugplatz beträgt im Zeitraum 1981 bis 2010 617 mm und von 2005 bis 2019 625 mm. Im Versuchszeitraum von 2005 bis 2019 schwanken die Jahresniederschläge von 806,2 mm im Jahr 2009 bis hin zu 487,9 mm im Jahr 2006. Die Jahresdurchschnittstemperatur beläuft sich von 1981 bis 2010 auf 9,6°C, im Zeitraum von 2005 bis 2019 werden 10,8°C erreicht. Das wärmste Jahr im Versuchszeitraum ist das Jahr 2018 mit einer Durchschnittstemperatur von 11,8°C, während im kältesten Jahr 2010 nur 9,42°C erreicht werden (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2022).

---

## 3.4. Datenaufbereitung

Sowohl die Rohdaten des Wetters, als auch die Arbeitskreisdaten (=Ertragsrohdaten) wurden mit Hilfe des Programmes „Microsoft Excel“ aufbereitet und in tabellarische Form gebracht. Danach wurden diese Tabellen in das Statistikprogramm SAS in der Version 9.4 eingespielt. Als Bedienoberfläche für dieses Programm wurde der SAS Enterprise Guide in der Version 7.1 verwendet. Durch diese einfachere Bedienoberfläche ist es nicht notwendig, die Codes die SAS für die Ausführung der statistischen Analysen benötigt, selbst zu erstellen.

### 3.4.1. Ertragsdaten

Um mit den Ertragsdaten des Winterweichweizens der einzelnen Bezirke arbeiten zu können, wurden diese, wie bereits oben erwähnt, mit „Microsoft Excel“ in ein einheitliches Format gebracht. An dieser Stelle sei noch einmal erwähnt, dass bei den Ertragsdaten keine Unterscheidung in konventionell, bzw. biologisch wirtschaftende Betriebe stattgefunden hat. Für die korrekte Einlesung der Daten in „SAS“ ist ein tabellarisches Format erforderlich. Das Format besteht aus fünf Spalten, beginnend mit dem jeweiligen Standort. Es folgen das Erntejahr, anschließend die Vorfrucht und der jeweiligen Durchschnittsertrag pro Hektar. Rechts außen befindet sich die Spalte „gepflügt“ (siehe Tab. 3).

Die Spalte „**Standort**“ beinhaltet einen der sechs verwendeten niederösterreichischen Bezirke. Das „**Erntejahr**“ beschreibt das Jahr in dem der Winterweichweizen geerntet wurde. Der Zeitraum für ein Erntejahr wurde in dieser Arbeit folgendermaßen festgelegt: Jedes Erntejahr beginnt mit dem 16.7. und endet mit dem 15.7. des nächsten Kalenderjahres. Dieser Zeitpunkt wurde deshalb gewählt, weil er immer von einer Winterweizenernte bis zur nächsten reicht. In Tab. 3 ist ein Auszug des Erntejahres 2014 zu sehen. Mit „**Vorfrucht**“ ist jene Kultur gemeint, die im Vorjahr, also vor der Kultur Winterweichweizen, auf der jeweiligen Fläche kultiviert wurde. „**Ertrag to/ha**“ steht für den durchschnittlichen Kornertrag pro Hektar, angegeben in Tonnen, der auf der jeweiligen Fläche erzielt und nach der Wiegung des Erntegutes errechnet wurde. Die Spalte „**gepflügt**“ beschreibt die Art der Grundbodenbearbeitung für den Anbau des Winterweichweizens. Für die einzelnen Zellen dieser Spalte gibt es nur drei mögliche „Werte“. Wenn die Zelle leer ist, bedeutet das, dass es keine Angabe über die erfolgte Bodenbearbeitung gibt. Die Erfassung der Bodenbearbeitung vor der Saat beginnt in den Datensätzen erst mit dem Erntejahr 2010. Befindet sich ein „Ja“ in der Zelle, heißt das, dass vor dem Anbau des Weizens ein Pflugeinsatz, also eine wendende, tiefere Bodenbearbeitung, erfolgte. Ein „Nein“ an diesem Platz bedeutet, dass der Boden nicht mittels Pflug gewendet wurde, sondern ein anderes Bodenbearbeitungsgerät oder Direktsaat zum Einsatz gekommen ist.

Tabelle 3 Formatierung der Arbeitskreisdaten in „Microsoft Excel“

	A	B	C	D	E
1	Standort	Ernte- jahr	Vorfrucht	Ertrag to/ha	gepflügt
1191	Baden	2014	Sonnenblumen	8,3095	Nein
1192	Baden	2014	Sonnenblumen	8,3167	Nein
1193	Baden	2014	Sonnenblumen	8,3125	Nein
1194	Baden	2014	Sonnenblumen	8,3333	Nein
1195	Baden	2014	Körnermais	6,1131	Nein
1196	Baden	2014	Körnermais	5,8617	Ja
1197	Baden	2014	Sonnenblumen	7,5825	Nein
1198	Baden	2014	Körnermais	5,7934	Ja
1199	Baden	2014	Sonnenblumen	8,3214	Nein
1200	Baden	2014	Körnermais	5,7698	Nein
1201	Baden	2014	Sonnenblumen	5,1513	Nein
1202	Baden	2014	Winterweizen	3,3708	Nein
1203	Baden	2014	Sonnenblumen	6,1533	Nein
1204	Baden	2014	Sonnenblumen	6,1556	Nein
1205	Baden	2014	Kartoffeln	6,5011	Nein
1206	Baden	2014	Sonnenblumen	7,1587	Nein
1207	Baden	2014	Winterraps	6,1092	Nein
1208	Baden	2014	Zuckerrübe	6,3569	Nein
1209	Baden	2014	Körnermais	6,7814	Ja
1210	Baden	2014	Winterraps	5,6926	Nein
1211	Baden	2014	Zuckerrübe	3,5604	Nein
1212	Baden	2014	Körnermais	6,8451	Nein

Die Ertragsdaten der Statistik Austria wurden ebenfalls als Microsoft Excel-Sheet zur Verfügung gestellt. Sie mussten keiner besonderen Formatierung unterzogen werden. Es ist jedoch anzumerken, dass diese Daten rein den Verwaltungsbezirk, das jeweilige Erntejahr und den durchschnittlichen Weizenertrag in Dezitonnen pro Hektar enthielten. Es wurde also pro Bezirk nur ein Durchschnittswert für den Ertrag übermittelt. Angaben über Vorfrüchte oder den Pflugeinsatz vor der Saat waren nicht vorhanden.

### 3.4.2. Wetterdaten

Die von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zur Verfügung gestellten Wetterdaten mussten ebenfalls in ein für das Datenauswertungsprogramm „SAS“ lesbares Format gebracht werden“ (siehe Tab. 4).

Die Spalte „**Standort**“ legt fest auf welchen der sechs Verwaltungsbezirke sich die Wetterdaten beziehen.

Wie bereits erwähnt liegen die Daten tageweise vor, was der Spalte „**Datum**“ zu entnehmen ist.

Die Werte jedes Tages wurden durch die Spalte „**Wachstumsphase**“ genauer charakterisiert. Es wurde eine Einteilung in vier Abschnitte innerhalb eines Erntejahres vorgenommen:

- „**H**“ bedeutet in diesem Fall Herbst und beschreibt den Datumsbereich von 16.7. bis 15.11..

- „W“ beschreibt den Winter von 16.11. bis 28. oder 29.2. eines Erntejahres.
- „V“ steht für die vegetative Wachstumsphase des Winterweichweizens, von 1.3. bis 30.4. und
- „G“ für die generative Wachstumsphase von 1.5. bis zur Ernte, für die im Durchschnitt der 15.7. angenommen wurde.

Die Spalte „Erntejahr“ fasst den Datumsbereich von 16.7. bis 15.7. des nächsten Kalenderjahres zusammen. Ein Erntejahr reicht also in diesem Fall immer von einer Weizenernte bis zur nächsten, wenn die Fruchtfolgerotation außer Acht gelassen wird.

„Tmax, „Tmin“ und „Tmittel“ beinhalten die Tagesmaximaltemperatur, die Tagesminimaltemperatur, sowie die Tagesdurchschnittstemperatur von 7 bis 7 Uhr des Folgetages.

Die Spalte „Niederschlag(mm)“ beinhaltet den Tagesniederschlagssumme in Liter pro Quadratmeter, ebenfalls von 7 Uhr bis 7 Uhr des Folgetages.

Tabelle 4 Formatierung der Wetterdaten

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Standort	Datum	Wachstumsphase	Erntejahr	Tmax	Tmin	Tmittel	Niederschlag(mm)	
1145	Baden	20080218	W	2008	9,1	-2,5	3,3	0	
1146	Baden	20080219	W	2008	11,2	4,7	8	0	
1147	Baden	20080220	W	2008	9,6	-2,5	3,6	0	
1148	Baden	20080221	W	2008	11,3	-1,1	5,1	0,2	
1149	Baden	20080222	W	2008	16,1	4,6	10,4	0	
1150	Baden	20080223	W	2008	14,6	10,3	12,5	0	
1151	Baden	20080224	W	2008	18,4	3,7	11,1	0	
1152	Baden	20080225	W	2008	18,1	2,5	10,3	0	
1153	Baden	20080226	W	2008	17,2	2,2	9,7	0	
1154	Baden	20080227	W	2008	14,5	5,2	9,9	0	
1155	Baden	20080228	W	2008	13,5	7	10,3	0	
1156	Baden	20080229	W	2008	12,4	1,3	6,9	2,5	
1157	Baden	20080301	V	2008	18,2	5	11,6	5,3	
1158	Baden	20080302	V	2008	13,4	7,4	10,4	1,7	
1159	Baden	20080303	V	2008	17,4	10,9	14,2	1,4	
1160	Baden	20080304	V	2008	15,4	3,7	9,6	0	
1161	Baden	20080305	V	2008	4,7	1,4	3,1	0,1	
1162	Baden	20080306	V	2008	6,9	-1,2	2,9	0	
1163	Baden	20080307	V	2008	8,2	-2,7	2,8	0	
1164	Baden	20080308	V	2008	7,7	4,6	6,2	0,6	
1165	Baden	20080309	V	2008	13,5	3,7	8,6	0	
1166	Baden	20080310	V	2008	15,4	-0,5	7,5	0	
1167	Baden	20080311	V	2008	12,3	1,7	7	2,4	
1168	Baden	20080312	V	2008	13,7	1,5	7,6	0,7	
1169	Baden	20080313	V	2008	12,8	6,4	9,6	0,4	
1170	Baden	20080314	V	2008	7,5	4,2	5,9	12	

### 3.5. Verarbeitung der Daten

Nachdem die Formatierung der Daten abgeschlossen war, wurden sie in das Statistikprogramm „SAS“ importiert. Es wurden die Daten jedes Verwaltungsbezirks, sowohl bei den Wetterdaten, als auch bei den Ertragsdaten, einzeln aufbereitet. Die Verarbeitung wird im folgenden Abschnitt grob geschildert:

---

Aus den importierten Tabellen mit den landwirtschaftlichen Arbeitskreisdaten wurde der Durchschnittshektarertrag pro Bezirk und Erntejahr (=16.7.-15.7.) berechnet. Des Weiteren wurden alle sechs Tabellen in einer Tabelle zusammengefügt um die Vorfrucht-, Standort- und die Wirkung des Pflugeinsatzes in der Gesamtheit, sowie pro Bezirk zu testen. Ebenfalls wurde der Durchschnittshektarertrag bei einem erfolgten Pflugeinsatz vor der Saat ausgewiesen, indem in der Spalte „gepflügt“ nach „Ja“ gefiltert wurde. Auch wurde der Durchschnittsertrag über alle Standorte, gereiht nach den wichtigsten Vorfrüchten, berechnet.

Um den Effekt der ertragreicheren und weniger ertragreichen Standorte herauszufiltern, wurden außerdem die Ertragsdaten der Arbeitskreisdaten jedes Bezirks gruppiert. Es wurde angenommen, dass die 25% schlechteren Erträge die schwächeren Standorte und die 25% besseren Erträge die besseren Standorte widerspiegeln. Diese Gruppierung erfolgte anhand der Quartile der Ertragsdaten. Ein Quartil ist genau jener Wert eines Datensatzes, der diesen viertelt, also wo 25, 50 oder 75 Prozent der Daten darunter bzw. darüber liegen. Dabei werden die Daten aufsteigend gereiht. Die zweite Quartile entspricht dem Median. Um die ertraglich schwächeren Standorte zu gruppieren, wurde die 1. Quartile der Ertragsdaten jedes Erntejahres (2006 bis 2019) in jedem Bezirk ausgewählt. Diese trennt den Datensatz in 25% niedrigere bzw. 75% höhere Werte. Alle Werte kleiner oder gleich der 1. Quartile wurden der Gruppe der schwächeren Standorte zugeordnet. Anschließend wurden die Mittelwerte dieser Gruppen berechnet. Um die Gruppe der besseren Standorte zu erhalten wurde analog der Datensatz nach den Ertragsdaten größer oder gleich der 3. Quartile gefiltert und ebenfalls die Mittelwerte dieser ertragreicheren Standorte berechnet. Die einzelnen Bezirksdaten wurden alle in einer Tabelle, für die spätere Analyse mit den Wetterdaten, vereint.

Die Statistik Austria Ertragsdaten, die für alle Bezirke Niederösterreichs vorliegen, mussten nach den sechs verwendeten Bezirken gefiltert werden. Wie bereits erwähnt, bestehen die Daten aus nur einem Mittelwert für den Ertrag pro Bezirk und Erntejahr. Für die Bezirke Krems und Wiener Neustadt wurden die Daten aus dem Bezirk Krems Land sowie Wiener Neustadt Land verwendet, weil auch die Ertragsdaten der Arbeitskreise aus den „Landbezirken“ stammen und sonst die Vergleichbarkeit nicht gegeben gewesen wäre.

Bei den importierten Wetterdaten wurde der Niederschlag pro Bezirk und Erntejahr, in den bereits oben erwähnten „Wachstumsphasen“ (H, W, V, G), sowie für das gesamte Erntejahr berechnet. Außerdem wurde mittels der Tages-Maximaltemperatur die Anzahl der Tage über 27°C (=Hitzetage) im Frühjahr in den Phasen V und G (1.3.-15.7.) eines jeden Erntejahres berechnet. Als zusätzliche Information wurde die Tagesdurchschnittstemperatur in der generativen Wachstumsphase (G=1.5.-15.7.) in die Auswertung mitaufgenommen.

Die Wetter und Ertragsdaten (inkl. der Gruppierungen durch die Quartile) wurden anschließend bezirksweise in einer Tabelle zusammengefügt und auf dieser Ebene ausgewertet. Nachdem die Einzelauswertung der Bezirke abgeschlossen war, wurden die gesamten Daten aller 6 Bezirke in einer Tabelle zusammengefügt und einer Gesamtauswertung unterzogen.

Tabelle 5 Auszug aus der Tabelle "Gesamtdaten aller Bezirke" aus SAS 9.4 (Teil 1)

	Erntejahr	Standort	Ertrag to/ha_Mean	Ertrag Stat. Austria	Ertrag to/ha_Pflug	Ertrag to/ha<=Q1	Ertrag to/ha>=Q3
1	2006	Mistelbach	4.7946479592	4.661	.	3.6515714286	5.79498
2	2007	Mistelbach	4.5311607143	4.37	.	3.2641428571	5.7795
3	2008	Mistelbach	5.6345771812	5.659	.	4.5763947368	6.8137631579
4	2009	Mistelbach	4.9342078652	4.726	.	3.8995	6.1066666667
5	2010	Mistelbach	4.9053266667	4.855	4.6245526316	3.6957238095	6.0272666667
6	2011	Mistelbach	5.9417774359	5.991	6.6528125	4.5035346939	7.2852916667
7	2012	Mistelbach	2.72178	2.61	3.0720923077	1.2459	4.1027814815
8	2013	Mistelbach	5.6199236025	5.642	5.42371	4.5488277778	6.4486195122
9	2014	Mistelbach	5.6880580952	5.203	5.8259727273	4.3247576923	6.6581269231
10	2015	Mistelbach	6.1711481481	5.649	5.9238636364	4.6841852941	7.6339030303
11	2016	Mistelbach	6.9495166667	6.558	7.673925	5.4753538462	8.3224461538
12	2017	Mistelbach	4.4049939759	3.903	4.9374571429	3.349852381	5.5305238095
13	2018	Mistelbach	4.4329766667	3.832	3.2	3.6360866667	5.3371066667
14	2019	Mistelbach	5.460045	.	5.8664333333	4.10722	6.4971066667

Tabelle 6 Auszug aus der Tabelle "Gesamtdaten aller Bezirke" aus SAS 9.4 (Teil 2)

	Tmax_N	Tmittel_Mean_G	H	W	V	G	Niederschlag_Sum
23	17.771491228	145	154	132.96666667	160.23333333	592.2	
29	18.852192982	178.86666667	85.36666667	64.93333333	130.11666667	459.28333333	
26	17.974122807	258.1	72.6	74.93333333	135.73333333	541.36666667	
16	17.404824561	149.93333333	129.26666667	97.46666667	194.7	571.36666667	
20	17.73245614	176.63333333	110.93333333	66.53333333	242.53333333	596.63333333	
21	17.860087719	278.53333333	65.7	79.7	158.2	582.13333333	
32	19.235526316	167.13333333	61.06666667	30.06666667	161.73333333	420	
17	17.222807018	180.96666667	117.23333333	52.8	234.3	585.3	
17	17.390789474	177.7	34.73333333	47.76666667	167.63333333	427.83333333	
24	18.119298246	359.3	87.13333333	37.3	75.76666667	559.5	
17	18.256578947	193.1	128.03333333	62.36666667	190.86666667	574.36666667	
34	19.175	231.33333333	56.43333333	63.1	102.33333333	453.2	
36	19.646052632	198.83333333	92.03333333	41.1	162.6	494.56666667	
29	18.271052632	232	114.66666667	36.53333333	190.6	573.8	

Die generierten Tabellen mit den Ertrags- und Wetterdaten pro Bezirk bzw. in der Gesamtheit aller 6 Bezirke enthalten folgende Parameter (siehe Tabelle 5 und 6):

- Erntejahr
- Standort (=Bezirk)
- Ertrag to/ha\_Mean (=Mittlerer Ertrag pro Hektar aus den lw. Arbeitskreisdaten ohne Berücksichtigung der Bodenbearbeitung (inkl. Pflug))
- Ertrag Stat. Austria (=Mittlerer Ertrag pro Hektar aus den Statistik Austria Daten)
- Ertrag to/ha Pflug (=Mittlerer Ertrag pro Hektar aus den lw. Arbeitskreisdaten bei Pflugeinsatz vor dem Anbau (erst ab 2010 ausgewiesen))
- Ertrag to/ha<=Q1 (=Mittlerer Ertrag der Daten kleiner gleich der 1.Quartile aus den lw. Arbeitskreisdaten)
- Ertrag to/ha>=Q3 (=Mittlerer Ertrag der Daten größer gleich der 3. Quartile aus den lw. Arbeitkreisdaten)
- Tmax\_N (=Anzahl der Hitzetage (=Tage über 27°C) in den Phasen V und G))
- Tmittel\_mean\_G (=mittlere Tagesdurchschnittstemperatur in der Phase G)
- H (=Niederschlagssumme der Phase von 16.7.-15.11.)
- W (=Niederschlagssumme der Phase von 16.11.-28./29.2.)
- V (=Niederschlagssumme der Phase von 1.3.-30.4.)
- G (=Niederschlagssumme der Phase von 1.5.-15.7.)
- Niederschlag\_Sum (=Niederschlagssumme des gesamten Erntejahres (=16.7.-15.7.))

---

### 3.6. Analysen

Die aufbereiteten Daten wurden mittels der Auswertungssoftware SAS 9.4 umfangreichen Analysen unterzogen. Es wurden dabei gängige statistische Methoden angewandt.

Der Zweistichproben t-Test wurde verwendet um herauszufinden ob der Unterschied zwischen den Hektarerträgen der landwirtschaftlichen Arbeitskreisdaten mit bzw. ohne einem Pflugeinsatz vor der Saat zufällig ist. Das Konfidenzintervall wurde mit 95 Prozent festgelegt ( $p < 0,05$ ). Es wurde anschließend ebenfalls eine mehrfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt um etwaige Wechselwirkungen zu testen.

Mittels der Korrelationsanalyse nach Pearson wurde die Korrelation zwischen den oben genannten Ertragsparametern und den Temperatur- bzw. Niederschlagsparametern analysiert. Die Korrelationsanalyse ist eine einfache Form der linearen Regression, bei der der lineare Zusammenhang zwischen zwei voneinander unabhängigen Parametern getestet wird. Der ausgewiesene Korrelationskoeffizient  $r$  beschreibt die „Stärke“ des linearen Zusammenhangs der analysierten Parameter. Dieser liegt zwischen minus eins und eins. Je näher  $r$  bei minus eins bzw. plus eins liegt, desto enger ist die Korrelation der beiden Parameter. Ein negativer Korrelationskoeffizient ( $r$ ) bedeutet, dass wenn ein Parameter ansteigt, der andere Parameter sinkt. Wird  $r$  quadriert, so erhält man das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ). Dieses gibt an wie viel Prozent der Gesamtvarianz durch den linearen Zusammenhang der Parameter erklärt werden. Anhand des ebenfalls ausgewiesenen P-Werts ( $p = \text{lat. Probabilitas} = \text{Wahrscheinlichkeit}$ ) kann abgelesen werden, ob der lineare Zusammenhang der beiden Parameter signifikant ist (Frost 2018). Damit das Ergebnis der Analyse als signifikant angesehen werden kann, muss der P-Wert kleiner als 0,05 sein, weil das Konfidenzintervall mit 95 Prozent festgelegt wurde. Überschreitet der P-Wert diese Grenze geringfügig ( $p < 0,1$ ), kann von einer Tendenz gesprochen werden. Bei P-Werten  $< 0,01$  wird von einem hochsignifikanten Ergebnis ausgegangen. Eine Korrelationsanalyse wurde sowohl für jeden Bezirk, als auch für die kumulierten Daten aller 6 Bezirke durchgeführt. Des Weiteren wurde auch der Jahresmittelwert der kumulierten Daten der sechs Bezirke berechnet und diese Daten ebenfalls einer Korrelationsanalyse unterzogen.

Weiters wurden auch Varianzanalysen (ANOVA=analysis of variance) durchgeführt um herauszufinden, ob sich die Erträge der einzelnen Standorte, sowie auch die, der einzelnen Erntejahre signifikant voneinander unterscheiden. Hierbei wurde die Funktion „lineare Modelle“ des SAS-Enterprise Guide verwendet. Das Konfidenzintervall betrug auch bei diesem Test 95 Prozent.

Auch der Einfluss der verschiedenen Vorfrüchte auf den Ertrag des Winterweichweizens wurde getestet. Dazu wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Als unabhängige Variable wurde die Vorfrucht und als abhängige Variable der Hektarertrag der gesamten landwirtschaftlichen Arbeitskreisdaten verwendet. Es wurde die Daten in der Gesamtheit getestet, ebenfalls mit einem Konfidenzintervall von 95 Prozent.

---

### 3.7. Diagramme

Um die Daten anschaulich zu präsentieren wurden Säulendiagramme, Liniendiagramme (bzw. deren Kombination), Kreisdiagramme und Box-Plot-Diagramme erstellt. Dazu wurde die Funktion „Grafik“ im SAS Enterprise Guide verwendet. Die in „SAS“ erstellten Diagramme wurden zur Nachbearbeitung in ein „Excel“-File kopiert und anschließend als Abbildung der Arbeit beigefügt. Die Klimadiagramme der einzelnen Bezirke wurden mit „Microsoft Excel“ erstellt und ebenfalls der Arbeit beigefügt.

Bezüglich der Box-Plot-Diagramme ist anzumerken, dass die „Whiskers“, also die Verlängerung der Boxen nach oben und unten, beim 1. bzw. dem 99. Perzentil der Datenmenge, durch einen Querstrich begrenzt sind. Alle Daten die kleiner als das 1. Perzentil bzw. größer als das 99. Perzentil sind, werden als Ausreißer, in Form von blauen Kreisen, dargestellt.

---

## 4. Ergebnisse

Wie bereits erwähnt wurden die verfügbaren Daten sowohl auf Bezirksebene als auch kumuliert ausgewertet. Die verwendete Datengrundlage, für die Analysen, um zu den folgenden Ergebnissen zu gelangen wird im Kapitel 3.5 umfangreich geschildert. Das Konfidenzintervall für ein signifikantes Ergebnis wurde bei 95% festgelegt ( $=p<0,05$ ). Von einem hochsignifikanten Ergebnis wird ab einem Konfidenzintervall  $>99\%$  gesprochen ( $=p<0,01$ ). Wird das Konfidenzintervall von 95% geringfügig unterschritten ( $>90\%$  bzw.  $p>0,05<0,1$ ) so wird von einer Tendenz gesprochen.

### 4.1. Überblick

Wie bereits im Kapitel 3 beschrieben, stammen die Ertragsdaten des Winterweichweizens (mit einer maximalen Kornfeuchte von 14,5%) aus zwei unterschiedlichen Quellen. Eine Korrelationsanalyse zwischen den Daten der Statistik Austria und den Arbeitskreisdaten der Landwirtschaftskammer zeigt einen Koeffizienten nach Pearson von  $r=0,89$  bei  $p<0,0001$ . Bei der Varianzanalyse auf Unterschiede zwischen den Datenquellen konnte die  $H_0$  beibehalten werden ( $p=0,0535$ ), was bedeutet, dass keine Unterschiede zwischen den Daten bei einem Konfidenzniveau von 95% nachgewiesen werden konnten. Es sind jedoch Tendenzen für geringfügige Unterschiede zwischen den Datensätzen erkennbar. Die nachfolgenden Grafiken beziehen sich auf die Arbeitskreisdaten, da die Datenmenge hier größer ist und somit für Analysen besser geeignet.

In den sechs analysierten Bezirken gibt es über den gesamten Auswertungszeitraum signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Kornerträge von Winterweichweizen (Abb.24). Die mittleren Erträge bewegen sich im Bereich von 5,109 t/ha (Mistelbach) bis 5,719 t/ha (Horn), wobei sich Horn und Wr. Neustadt signifikant voneinander sowie von allen anderen Standorten unterscheiden. Bei den drei Standorten Baden, Krems und Hollabrunn, sowie den Standorten Krems, Hollabrunn und Mistelbach konnte keine signifikante Unterscheidung untereinander nachgewiesen werden (Tabelle 7).

Tabelle 7: Multipler Spannweitentest nach Ryan-Einot-Gabriel-Welsch zum Ertrag in Abhängigkeit vom Standort (=Bezirk), N=Anzahl der Daten für den jeweiligen Standort (Werte mit demselben Buchstaben sind nicht signifikant verschieden)  $p=0,05$

REGWQ	Gruppierung	Mittelwert	N	Standort
	A	5,719	2146	Horn
	B	5,378	1092	Wr. Neustadt
	C	5,236	1686	Baden
D	C	5,199	1239	Krems
D	C	5,163	2781	Hollabrunn
D		5,109	2026	Mistelbach

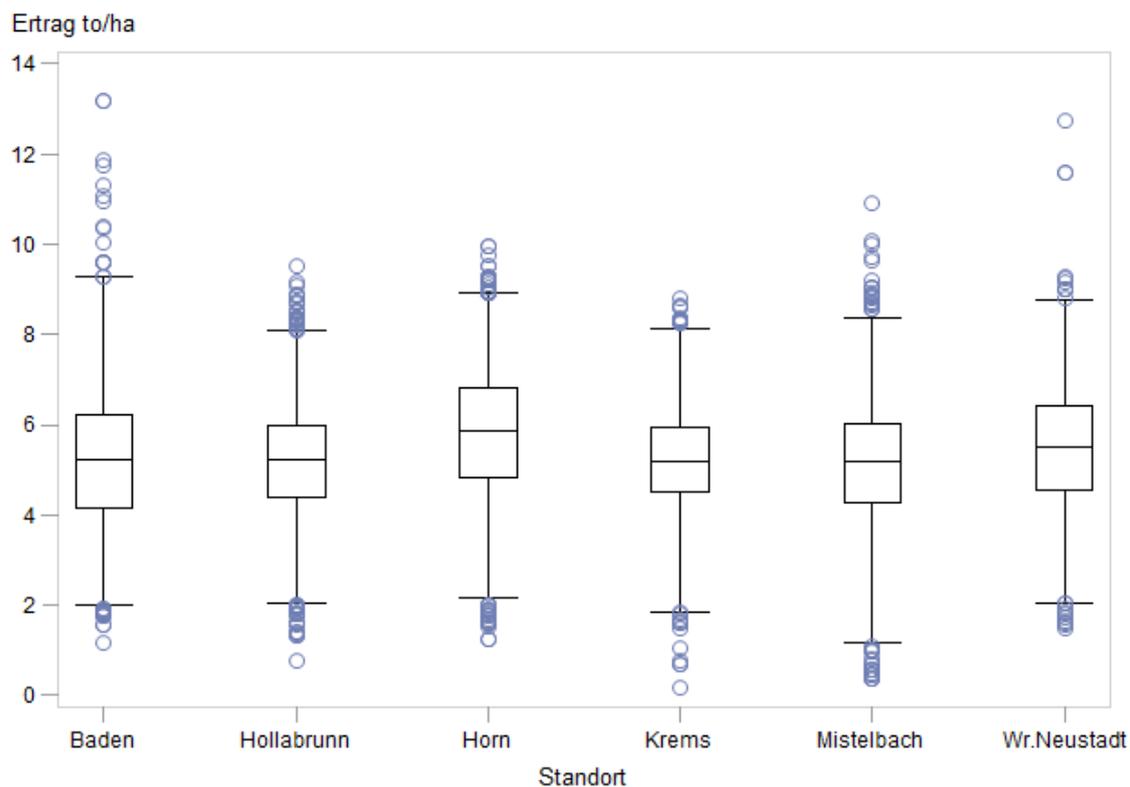


Abbildung 23: mittlerer Kornertrag der Arbeitskreisdaten (2006-2019) nach Standorten unterteilt

Die Mittelwerte der Kornerträge aller Standorte über den gesamten Auswertungszeitraum schwanken stark von Jahr zu Jahr (Abb. 25). Signifikante Unterschiede zu einander und zu allen anderen Erntejahren sind bei den Jahren 2012 und 2016 erkennbar. Der Mittelwert der Daten liegt im schwächsten Erntejahr 2012 bei 3,454 t/ha und im ertragreichsten Erntejahr 2016 bei 6,760 t/ha. Die restlichen Erntejahre können in Gruppen zusammengefasst werden (Tabelle 8).

Tabelle 8: Multipler Spannweitentest nach Ryan-Einot-Gabriel-Welsch zum Ertrag in Abhängigkeit vom Erntejahr, N=Anzahl der Daten für das jeweilige Erntejahr (Werte mit demselben Buchstaben sind nicht signifikant verschieden)  $p=0,05$

REGWQ	Gruppierung	Mittelwert	N	Ernte- jahr
	A	6,760	835	2016
	B	6,025	679	2015
C	B	5,895	792	2011
C	D	5,752	654	2019
C	D	5,735	999	2013
	D	5,727	809	2014
	D	5,708	706	2008
	E	5,189	641	2018
F	E	5,063	844	2009
F		4,928	828	2006
F		4,922	808	2010
	G	4,711	754	2007
	G	4,601	661	2017
	H	3,454	960	2012

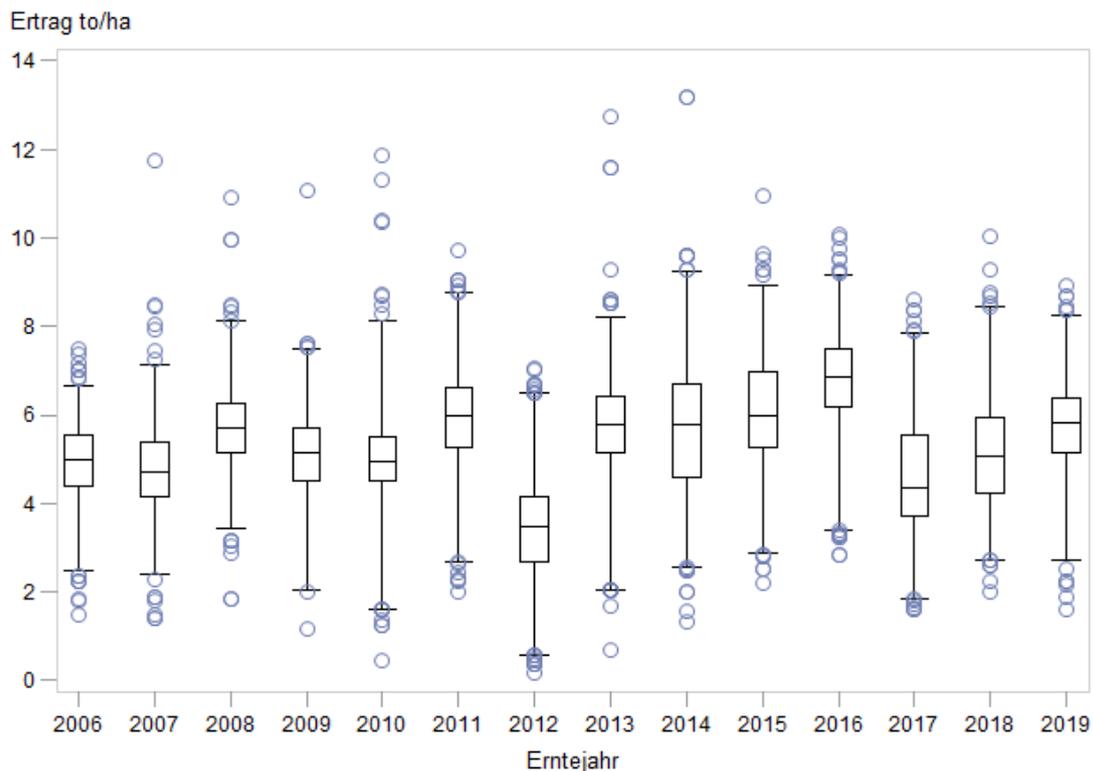


Abbildung 24: mittlerer Kornertrag der Arbeitskreisdaten aller Standorte nach Erntejahren unterteilt (2006-2019)

## 4.2. Ergebnisse auf Bezirksebene

Bei der folgenden Schilderung der Ergebnisse auf Bezirksebene, ist zu beachten, dass die Korrelationsanalysen nach Pearson bei jedem einzelnen Bezirk jeweils mit dem Mittelwert der Arbeitskreisdaten, den Daten der Statistik Austria, den Arbeitskreisdaten bei erfolgtem Pflugeinsatz vor der Saat sowie mit den Arbeitskreisdaten kleiner oder gleich der 1.Quartile und größer oder gleich der 3. Quartile durchgeführt wurden. Die Daten kleiner oder gleich der 1.Quartile, entsprechen den Ergebnissen der 25% schlechteren Standorte, die Daten größer oder gleich der 3.Quartile den Ergebnissen der 25% besseren Standorte.

Zur Veranschaulichung dienen die Tabellen 9-14, die die Ergebnisse der jeweiligen Bezirke zeigen. Die Ergebnisse werden immer beginnend mit den Hitzetagen über 27°C (Tmax\_N) bis zum Jahresniederschlag (Niederschlag\_sum), geschildert. Es werden dabei jeweils die Korrelationen zu den oben genannten Parametern, die sich in den Spalten 2-6 der Tabellen 9-14 befinden, in einem separaten Absatz beschrieben. Die Reihenfolge in der die Spalten genannt werden entspricht dem aufsteigenden p-Wert (0,01-0,1), was bedeutet, dass zuerst die hochsignifikanten und signifikanten Ergebnisse, dann erst die Tendenzen geschildert werden.

Das Schema der Ergebnisdarstellung und Schilderung ist bei allen analysierten Bezirken dasselbe. Es folgt eine Übersicht über die Ergebnisse der sechs analysierten Bezirke.

## 4.2.1. Bezirk Baden

Tabelle 9: Korrelationen im Bezirk Baden

Pearsonsche Korrelationskoeffizienten (r) Bezirk Baden					
Prob >  r  unter H0: Rho=0 (=p-Wert)					
Anzahl der Beobachtungen (n)					
	Ertrag to/ha_Mean	Ertrag Stat.Austria	Ertrag to/ha_Pflug	Ertrag to/ha<=Q1	Ertrag to/ha>=Q3
<b>Tmax_N</b>	-0,52	-0,85	-0,59	-0,28	-0,49
Tage>27°C 1.3.-15.7.	0,0567	0,0002	0,0703	0,3292	0,0762
	14	13	10	14	14
<b>Tmittel_Mean_G</b>	-0,47	-0,80	-0,55	-0,22	-0,41
Tmittel 1.5.-15.7.	0,0892	0,0011	0,0994	0,4560	0,1446
	14	13	10	14	14
<b>H</b>	0,27	0,14	0,00	0,37	0,11
NS 16.7.-15.11.	0,3455	0,6405	0,9932	0,1941	0,7175
	14	13	10	14	14
<b>W</b>	-0,19	0,05	0,14	-0,11	-0,30
NS 16.7.-28./29.2.	0,5123	0,8785	0,6951	0,7014	0,3004
	14	13	10	14	14
<b>V</b>	-0,20	0,01	0,00	-0,32	-0,16
NS 1.3.-30.4.	0,5031	0,9658	0,9931	0,269	0,5753
	14	13	10	14	14
<b>G</b>	0,15	0,47	0,35	-0,01	0,17
NS 1.5.-15.7.	0,6134	0,1064	0,3193	0,9828	0,5501
	14	13	10	14	14
<b>Niederschlag_Sum</b>	0,00	0,27	0,50	-0,06	-0,07
Jahres-NS 15.7.-15.7.	0,9933	0,3715	0,1385	0,8257	0,8093
	14	13	10	14	14

Die **Anzahl der Hitzetage über 27°C von 1.3.-15.7.** im Beobachtungszeitraum der Erntejahre 2006 bis 2019 korreliert signifikant negativ mit den Weizenertragsdaten der Statistik Austria ( $r=-0,85$ ). Von einer Tendenz zur Korrelation kann man bei den gesamten Ertragsdaten der Arbeitskreise im Bezirk und den Hitzetagen sprechen ( $r=-0,52$ ). Werden nur die Flächen mit Pflugeinsatz vor der Saat betrachtet so lässt sich ebenfalls eine Tendenz für eine negative Korrelation zwischen Ertrag und Hitzetagen erkennen ( $r=-0,59$ ). Auch der Ertrag der 25% besseren Standorte korreliert tendenziell mit den Hitzetagen ( $r=-0,49$ ). Keine signifikante Korrelation lässt sich zwischen dem Ertrag der 25% schlechteren Standorte und den Hitzetagen erkennen.

Die **mittlere Tagestemperatur in der Phase G von 1.5.-15.7.** im Beobachtungszeitraum korreliert signifikant negativ mit den Statistik Austria-Ertragsdaten ( $r=-0,80$ ). Eine Tendenz zur Korrelation ist sowohl zwischen den Gesamtertragsdaten der Arbeitskreise ( $r=-0,47$ ), als auch zwischen den Ertragsdaten der Arbeitskreise mit Pflugsaat ( $r=-0,55$ ) und der mittleren Tagestemperatur in der

Phase G erkennbar. Keine signifikante Korrelation ist zwischen dem Kornertrag der 25% schlechteren Standorte und dem der 25% besseren Standorte und der mittleren Tagestemperatur erkennbar.

Bei den **Niederschlägen** in den einzelnen Phasen der Erntejahre 2006 bis 2019 (**H, W, V, G**, siehe Kapitel 3.5) kann kein linearer Zusammenhang zum Kornertrag festgestellt werden.

Für die **Summe der Niederschläge eines Erntejahres (=Jahresniederschlag von 16.7.-15.7.)** kann ebenfalls kein linearer Zusammenhang zu den Ertragsdaten ausgewiesen werden.

## 4.2.2. Bezirk Hollabrunn

Tabelle 10: Korrelationen im Bezirk Hollabrunn

Pearsonsche Korrelationskoeffizienten (r) Bezirk Hollabrunn					
Prob >  r  unter H0: Rho=0 (=p-Wert)					
Anzahl der Beobachtungen (n)					
	Ertrag to/ha_Mean	Ertrag Stat.Austria	Ertrag to/ha_Pflug	Ertrag to/ha<=Q1	Ertrag to/ha>=Q3
<b>Tmax_N</b>	-0,42	-0,65	-0,74	-0,41	-0,33
Tage>27°C 1.3.-15.7.	0,1370	0,0158	0,0146	0,1456	0,2486
	14	13	10	14	14
<b>Tmittel_Mean_G</b>	-0,46	-0,64	-0,74	-0,46	-0,39
Tmittel 1.5.-15.7.	0,095	0,0194	0,0144	0,1002	0,1644
	14	13	10	14	14
<b>H</b>	0,52	0,50	0,52	0,49	0,54
NS 16.7.-15.11.	0,0576	0,083	0,1225	0,073	0,0449
	14	13	10	14	14
<b>W</b>	0,59	0,46	0,45	0,69	0,42
NS 16.11.-28./29.2.	0,0259	0,1118	0,193	0,0058	0,1345
	14	13	10	14	14
<b>V</b>	-0,03	0,12	0,17	0,12	-0,23
NS 1.3.-30.4.	0,9293	0,7058	0,6449	0,6856	0,4317
	14	13	10	14	14
<b>G</b>	0,19	0,21	0,31	0,29	0,01
NS 1.5.-15.7.	0,5140	0,4808	0,3854	0,3119	0,9683
	14	13	10	14	14
<b>Niederschlag_Sum</b>	0,65	0,64	0,75	0,76	0,45
Jahres-NS 16.7.-15.7.	0,0121	0,0174	0,0122	0,0015	0,1068
	14	13	10	14	14

Die **Hitzetage (>27°C, 1.3.-15.7.)** im Bezirk Hollabrunn korrelieren signifikant negativ mit dem Kornertrag vom Winterweichweizen der Statistik Austria ( $r=-0,65$ ) und mit den Arbeitskreiserträgen mit Pflugeinsatz vor der Saat ( $r=-0,74$ ). Es kann kein

---

linearer Zusammenhang der Arbeitskreiserträge des Bezirks in der Gesamtheit, sowie der 25% besseren und 25% schlechteren Standorte im Bezirk mit den Hitzetagen festgestellt werden.

Auch die **mittlere Tagestemperatur in der Phase G (1.5.-15.7.)** korreliert signifikant negativ mit den Ertragsdaten der Statistik Austria ( $r=-0,64$ ) und den Ertragsdaten der Arbeitskreise mit Pflugsaat ( $r=-0,74$ ). Für die Arbeitskreiserträge des Bezirks in der Gesamtheit lässt sich eine Tendenz feststellen, allerdings mit einem geringen  $r$  von  $-0,46$ . Die 25% besseren und die 25% schlechteren Standorte korrelieren nicht signifikant mit der mittleren Tagestemperatur.

Bei den **Herbstniederschlägen (Phase H, 16.7.-15.7.)** eines jeden Erntejahres im Beobachtungszeitraum besteht ein linearer Zusammenhang mit den 25% besseren Standorten ( $r=0,54$ ). Des Weiteren zeigen sich Tendenzen für einen linearen Zusammenhang der Herbstniederschläge zu den Gesamterträgen der Arbeitskreise im Bezirk Hollabrunn ( $r=0,52$ ), den Erträgen der Statistik Austria ( $r=0,50$ ) und den 25% schlechteren Standorten ( $r=0,49$ ).

Die **Winterniederschläge (Phase W, 16.11.-28./29.2.)** korrelieren signifikant mit den Arbeitskreiserträgen des Bezirks in der Gesamtheit ( $r=0,59$ ) sowie hochsignifikant mit den 25% schlechteren Standorten ( $r=0,69$ ). Bei den Ertragsdaten der Statistik Austria, der Pflugsaat und den 25% besseren Standorten kann kein linearer Zusammenhang zu den Winterniederschlägen gefunden werden.

Die **Niederschläge in den Phasen V und G (1.3.-30.4. bzw. 1.5.-15.7.)** korrelieren mit keinem der Ertragsdatensätze signifikant.

Bei den **Jahresniederschlägen (16.7.-15.7.)** im Beobachtungszeitraum besteht ein hochsignifikanter linearer Zusammenhang zu den 25% schlechteren Standorten ( $r=0,76$ ). Ein signifikanter, linearer Zusammenhang besteht weiters zwischen den Jahresniederschlägen und den Gesamterträgen der Arbeitskreise ( $r=0,65$ ), den Kornerträgen der Arbeitskreise nach Pflugsaat ( $r=0,75$ ) und den Ertragsdaten der Statistik Austria ( $r=0,64$ ).

### 4.2.3. Bezirk Horn

Tabelle 11: Korrelationen im Bezirk Horn

Pearsonsche Korrelationskoeffizienten (r) Bezirk Horn					
Prob >  r  unter H0: Rho=0 (=p-Wert)					
Anzahl der Beobachtungen (n)					
	Ertrag to/ha_Mean	Ertrag Stat.Austria	Ertrag to/ha_Pflug	Ertrag to/ha<=Q1	Ertrag to/ha>=Q3
<b>Tmax_N</b>	-0,56	-0,74	-0,31	-0,51	-0,44
Tage>27°C 1.3.-15.7.	0,0392	0,0041	0,3858	0,0640	0,1190
	14	13	10	14	14
<b>Tmittel_Mean_G</b>	-0,48	-0,58	-0,05	-0,44	-0,32
Tmittel 1.5.-15.7.	0,0844	0,0392	0,9005	0,1172	0,2580
	14	13	10	14	14
<b>H</b>	0,16	0,39	-0,49	0,13	0,06
NS 16.7.-15.11.	0,5744	0,1901	0,1510	0,6620	0,8490
	14	13	10	14	14
<b>W</b>	0,29	0,30	0,30	0,31	0,13
NS 16.11.-28./29.2.	0,3231	0,3172	0,4079	0,2886	0,6639
	14	13	10	14	14
<b>V</b>	-0,08	-0,05	-0,41	0,13	-0,36
NS 1.3.-30.4.	0,7969	0,8708	0,2342	0,6673	0,2009
	14	13	10	14	14
<b>G</b>	0,32	0,31	0,46	0,29	0,25
NS 1.5.-15.7.	0,2696	0,3064	0,1793	0,3144	0,3913
	14	13	10	14	14
<b>Niederschlag_Sum</b>	0,34	0,47	0,00	0,36	0,12
Jahres-NS 16.7.-15.7.	0,2311	0,1078	0,9934	0,2004	0,6761
	14	13	10	14	14

Für den Bezirk Horn lässt sich eine hochsignifikante, negative Korrelation der **Hitzetage (>27°C, 1.3.-15.7.)** im Frühjahr bis zur Tотреife (15.7.) mit den Weizenertragsdaten der Statistik Austria feststellen ( $r=-0,74$ ). Eine signifikant negative Korrelation besteht außerdem zwischen den Hitzetagen und den Arbeitskreiserträgen des Bezirks in der Gesamtheit ( $r=-0,56$ ). Eine Tendenz für eine negative Korrelation lässt sich zwischen den Hitzetagen und den 25% schlechteren Standorten erkennen ( $r=-0,51$ ). Für den Ertrag nach Pflugsaat und die 25% besseren Standorte wurde keine signifikante Korrelation zu den Hitzetagen gefunden.

Die **mittlere Tagestemperatur in der Phase G (1.5.-15.7.)** korreliert ebenfalls signifikant negativ mit den Kornenerträgen der Statistik Austria ( $r=-0,58$ ). Eine Tendenz für eine Korrelation lässt sich zwischen der mittleren Tagestemperatur und den Arbeitskreiserträgen in der Gesamtheit feststellen ( $r=-0,48$ ). Die Pflugsaat bzw. die 25% besseren und 25% schlechteren Standorte korrelieren nicht signifikant mit der mittleren Tagestemperatur.

Bei den **Niederschlägen in den Phasen H, W, V und G** der Erntejahre 2006 bis 2019 (Erklärung siehe Kap. 3.5), sowie den **Jahresniederschlägen (16.7.-15.7.)** kann kein linearer Zusammenhang zu den Ertragsparametern festgestellt werden.

#### 4.2.4. Bezirk Krems (Land)

Tabelle 12: Korrelationen im Bezirk Krems (Land)

Pearsonsche Korrelationskoeffizienten (r) Bezirk Krems					
Prob >  r  unter H0: Rho=0 (=p-Wert)					
Anzahl der Beobachtungen (n)					
	Ertrag to/ha_Mean	Ertrag Stat.Austria	Ertrag to/ha_Pflug	Ertrag to/ha<=Q1	Ertrag to/ha>=Q3
<b>Tmax_N</b>	-0,69	-0,61	-0,67	-0,69	-0,53
Tage>27°C 1.3.-15.7.	0,0064	0,0254	0,1019	0,0059	0,0496
	14	13	7	14	14
<b>Tmittel_Mean_G</b>	-0,70	-0,58	-0,72	-0,72	-0,53
Tmittel 1.5.-15.7.	0,0050	0,0397	0,0662	0,0040	0,0495
	14	13	7	14	14
<b>H</b>	0,47	0,51	0,46	0,48	0,52
NS 16.7.-15.11.	0,0924	0,0717	0,2971	0,0805	0,0553
	14	13	7	14	14
<b>W</b>	0,24	0,14	0,67	0,39	0,04
NS 16.11.-28./29.2.	0,4155	0,6388	0,0979	0,1624	0,8832
	14	13	7	14	14
<b>V</b>	0,05	-0,22	0,15	0,09	-0,06
NS 1.3.-30.4.	0,8593	0,4680	0,7460	0,7566	0,8335
	14	13	7	14	14
<b>G</b>	0,38	0,28	0,71	0,46	0,12
NS 1.5.-15.7.	0,1823	0,3515	0,0757	0,0943	0,6838
	14	13	7	14	14
<b>Niederschlag_Sum</b>	0,59	0,43	0,90	0,71	0,36
Jahres-NS 16.7.-15.7.	0,0274	0,1390	0,0054	0,0047	0,2126
	14	13	7	14	14

Im Bezirk Krems (Land) korreliert die Anzahl der **Hitzetage (>27°C, 1.3.-15.7.)** hochsignifikant negativ mit den Arbeitskreiserträgen des Bezirks in der Gesamtheit ( $r=-0,69$ ) sowie mit den 25% schlechteren Standorten ( $r=-0,69$ ). Auch der Weizenertrag der Statistik Austria ( $r=-0,61$ ), sowie die 25% besseren Standorte ( $r=-0,54$ ) korrelieren signifikant negativ mit der Anzahl der Hitzetage, wobei der Korrelationskoeffizient und damit das Bestimmtheitsmaß ( $=r^2$ ) hier geringer ausfällt. Der Ertrag aus den Arbeitskreisdaten nach Pflugsaat verpasst das Niveau einer Tendenz nur knapp ( $p=0,1019$  bei  $r=-0,67$ ), was wohl an der geringen Anzahl an Werten ( $=$ geringes  $n$ ), liegt.

---

Zwischen der **mittleren Tagestemperatur in der Phase G (1.5.-15.7.)** im Beobachtungszeitraum und den Arbeitskreiserträgen des Bezirks Krems in der Gesamtheit ( $r=-0,70$ ), sowie den 25% schlechteren Standorten ( $r=-0,72$ ) wurde ein hochsignifikant negativer, linearer Zusammenhang festgestellt. Ein signifikant negativer, linearer Zusammenhang besteht weiters zwischen der mittleren Tagestemperatur und den Ertragsdaten der Statistik Austria ( $r=-0,58$ ), sowie den 25% besseren Erträgen ( $r=-0,53$ ). Hier ist ebenfalls wieder das deutlich geringere  $r$  hervorzuheben. Bei den Erträgen nach Pflugsaat zeigt sich eine Tendenz für einen linearen Zusammenhang zur mittleren Tagestemperatur ( $r=-0,72$ ).

Für die **Herbstniederschläge (Phase H, 16.7.-15.11.)** der ausgewerteten Erntejahre besteht eine Tendenz für eine Korrelation zu den Gesamterträgen der Arbeitskreise ( $r=0,47$ ), den Ertragsdaten der Statistik Austria ( $r=0,51$ ), sowie den 25% schlechteren ( $r=0,48$ ) und den 25% besseren Standorten ( $r=0,52$ ). Für die Erträge der Pflugsaat kann kein linearer Zusammenhang zu den Herbstniederschlägen festgestellt werden.

Bei den **Winterniederschlägen (Phase W, 16.11.-28./29.2.)** hingegen ist eine Tendenz für eine Korrelation zu den Arbeitskreiserträgen nach Pflugsaat ( $r=0,67$ ) erkennbar. Für die restlichen Ertragsdatensätze kann keine Korrelation zu den Winterniederschlägen festgestellt werden.

Die Niederschläge in der **Phase V (1.3.-30.4)** korrelieren mit keinem der Ertragsparameter signifikant.

Für die Niederschläge in der **Phase G (1.5-15.7.)** die in etwa der generativen Entwicklungsphase bis hin zur Reife entspricht, lassen sich Tendenzen für eine Korrelation zu den Erträgen nach Pflugeinsatz ( $r=0,71$ ) und zu den 25% schlechteren Standorten (sehr geringes  $r$ ,  $r=0,46$ ) erkennen. Für die restlichen Ertragsparameter gibt es keine signifikanten oder tendenziellen Korrelationen, zu den Niederschlägen in der Phase G.

Die **Jahresniederschlagsmenge (16.7.-15.7.)** im Beobachtungszeitraum korreliert hochsignifikant mit den Weizenertragsdaten der Arbeitskreise nach Pflugsaat ( $r=0,90$ ) sowie den Erträgen der 25% schlechteren Standorte ( $r=0,71$ ). Eine signifikante Korrelation lässt sich weiters zwischen den Gesamterträgen der Arbeitskreise und der Jahresniederschlagsmenge feststellen ( $r=0,59$ ). Bei den Datensätzen Ertragsdaten der Statistik Austria und den Erträgen der 25% besseren Standorte kann keine signifikante Korrelation zu den Jahresniederschlägen gefunden werden.

## 4.2.5. Bezirk Mistelbach

Tabelle 13: Korrelationen im Bezirk Mistelbach

Pearsonsche Korrelationskoeffizienten (r) Bezirk Mistelbach					
Prob >  r  unter H0: Rho=0 (=p-Wert)					
Anzahl der Beobachtungen (n)					
	Ertrag to/ha_Mean	Ertrag Stat.Austria	Ertrag to/ha_Pflug	Ertrag to/ha<=Q1	Ertrag to/ha>=Q3
<b>Tmax_N</b>	-0,62	-0,71	-0,69	-0,58	-0,60
Tage>27°C 1.3.-15.7.	0,0187	0,0063	0,0264	0,0295	0,0247
	14	13	10	14	14
<b>Tmittel_Mean_G</b>	-0,55	-0,65	-0,60	-0,54	-0,50
Tmittel 1.5.-15.7.	0,0404	0,0166	0,0679	0,0462	0,0687
	14	13	10	14	14
<b>H</b>	0,44	0,39	0,35	0,38	0,51
NS 16.7.-15.11	0,1188	0,1922	0,3222	0,1769	0,0635
	14	13	10	14	14
<b>W</b>	0,20	0,23	0,26	0,25	0,16
NS 16.11.-28./29.2.	0,4920	0,444	0,4755	0,3893	0,5852
	14	13	10	14	14
<b>V</b>	0,09	0,20	0,49	0,15	0,06
NS 1.3.-30.4.	0,7659	0,512	0,1528	0,6111	0,826
	14	13	10	14	14
<b>G</b>	0,05	0,14	0,00	0,09	-0,03
NS 1.5.-15.7.	0,8563	0,6537	0,9904	0,7717	0,9098
	14	13	10	14	14
<b>Niederschlag_Sum</b>	0,57	0,65	0,52	0,59	0,54
Jahres-NS 16.7.-15.7.	0,0343	0,0165	0,1197	0,0254	0,0460
	14	13	10	14	14

Im Bezirk Mistelbach korreliert die **Anzahl der Hitzetage (>27°C, 1.3.-15.7.)** im Auswertungszeitraum 2006-2019 hochsignifikant negativ mit den Weizenenertragsdaten der Statistik Austria ( $r=-0,71$ ). Des Weiteren korrelieren der Arbeitskreisertrag nach Pflugeinsatz ( $r=-0,69$ ), sowie der Arbeitskreisertrag im Bezirk in der Gesamtheit ( $r=-0,62$ ), der Ertrag der 25% schlechteren Standorte ( $r=-0,58$ ) und der Ertrag der 25% besseren Standorte ( $r=-0,60$ ) signifikant negativ mit der Anzahl der Hitzetage.

Die Korrelationen der **mittleren Tagestemperatur in der Phase G (1.5.-15.7.)** verhalten sich ähnlich wie jene der Tage über 27°C. Der Ertrag der Statistik Austria ( $r=-0,65$ ), der Arbeitskreisertrag in der Gesamtheit im Bezirk Mistelbach ( $r=-0,55$ ) sowie der Ertrag der 25% schlechteren Standorte ( $r=-0,54$ ) korrelieren signifikant negativ mit der Tagestemperatur im oben genannten Zeitraum. Tendenzen für einen signifikant-negativen, linearen Zusammenhang mit der Tagestemperatur sind beim Arbeitskreisertrag nach Pflugeinsatz ( $r=-0,60$ ) und beim Ertrag der 25% besseren Standorte ( $r=-0,51$ ) erkennbar.

Bei den **Herbstniederschlägen (Phase H, 16.7.-15.11.)** ist eine Tendenz für eine Korrelation zu den Erträgen der 25% besseren Standorten erkennbar ( $r=0,51$ ). Die restlichen Ertragsparameter korrelieren nicht signifikant mit den Herbstniederschlägen.

Die **Niederschläge** in den **Phasen W, V und G** korrelieren ebenfalls nicht signifikant mit den Ertragsparametern. Es sind auch keine Tendenzen für eine Korrelation erkennbar.

Zwischen den **Jahresniederschlägen (16.7.-15.7.)** im Beobachtungszeitraum und den Weizenerträgen der Statistik Austria ( $r=0,65$ ), den Gesamterträgen der Arbeitskreise im Bezirk Mistelbach ( $r=0,57$ ), sowie den Erträgen der 25% schlechteren ( $r=0,59$ ) und der 25% besseren Standorte ( $r=0,54$ ) sind signifikante Korrelationen erkennbar. Für die Arbeitskreiserträge nach Pflugeinsatz sind keine Korrelationen zu den Jahresniederschlägen feststellbar.

#### 4.2.6. Bezirk Wiener Neustadt (Land)

Tabelle 14: Korrelationen im Bezirk Wiener Neustadt (Land)

Pearsonsche Korrelationskoeffizienten (r) Bezirk Wr. Neustadt					
Prob >  r  unter H0: Rho=0 (=p-Wert)					
Anzahl der Beobachtungen (n)					
	Ertrag to/ha_Mean	Ertrag Stat.Austria	Ertrag to/ha_Pflug	Ertrag to/ha<=Q1	Ertrag to/ha>=Q3
<b>Tmax_N</b>	-0,50	-0,54	-0,02	-0,28	-0,57
Tage>27°C 1.3.-15.7.	0,0665	0,0581	0,9634	0,3326	0,0342
	14	13	10	14	14
<b>Tmittel_Mean_G</b>	-0,45	-0,54	-0,35	-0,21	-0,55
Tmittel 1.5.-15.7.	0,1097	0,0552	0,3239	0,4669	0,0400
	14	13	10	14	14
<b>H</b>	0,24	0,14	0,33	0,33	0,26
NS 16.11.-28./29.2.	0,4156	0,6424	0,3593	0,2524	0,3770
	14	13	10	14	14
<b>W</b>	0,27	0,26570	-0,14	-0,03	0,46
NS 16.7.-15.11.	0,3430	0,3803	0,6912	0,9058	0,0971
	14	13	10	14	14
<b>V</b>	-0,34	-0,22	-0,42	-0,22	-0,33
NS 1.3.-30.4.	0,2299	0,4644	0,2272	0,4565	0,2493
	14	13	10	14	14
<b>G</b>	0,01	0,09	-0,40	0,17	-0,06
NS 1.5.-15.7.	0,9727	0,7742	0,2510	0,5697	0,8419
	14	13	10	14	14
<b>Niederschlag_Sum</b>	0,16	0,17	-0,25	0,25	0,19
Jahres-NS 16.7.-15.7.	0,5933	0,5741	0,4926	0,3970	0,5260
	14	13	10	14	14

---

Die **Anzahl der Hitzetage (>27°C, 1.3.-15.7.)** im Auswertungszeitraum, im Bezirk Wiener Neustadt (Land) korreliert signifikant negativ mit den Erträgen der 25% besseren Standorte aus den Arbeitskreisen ( $r=-0,57$ ). Tendenzen für eine Korrelation mit der Anzahl der Hitzetage sind bei den Gesamterträgen der Arbeitskreise im Bezirk ( $r=-0,50$ ) und bei den Ertragsdaten der Statistik Austria ( $r=-0,54$ ) erkennbar. Für die Erträge nach Pflugeinsatz vor der Saat und die 25% schlechteren Standorte konnten keine Tendenzen für Korrelationen oder signifikante Korrelationen zur Anzahl der Hitzetage gefunden werden.

Ein signifikant negativer, linearer Zusammenhang besteht zwischen der **mittleren Tagestemperatur in der Phase G (1.5.-15.7.)** und den Erträgen der 25% besseren Standorte ( $r=-0,55$ ). Tendenzen für eine lineare Korrelation zwischen dem Ertrag der Statistik Austria und der mittleren Tagestemperatur ( $r=-0,54$ ) sind ebenfalls zu erkennen. Für die übrigen Ertragsdaten konnte kein signifikanter, linearer Zusammenhang zur mittleren Tagestemperatur gefunden werden.

Die **Niederschläge in den Phasen H, V und G** korrelieren nicht mit den Ertragsdaten.

Die **Niederschläge in der Phase W (16.11.-28./29.2.)** korrelieren tendenziell mit dem Ertrag der 25% besseren Standorte, allerdings mit einem geringen  $r$  von 0,46. Für die restlichen Ertragsdaten konnte keine signifikante Korrelation zu den Winterniederschlägen festgestellt werden.

Die **Jahresniederschläge (16.7.-15.7.)** im Auswertungszeitraum 2006-2019 zeigten keine Korrelation zu den Ertragsdaten.

### 4.3. Ergebnisse der kumulierten Auswertung

Die Daten der Einzelbezirke wurden, wie bereits in Kapitel 3 erwähnt, in einer Tabelle zusammengefasst. Diese Tabelle wurde einer Korrelationsanalyse unterzogen. Es wurde des Weiteren der Mittelwert aller Ertragsdaten und Wetterdaten pro Erntejahr berechnet und in einer Tabelle ausgewiesen. Auch diese Tabelle wurde mittels der Korrelationsanalyse auf die einfache lineare Regression der Parameter untersucht. Die Ergebnisse aus beiden Analysen werden im folgenden Teil gegenübergestellt.

#### 4.3.1. Auswertung mit den Einzelwerten aller Bezirke

Tabelle 15: Korrelationen der kumulierten Einzelwerte aller Standorte (=Bezirke)

<b>Pearsonsche Korrelationskoeffizienten (r) der kumulierten Einzelwerte aller Standorte</b>					
<b>Prob &gt;  r  unter H0: Rho=0 (=p-Wert)</b>					
<b>Anzahl der Beobachtungen (n)</b>					
	<b>Ertrag to/ha_Mean</b>	<b>Ertrag Stat.Austria</b>	<b>Ertrag to/ha_Pflug</b>	<b>Ertrag to/ha&lt;=Q1</b>	<b>Ertrag to/ha&gt;=Q3</b>
<b>Tmax_N</b>	-0,52	-0,65	-0,45	-0,44	-0,44
Tage>27°C 1.3.-15.7.	< 0,0001	< 0,0001	0,0004	< 0,0001	< 0,0001
	84	78	57	84	84
<b>Tmittel_Mean_G</b>	-0,53	-0,62	-0,44	-0,43	-0,50
Tmittel 1.5.-15.7.	< 0,0001	< 0,0001	0,0005	< 0,0001	< 0,0001
	84	78	57	84	84
<b>H</b>	0,32	0,28	0,14	0,21	0,36
NS 16.7.-15.11	0,0032	0,0117	0,2870	0,0593	0,0007
	84	78	57	84	84
<b>W</b>	0,14	0,14	0,25	0,06	0,15
NS 16.11.-28./29.2.	0,2150	0,2351	0,0641	0,5957	0,1730
	84	78	57	84	84
<b>V</b>	-0,06	-0,03	0,09	-0,06	-0,07
NS 1.3.-30.4.	0,5597	0,8166	0,4887	0,5651	0,5398
	84	78	57	84	84
<b>G</b>	0,19	0,19	0,23	0,15	0,15
NS 1.5.-15.7.	0,0870	0,1034	0,0791	0,1848	0,1660
	84	78	57	84	84
<b>Niederschlag_Sum</b>	0,26	0,25	0,30	0,16	0,26
Jahres-NS 16.7.-15.7.	0,0183	0,0260	0,0232	0,1416	0,0151
	84	78	57	84	84

Die Erläuterungen zu den Tabellenspalten bzw. -zeilen befinden sich im Kapitel 3.5.

---

Da die Datenmenge (n=57-84) in dieser kumulierten Auswertung größer ist, werden in diesem Unterkapitel (4.3.1) nur hochsignifikante ( $p < 0,01$ ) und signifikante ( $p = 0,01 - 0,05$ ) Korrelationen berücksichtigt. Die untere Grenze für eine Korrelation bei dieser Datenmenge wurde bei einem Korrelationskoeffizient ( $r$ ) von 0,3 bzw. -0,3 (=schwache Korrelation) festgelegt. Geringfügig schwächere Korrelationen werden noch erwähnt. Ab einem  $r > 0,5$  (bzw.  $< -0,5$ ) wird von einer starken Korrelation gesprochen.

Für die **Anzahl der Hitzetage (>27°C, 1.3.-15.7.)** bestehen hochsignifikante negative Korrelationen zu allen Ertragsdaten. Die Ertragsdaten der Statistik Austria korrelieren mit einem  $r$  von -0,65 am Stärksten mit den Hitzetagen. Es folgt die Gesamtheit aller Arbeitskreiserträge ( $r = -0,52$ ), sowie weiters der Ertrag nach Pflugeinsatz vor der Saat ( $r = -0,45$ ) und die Erträge der 25% besseren ( $r = -0,44$ ) und der 25% schlechteren Standorte ( $r = -0,44$ ).

Die **mittlere Tagestemperatur in der Phase G (1.5.-15.7.)** weist ebenfalls hochsignifikant-negative Korrelationen zu allen Ertragsparametern auf. Die stärkste Korrelation zur Tagestemperatur haben die Ertragsdaten der Statistik Austria ( $r = -0,62$ ), gefolgt von den Gesamterträgen der Arbeitskreise ( $r = -0,53$ ) und den Erträgen der 25% besseren Standorte ( $r = -0,50$ ). Die Arbeitskreiserträge nach Pflugeinsatz vor der Saat ( $r = -0,44$ ) sowie die Erträge der 25% schlechteren Standorte ( $r = -0,43$ ) weisen schwächere Korrelationen auf.

Die **Herbstniederschläge (Phase H, 16.7.-15.11.)** korrelieren, auf schwachem Niveau, hochsignifikant mit dem Ertrag der 25% besseren Standorte ( $r = -0,36$ ) und den Gesamterträgen der Arbeitskreise ( $r = -0,32$ ). Ein schwacher linearer Zusammenhang besteht ebenfalls zu den Ertragsdaten der Statistik Austria ( $r = -0,28$ ). Für die Erträge der 25% schlechteren Standorte und den Ertrag nach Pflugsaat konnte keine signifikante Korrelation zu den Herbstniederschlägen gefunden werden.

Bei den **Niederschlägen in den Phasen W, V und G** konnten in der Gesamtauswertung keine praktisch relevanten Korrelationen zu den Ertragsdaten gefunden werden.

Die **Jahresniederschläge (16.7.-15.7.)** korrelieren schwach mit den Arbeitskreiserträgen nach Pflugsaat ( $r = 0,30$ ), jenen in der Gesamtheit ( $r = 0,26$ ), den Erträgen der 25% besseren Standorte ( $r = 0,26$ ) und sehr schwach mit den Ertragsdaten der Statistik Austria ( $r = 0,25$ ). Für die Erträge der 25% schlechteren Standorte konnte kein signifikanter linearer Zusammenhang zu den Jahresniederschlägen gefunden werden.

### 4.3.2. Auswertung mit den Mittelwerten aller Bezirke

Tabelle 16: Korrelationen der Mittelwerte aller Standorte (=Bezirke)

Pearsonsche Korrelationskoeffizienten (r) der Mittelwerte aller Standorte					
Prob >  r  unter H0: Rho=0 (=p-Wert)					
Anzahl der Beobachtungen (n)					
	Ertrag to/ha_Mean	Ertrag Stat.Austria	Ertrag to/ha_Pflug	Ertrag to/ha<=Q1	Ertrag to/ha>=Q3
<b>Tmax_N</b>	-0,61	-0,76	-0,69	-0,57	-0,57
Tage>27°C 1.3.-15.7.	0,0200	0,0028	0,0274	0,0326	0,0318
	14	13	10	14	14
<b>Tmittel_Mean_G</b>	-0,55	-0,67	-0,65	-0,53	-0,50
Tmittel 1.5.-15.7.	0,0405	0,0129	0,0409	0,0539	0,0698
	14	13	10	14	14
<b>H</b>	0,44	0,44	0,35	0,46	0,45
NS 16.7.-15.11	0,1128	0,1281	0,3281	0,0953	0,1048
	14	13	10	14	14
<b>W</b>	0,29	0,29	0,44	0,42	0,14
NS 16.11.-28./29.2.	0,3219	0,3304	0,2004	0,1326	0,6264
	14	13	10	14	14
<b>V</b>	-0,13	-0,04	-0,02	0,03	-0,25
NS 1.3.-30.4.	0,6639	0,9087	0,9531	0,9118	0,3814
	14	13	10	14	14
<b>G</b>	0,19	0,27	0,25	0,26	0,09
NS 1.5.-15.7.	0,5107	0,3634	0,4920	0,3603	0,7720
	14	13	10	14	14
<b>Niederschlag_Sum</b>	0,43	0,50	0,63	0,58	0,27
Jahres-NS 16.7.-15.7.	0,1292	0,0791	0,0530	0,0280	0,3433
	14	13	10	14	14

Die **Anzahl der Hitzetage (>27°C, 1.3.-15.7.)** korreliert in dieser Auswertung hochsignifikant negativ mit den Ertragsdaten der Statistik Austria ( $r=-0,76$ ). Zu allen anderen Ertragsdaten bestehen signifikante Korrelationen. Den stärksten linearen Zusammenhang haben die Arbeitskreiserträgen nach Pflugeinsatz ( $r=-0,69$ ) und die Arbeitskreiserträge in der Gesamtheit ( $r=-0,61$ ). Die Erträge der 25% schlechteren und der 25% besseren Standorte korrelieren auf etwa gleichem Niveau ( $r=-0,57$ ) mit der Anzahl der Hitzetage.

Die **mittlere Tagestemperatur in der Phase G (1.5.-15.7.)** korreliert signifikant negativ mit den Ertragsdaten der Statistik Austria ( $r=-0,67$ ) sowie mit den Arbeitskreiserträgen nach Pflugeinsatz ( $r=-0,65$ ) und den Arbeitskreiserträgen in der Gesamtheit ( $r=-0,55$ ). Tendenzen für einen linearen Zusammenhang zur mittleren Tagestemperatur, lassen sich zwischen den Erträgen der 25% schlechteren ( $r=-0,53$ ) und der 25% besseren Standorte ( $r=-0,50$ ), erkennen.

Bei der Auswertung der Mittelwerte über alle Bezirke gibt es eine Tendenz für einen linearen Zusammenhang der **Herbstniederschläge (Phase H, 16.7.-15.11.)** mit dem Ertrag der 25% schlechteren Standorte ( $r=-0,46$ ). Die Erträge der 25% besseren Standorte verpassen das Niveau für eine Tendenz nur knapp ( $p=0,1048$ ;  $r=0,45$ ). Die Arbeitskreiserträge nach Pflugsaat, sowie jene in der Gesamtheit und die Ertragsdaten der Statistik Austria korrelieren nicht signifikant mit den Herbstniederschlägen.

Für die **Niederschläge in den Phasen W, V und G** konnten keine signifikanten oder tendenziellen Korrelationen zu den Ertragsparametern gefunden werden.

Bei den **Jahresniederschlägen (16.7.-15.7.)** besteht eine signifikante Korrelation zu den Erträgen der 25% schlechteren Standorte ( $r=0,58$ ). Eine Tendenz für einen linearen Zusammenhang besteht weiters beim Ertrag nach Pflugeinsatz vor der Saat ( $r=0,62$ ). Außerdem ist eine Tendenz zwischen den Jahresniederschlägen und den Ertragsdaten der Statistik Austria erkennbar ( $r=0,50$ ). Die Arbeitskreiserträge in der Gesamtheit, sowie die Erträge der 25% besseren Standorte weisen keine Korrelationen zu den Jahresniederschlägen auf.

#### 4.4. Vorruchtwirkung

Der Grad des Einflusses der verschiedenen Vorrüchte auf den Kornertrag wurde mittels Varianzanalyse ermittelt. Um die Datenmenge der einzelnen Vorrüchte, und somit die Aussagekräftigkeit der Analyse zu erhöhen, wurden diese, wie bereits im Kapitel 3 beschrieben, in Gruppen zusammengefasst. Die Analyse ergab einen hochsignifikanten Einfluss der Vorrucht auf den Ertrag. Des Weiteren zeigt die Varianzanalyse die hochsignifikanten Wechselwirkungen zwischen der Vorrucht und dem Erntejahr bzw. der Vorrucht und dem Standort auf (Tabelle 17).

Tabelle 17: Varianzanalyse zur Auswirkung der Vorrucht auf den Weizenertrag

Quelle	DF	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
<b>Vorrucht</b>	19	229,22	12,06	10,55	<.0001
<b>Vorrucht*Erntejahr</b>	222	7.515,03	33,85	29,29	<.0001
<b>Vorrucht*Standort</b>	72	763,57	10,61	9,27	<.0001

Die nachfolgenden Grafiken veranschaulichen die Ertragswirkung der Vorrüchte bzw. deren Häufigkeit. Beim multiplen Spannweitentest nach Ryan-Einot-Gabriel und Welsch (Tabelle 18) sind die Mittelwerte bzw. Vorrüchte mit demselben Buchstaben nicht signifikant verschieden.

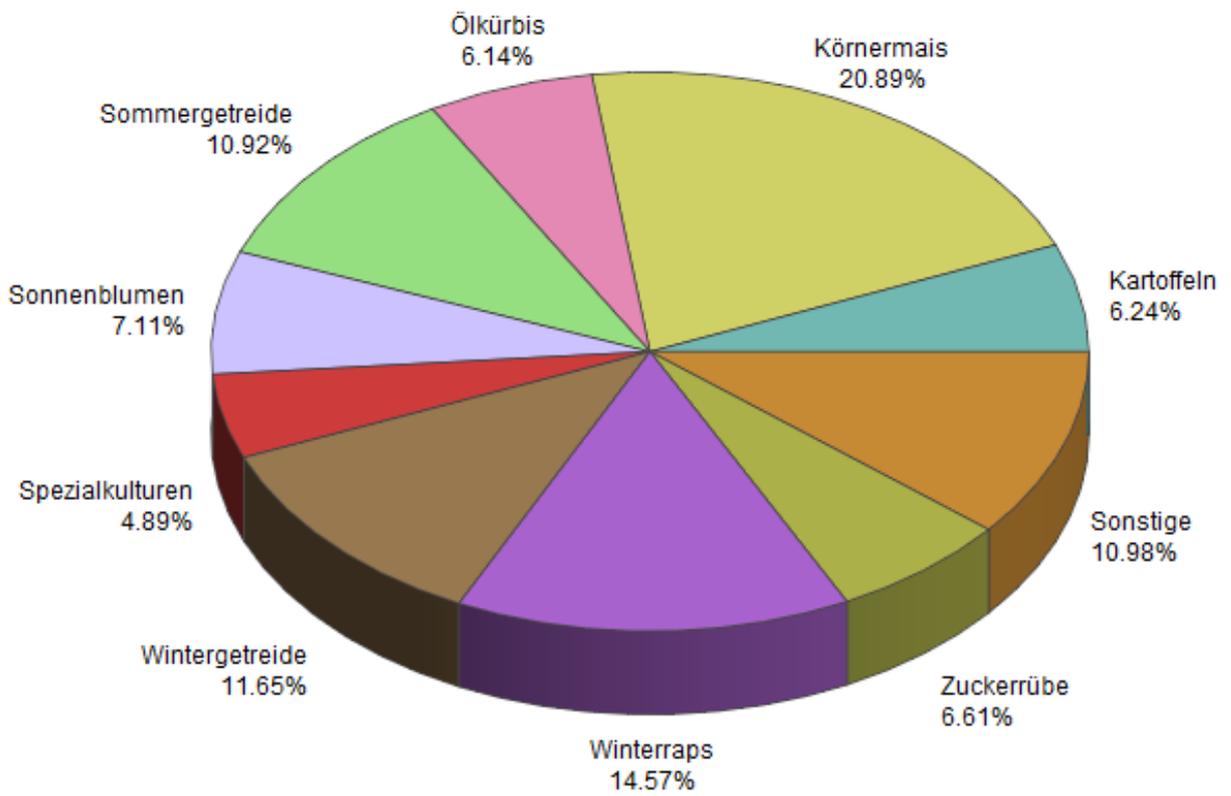


Abbildung 25: Häufigkeit der Vorfrüchte von 2006-2019 über alle Standorte

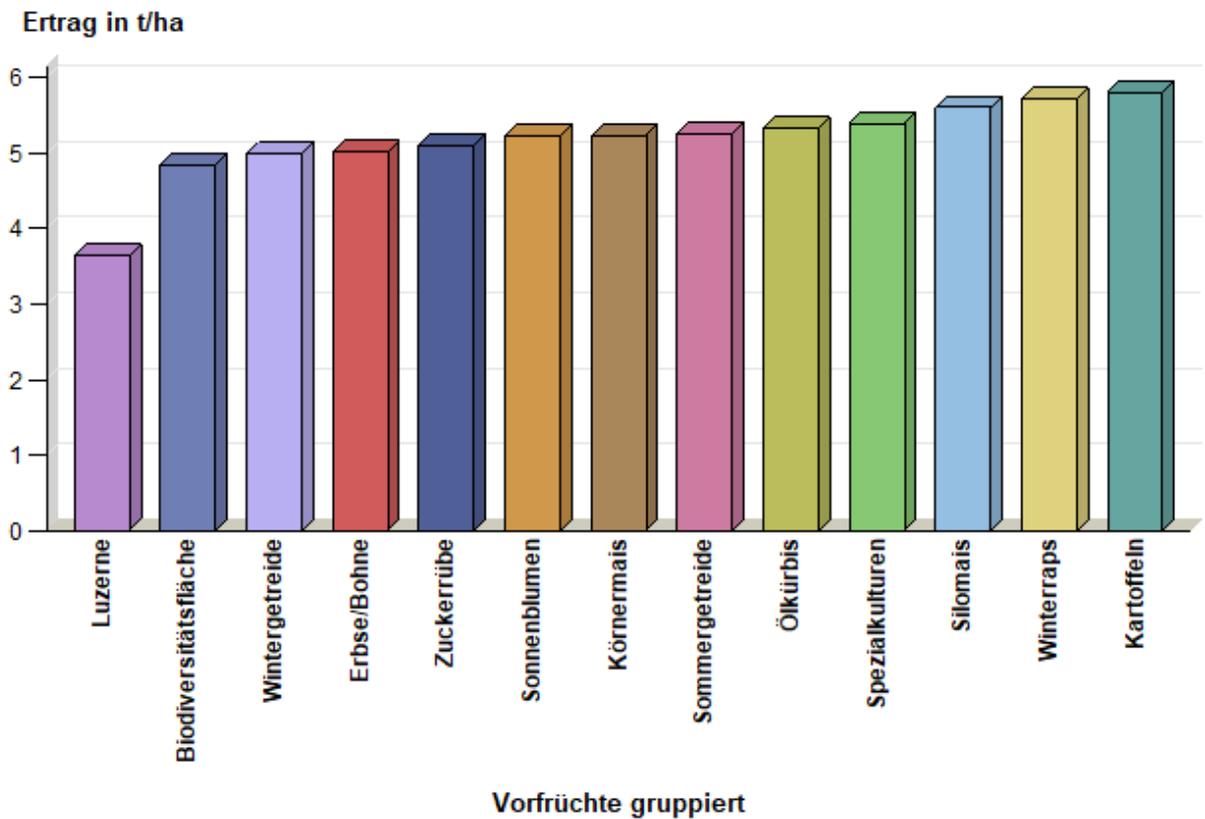


Abbildung 26: Erträge der häufigsten Vorfrüchte (n>99) über alle Standorte und Erntejahre

Tabelle 18: Ergebnis des multiplen Spannweitentest nach Ryan-Einot-Gabriel-Welsch zur Vorfrucht in Abhängigkeit vom Ertrag, N= Häufigkeit einer bestimmten Vorfrucht bzw. Gruppierung von Vorfrüchten

REGWQ Gruppierung			Mittelwert	N	Vorfrucht
		A	6,265	12	Zwiebeln
B		A	5,874	51	Keine Zuordnung
B		A	5,810	657	Kartoffeln
B		A	5,777	48	Zuckerrüben/Vermehrung
B		A	5,721	1535	Winterraps
B		A	5,609	335	Silomais
B		A	5,563	2	Weintrauben
B		A	5,396	515	Spezialkulturen
B		A	5,327	647	Ölkürbis
B		A	5,267	1151	Sommergetreide
B		A	5,232	2201	Körnermais
B		A	5,230	749	Sonnenblumen
B	D	A	5,098	697	Zuckerrübe
B	D	A	5,020	319	Erbse/Bohne
B	D	A	5,018	45	Sorghum/Hirse
B	D	A	4,994	1228	Wintergetreide
B	D	E	4,852	169	Biodiversitätsfläche
	D	E	4,281	16	Sonstige Ackerfläche
	D	E	3,904	13	Kleegras
		E	3,644	147	Luzerne

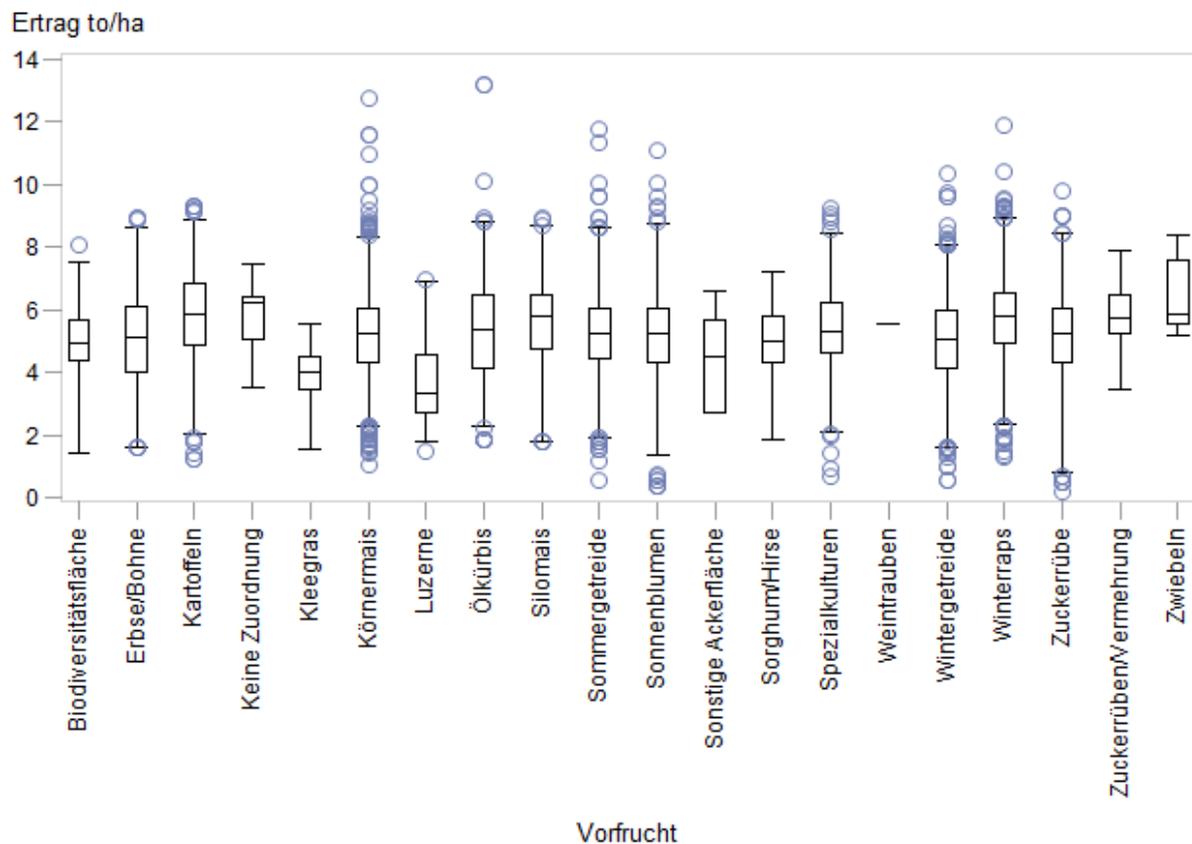


Abbildung 27: Kornträge/ha nach verschiedenen Vorfrüchten unabhängig ihrer Häufigkeit

## 4.5. Pflugeinsatz

Zusätzlich zu den bei den landwirtschaftlichen Arbeitskreisdaten erfassten Parametern Standort, Erntejahr, Vorfrucht und Ertrag in t/ha wurde ab dem Erntejahr 2010 miterfasst, ob ein Pflugeinsatz vor der Saat erfolgt ist, welcher den Ertrag des gesäten Winterweichweizens möglicherweise beeinflusst. Anhand der Varianzanalysetabelle (Tabelle 19) lässt sich erkennen, dass sowohl zwischen dem Pflugeinsatz und dem Standort als auch dem Pflugeinsatz und dem Erntejahr hochsignifikante Wechselwirkungen auftreten. Die Gründe für die Mehr- bzw. Mindererträge beim Pflugeinsatz vor der Saat können vielfältig sein und werden im Kapitel 5 näher erläutert.

Tabelle 19: Varianzanalyse zum Pflugeinsatz vor der Saat

Quelle	DF	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
gepflügt	1	116,40	116,40	79,87	<.0001
gepflügt*Erntejahr	18	6.516,42	362,02	248,40	<.0001
gepflügt*Standort	10	486,73	48,67	33,40	<.0001

### 4.5.1. Differenzen im Kornertrag

Die folgenden Grafiken geben Auskunft über die Erträge nach Pflugeinsatz vor der Saat im Vergleich zu allen anderen Formen der Bodenbearbeitung inkl. Direktsaat. Gemittelt über alle Erntejahre und Standorte beträgt die Differenz zwischen Pflugeinsatz bzw. Pflugverzicht vor der Saat etwa 519 kg pro ha zu Gunsten des Pflugverzichts.

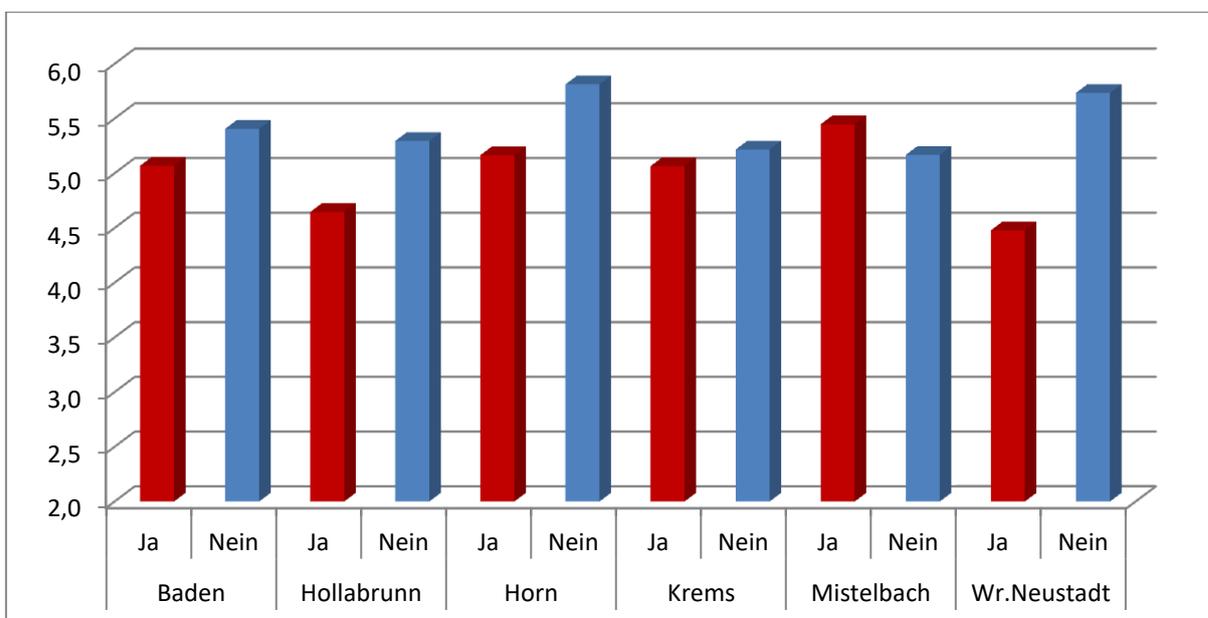


Abbildung 28: mittlerer Kornertrag der einzelnen Standorte mit bzw. ohne Pflugeinsatz vor der Saat im Durchschnitt von 2010-2019

Die durchschnittliche Differenz zwischen den Standorten mit und ohne Pflugeinsatz, gemittelt über die Erntejahre 2010-2019, beträgt 460 kg pro ha. Es folgt eine

Schilderung der Differenzen zwischen Pflugeinsatz und Pflugverzicht in den einzelnen Bezirken.

Im Bezirk **Baden** beträgt die Differenz zwischen Pflugeinsatz vor der Saat und Pflugverzicht im Mittel der Erntejahre 2010-2019 **337 kg pro ha** zu Gunsten des Pflugverzichts.

Ein Pflugeinsatz vor der Saat verursachte im Bezirk **Hollabrunn**, im Auswertungszeitraum, bei den erfassten Weizenerträgen des landwirtschaftlichen Arbeitskreises, einen Minderertrag von durchschnittlich **649 kg pro ha**.

Im Bezirk **Horn** verringerte der Pflugeinsatz vor der Saat ebenfalls den Ernteertrag von Winterweichweizen um durchschnittlich **647 kg pro ha**, im Vergleich zu einer Bestellung ohne wendende Bearbeitung.

Im Bezirk **Krems** war durch den Pflugeinsatz vor der Saat nur ein leichter Minderertrag von **152 kg pro ha** im Durchschnitt der Arbeitskreisdaten festzustellen.

Der Bezirk **Mistelbach** hingegen verhält sich anders als die restlichen fünf analysierten Bezirke. Hier führte der Pflugeinsatz laut den Daten des landwirtschaftlichen Arbeitskreises im Mittel von 2010-2019 zu einem **Mehrertrag** von **280 kg pro ha**.

Im Bezirk **Wiener Neustadt** ist der Unterschied der Ernteerträge zwischen Pflugeinsatz und Pflugverzicht vor der Saat am deutlichsten ausgeprägt. Der Minderertrag im Auswertungszeitraum beträgt hier im Mittel **1.256 kg pro ha**.

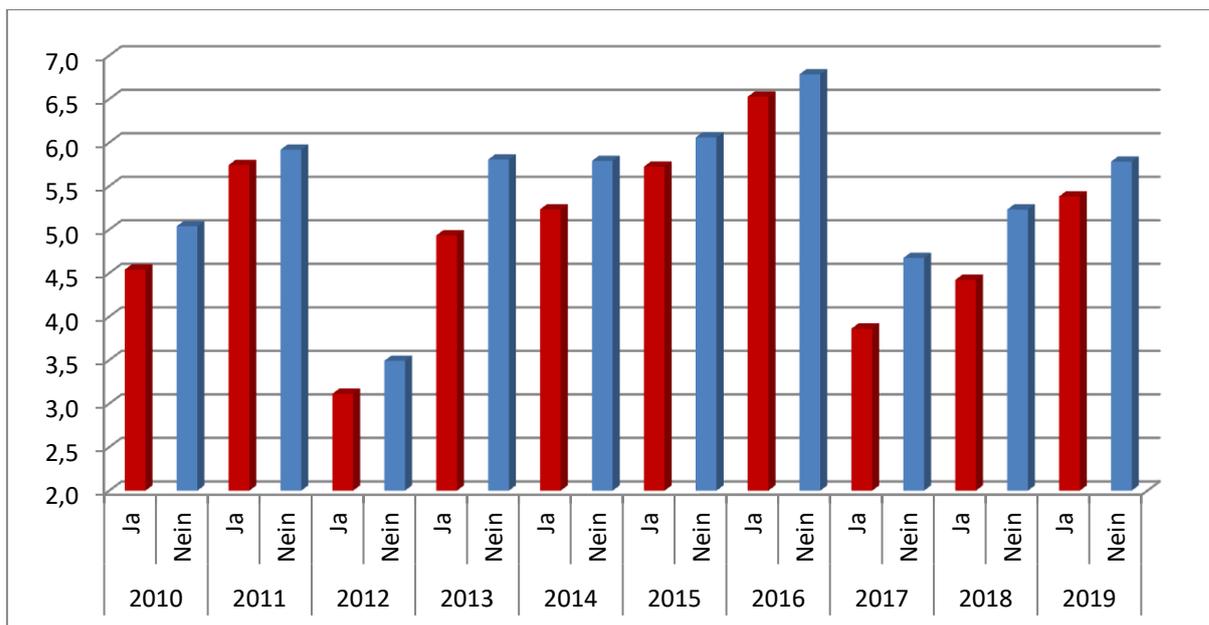


Abbildung 29: mittlerer Kornertag von 2010-2019 mit bzw. ohne Pflugeinsatz vor der Saat im Durchschnitt aller sechs Standorte

Die durchschnittliche Differenz zwischen den Erntejahren, mit und ohne Pflugeinsatz, gemittelt über alle Standorte, beträgt 510 kg pro ha. Es folgt eine Übersicht über die Ertragsdifferenzen der einzelnen Erntejahre.

Die geringsten Ertragseinbußen beim Pflugeinsatz vor der Saat im Vergleich zum Pflugverzicht verzeichnen die Erntejahre **2011, 2016 und 2015**. Hier wurden durch die Arbeitskreise Mindererträge von **177, 258 und 337 kg pro ha** festgestellt.

---

Moderate Mindererträge verzeichnen die Jahre **2012, 2019, 2010 und 2014**. Hier verringerte sich der Ernteertrag vom Winterweichweizen um **378, 399, 498 bzw. 556 kg pro ha**.

Die stärksten Ertragseinbußen beim Pflugeinsatz vor der Saat im Vergleich zum Pflugverzicht, gemittelt über alle Standorte, bringen die Jahre **2018, 2017 und 2013** hervor. Hier verringerte sich der Ernteertrag um **808, 812 bzw. 872 kg pro ha**.

#### **4.5.2. Korrelationen mit den Wetterdaten**

Korrelationsanalysen wurden im Zusammenhang mit dem Pflugeinsatz bzw. dem Pflugverzicht vor der Saat durchgeführt.

Die Differenz im Kornertrag von Winterweichweizen zwischen beiden Bearbeitungsvarianten (Pflug/kein Pflug) über alle Erntejahre wurde mit den Hitzetagen über 27°C (1.3.-15.7.), der Durchschnittstemperatur in der Phase G (1.5.-15.7.), den Niederschlägen in den einzelnen Phasen (H,W,V,G) eines jeden Erntejahres und dem Jahresniederschlag (16.7.-15.7.) korreliert und die Ergebnisse nach den sechs Standorten gruppiert. Es folgt eine Zusammenstellung der signifikanten Ergebnisse aus den Analysen.

Die **Anzahl der Hitzetage (>27°C, 1.3.-15.7.)** im Bezirk Hollabrunn korreliert signifikant positiv mit der Differenz im Kornertrag zwischen Pflugeinsatz und Pflugverzicht vor der Saat ( $r=0,63$ ). Das bedeutet für den Bezirk Hollabrunn, je mehr Hitzetage in einem Erntejahr auftreten, desto geringer ist der Kornertrag nach Pflugeinsatz im Vergleich zum Pflugverzicht.

Im Bezirk Horn kann ein signifikanter Zusammenhang zwischen den **Herbstniederschlägen (Phase H, 16.7.-15.11.)** und der Differenz zwischen Pflugeinsatz und Pflugverzicht ( $r=0,66$ ) festgestellt werden. Hierbei handelt es sich vermutlich um einen durch nicht analysierte Wechselwirkungen hervorgerufenen Zusammenhang.

Die **Winterniederschläge (Phase W, 16.11.-28./29.2.)** korrelieren im Bezirk Krems signifikant negativ mit der Differenz im Kornertrag zwischen Pflugeinsatz und Pflugverzicht ( $r=-0,85$ ). Das bedeutet für den Bezirk Krems, je höher die Niederschlagsmenge in der Phase W ist, desto geringer ist die Differenz im Kornertrag zwischen Pflugeinsatz und Pflugverzicht. Jedoch muss hier zusätzlich angemerkt werden, dass die Winterniederschläge nicht signifikant mit den Ertragsdaten aus dem Bezirk Krems korrelieren (siehe Kapitel 4.2.4.).

---

## 5. Diskussion

### 5.1. Methodenkritik und Datenbasis

Die Datenbasis dieser Arbeit sind, wie bereits ausführlich im Kapitel 3 erwähnt, landwirtschaftliche Arbeitskreisdaten aus sechs niederösterreichischen Bezirken. Die analysierten Bezirke sind Baden, Hollabrunn, Horn, Krems, Mistelbach und Wiener Neustadt. Hierbei handelt es sich um Ertragsdaten, die von den Landwirtinnen und Landwirten selbst aufgezeichnet wurden. Es wurde keine Unterscheidung zwischen biologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben durchgeführt. Pro Bezirk wurden etwa 1.800 Datensätze an die Landwirtschaftskammer Niederösterreich übermittelt, was in Summe eine Gesamtanzahl von etwa 11.000 Datensätzen ergibt. Bei etwa 8.000 dieser Datensätze wurde miterfasst, ob ein Pflugeinsatz vor der Saat erfolgt ist, oder nicht. Bei ca. 850 von diesen 8.000 Datensätzen wurde vor der Saat gepflügt. Die Vorfrucht, also die Kultur die vor dem Anbau des Winterweichweizens auf dem Feld stand, wurde bei etwa 10.500 Datensätzen angegeben.

Es wäre von Vorteil gewesen biologisch und konventionell wirtschaftende Betriebe getrennt voneinander zu analysieren, was aber aufgrund der gegebenen Datenbasis nicht möglich war.

Wenn die Arbeitskreisdaten einzelnen Feldern zuordenbar gewesen wären, wäre es auch möglich gewesen, die verschiedenen Bodentypen bzw. auch Bodenarten, die natürlich nicht unwesentlich zur Erreichung des Weizenertrages beitragen, zu berücksichtigen. Dies war aber aufgrund der bereits erhobenen Daten, nicht mehr rückwirkend durchzuführen. Es wurde stattdessen versucht, die besseren und schlechteren Standorte durch die Teilung der Ertragsdaten durch ihre Quartile herauszufiltern. Durch die 1. und 3. Quartile wurden aus den vorhandenen Daten die 25% niedrigeren und 25% höheren Erträge herausgefiltert und getrennt analysiert (siehe Kapitel 3.5.).

Weiters wurden auch die Daten der Statistik Austria für Analysen im Rahmen dieser Arbeit herangezogen. Es wurde für die Erntejahre 2006 bis 2018 pro Jahr jeweils ein Datensatz pro Bezirk übermittelt. Das ergibt eine Gesamtanzahl von 54 Datensätzen. Der erfolgte bzw. nicht erfolgte Pflugeinsatz vor der Saat des Winterweichweizens, sowie die Vorfrucht wurden hier nicht erfasst.

Bei den Statistik Austria Daten wäre es von Vorteil gewesen einen größeren Stichprobenumfang (n), sowie auch Daten über die Vorfrüchte oder die Bodenbearbeitung vor der Saat zu haben, jedoch hätte das, aufgrund der Tatsache, dass diese Daten gekauft werden mussten, das Budget dieser Arbeit zu sehr belastet.

Die Wetterdaten wurden als Tagesdaten von der ZAMG übermittelt. Es wurden die Daten beginnend vom 16.7.2005 bis zum 15.7.2019 für die Analysen herangezogen. Hierbei wurden die tägliche Niederschlagsmenge, die mittlere Tagestemperatur und die maximale Tagestemperatur verwendet. Die Wetterdaten wurden für die Analysen in vier Phasen innerhalb eines Erntejahres (16.7.-15.7.) unterteilt (siehe auch Kapitel 3):

- „H“ von 16.7. bis 15.11.
- „W“ von 16.11. bis 28. oder 29.2.

- 
- „V“ von 1.3. bis 30.4.
  - „G“ von 1.5. bis 15.7.

Aufgrund der Praktikabilität und der Überschneidung mit den einzelnen Entwicklungsphasen des Winterweichweizens wurde dieses Modell gewählt. Eventuell hätten die Wetterdaten auch monatlich mit den Ertragsdaten verglichen, oder eine komplett andere Unterteilung gewählt werden können. Auch hätten noch mehrere Wetterparameter in die Analyse einfließen können, wie z.B. die relative Luftfeuchtigkeit, was aber aufgrund der knappen Zeit und des noch größeren Aufwands nicht mehr möglich war.

Dennoch ist es gelungen mit den vorhandenen Daten brauchbare Ergebnisse zu erzielen.

## **5.2. Einflüsse der verschiedenen Faktoren auf den Kornertrag von Winterweichweizen**

Die im Kapitel 1 genannten Forschungsfragen werden in diesem Unterkapitel der Reihe nach, anhand der Ergebnisse (siehe Kapitel 4) beantwortet und mit vorhandener Literatur verglichen.

### **5.2.1. Einfluss der Niederschläge in den verschiedenen Wachstumsperioden**

#### **5.2.1.1. Winterniederschläge**

Die Forschungsfrage zum Einfluss der Winterniederschläge lautet:

**Haben Winterniederschläge einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag von Winterweichweizen?** Mit Winterniederschlägen sind die Niederschläge in der Zeit von 16. November bis 28./29. Februar gemeint.

Für die Gesamtanalyse aller Bezirke sowohl kumuliert, als auch mit dem Mittelwert der einzelnen Bezirke, lässt sich diese Frage mit „Nein“ beantworten. Werden allerdings die Einzelanalysen der sechs Bezirke herangezogen, so sind durchaus signifikante Korrelationen bzw. Tendenzen für Korrelationen der Ertragsdaten zu den Winterniederschlägen erkennbar.

Im Bezirk Hollabrunn weisen die 25% schlechteren Ertragsdaten der Arbeitskreise einen hochsignifikanten bzw. die Ertragsdaten der Statistik Austria einen signifikanten Einfluss der Winterniederschläge auf.

Im Bezirk Krems ist eine Tendenz für eine Korrelation der Ertragsdaten der Arbeitskreise nach Pflugeinsatz vor der Saat mit den Winterniederschlägen erkennbar.

Im Bezirk Wiener Neustadt ist ebenfalls eine Tendenz für eine Korrelation erkennbar. Hier korrelieren die Winterniederschläge im Auswertungszeitraum tendenziell mit den Arbeitskreiserträgen der 25% besseren Standorte im Bezirk.

In den Bezirken Baden, Horn und Mistelbach konnte kein Einfluss der Winterniederschläge zum Kornertrag von Winterweichweizen nachgewiesen werden.

---

Der Ertrag von Wintergetreide kann laut Salehnia et al. (2018) mit dem KDBI, einem Trockenheitsindex, der die Wasserversorgung der oberen Bodenschicht, unter Einfluss der täglichen Niederschläge beschreibt, in den Wintermonaten, nicht vorhergesagt werden.

Die Vorhersage des Ertrags landwirtschaftlicher Kulturen für die kommende Vegetationsperiode anhand der Wetterdaten sei, laut Juhász et al. (2020) nicht möglich, da der tägliche Niederschlag über einen längeren Zeitraum gemittelt, keinem mathematischen Trend folge. Auch der Wettertrend über einen längeren Zeitraum sei nicht vorhersagbar.

In einem, in den Jahren 2009 bis 2015 angelegten Bodenbearbeitungsversuch in der Shanxi Provinz in China, in dem auch die Niederschläge berücksichtigt wurden, konnte keine Korrelation zwischen dem Winterweichweizenertrag und den Niederschlägen von der Saat bis hin zur Schossphase des Weizens festgestellt werden Xue et al. (2019). Das bedeutet, dass auch in dem Bodenbearbeitungsversuch, die Winterniederschläge keinen Einfluss auf den Kornertrag von Winterweichweizen hatten.

Der Einfluss der Winterniederschläge (16.11.-28./29.2.) auf den Kornertrag von Winterweichweizen ist in den Gesamtanalysen der sechs Bezirke dieser Arbeit nicht gegeben, was auch die Ergebnisse der oben genannten Arbeiten bestätigen. Bei den Einzelanalysen der Bezirke weist ein Bezirk (Hollabrunn) signifikante und zwei Bezirke (Krems, Wr. Neustadt) tendenzielle Korrelationen zwischen Weizenertrag und Winterniederschlägen auf.

### **5.2.1.2. Einfluss der Niederschläge im Herbst und Frühjahr bzw. Frühsommer**

Die Forschungsfrage zum Einfluss der Herbst bzw. Frühjahrsniederschläge lautet:

**Haben die Niederschläge im Herbst oder im Frühjahr (vegetative und generative Wachstumsphase) einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag?**

Werden die **Niederschläge im Herbst** (16.7.-15.11.) getrennt betrachtet, so lässt sich diese Frage mit einem „Ja“ beantworten.

Die Herbstniederschläge haben Einfluss auf den Kornertrag in der kumulierten Gesamtanalyse mit den Einzelwerten aller Bezirke. Bei der Gesamtanalyse mit den Mittelwerten der Bezirke ist eine Tendenz für eine Korrelation der Herbstniederschläge mit einem Ertragsdatensatz der Arbeitskreise erkennbar.

Die Einzelauswertung der Bezirke weist signifikante Korrelationen der Herbstniederschläge zu einigen Ertragsdaten aus dem Bezirk Hollabrunn auf. In den Bezirken Krems und Mistelbach sind Tendenzen für signifikante Korrelationen gegeben. Die Ertragsdaten aller nicht erwähnten Bezirke (Baden, Horn, Wr. Neustadt) korrelieren nicht mit den Herbstniederschlägen.

Bei den **Frühjahrs- bzw. Frühsommerniederschlägen** (=NS in Phase V und G (1.3.-15.7.)) ist der Einfluss auf den Kornertrag nicht gegeben. Sie korrelieren bei beiden Gesamtanalysen nicht mit dem Kornertrag von Winterweichweizen.

Auch in der Einzelauswertung der Bezirke sind keine Korrelationen der Ertragsdaten zu den Frühjahrs- bzw. Frühsommerniederschlägen erkennbar. Eine Ausnahme

---

bildet der Bezirk Krems, wo eine Tendenz für eine Korrelation der Niederschläge in der Phase G (1.5.-15.7.) mit zwei Ertragsdatensätzen gegeben ist.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen dieser Arbeit, bestätigt Salehnia et al. (2018) einen Einfluss der Niederschläge in den Monaten April und Mai auf den Ertrag von Wintergetreide an vier von sechs untersuchten Standorten im Iran. Die Jahresniederschlagsmengen liegen dort aber wesentlich niedriger (137-308 mm) als in den sechs niederösterreichischen Bezirken, was vermutlich ein Grund für den signifikanten Ertragseinfluss ist.

Auch Potopová et al. (2015) bestätigt den Einfluss des Niederschlags auf den Weizenertrag, in der Blüte und Kornfüllungsphase im Frühjahr. Der SPEI (=Standardisierter Niederschlags-Evapotranspirations-Index) korreliert in dieser Zeitspanne positiv mit dem Kornertrag. Allerdings wird auch erwähnt, dass Wintergetreide weniger anfällig für Frühjahrstrockenheiten sei, weil im Vergleich zu Sommergetreide, der Ertrag weniger stark abfalle. Die Annahme, dass Wintergetreide laut Potopová et al. (2015) weniger anfällig gegenüber Frühjahrstrockenheiten sei, stimmt mit den Ergebnissen dieser Arbeit überein, da kein signifikanter Einfluss der Frühjahrs- bzw. Frühsommerniederschläge auf dem Kornertrag von Winterweichweizen gegeben ist. Der Einfluss der Frühjahrs- bzw. Frühsommerniederschläge auf den Kornertrag kann im Gegensatz zu der tschechischen Studie, mit dieser Arbeit nicht bestätigt werden.

Ribeiro et al. (2019) sowie Saei et al. (2018) weisen auf größere Einflüsse der Niederschläge im Frühjahr zur Blüte und Reife, auf den Kornertrag von Winterweichweizen hin, was auch Jolánkai et al. (2016) bestätigt.

Laut Kristensen et al. (2011) wirkt sich ein Niederschlagsanstieg im Frühjahr und Sommer in Dänemark, aufgrund der Erhöhung des Krankheitsdruckes, negativ auf den Kornertrag von Winterweichweizen aus.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Herbstniederschläge in der Gesamtauswertung, sowie in drei der sechs analysierten Einzelbezirke, signifikant oder tendenziell auf den Kornertrag von Winterweichweizen auswirken. Vermutlich spielen diese eine Rolle bei der Keimung des Winterweizens nach dem Anbau im Herbst. Bei den Frühjahrs- bzw. Frühsommerniederschlägen (vegetative und generative Phase; 1.3.-15.7.) gibt es in der Gesamtauswertung keinen Zusammenhang zum Weizenertrag. Einzig im Bezirk Krems ist eine Tendenz für eine Korrelation von zwei Ertragsdatensätzen zu den Niederschlägen in der generativen Wachstumsphase des Winterweichweizens (1.5.-15.7.) erkennbar.

Die Ergebnisse der zahlreichen Arbeiten decken sich nicht eindeutig mit den Ergebnissen dieser Arbeit, vor allem was die Niederschläge im Frühjahr und Frühsommer betrifft. Dies kann daran liegen, dass in Niederösterreich gute Böden mit ausreichender Wasserspeicherkapazität und generell ausreichend Niederschläge über das Jahr, zumindest für die Produktion von Wintergetreide, vorhanden sind. Ein weiterer Grund, warum die Frühjahrsniederschläge keinen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag von Winterweichweizen haben, wäre das im Vergleich zu Sommerungen besser ausgebildete Wurzelsystem. Weiterführende Forschungen im Zusammenhang mit dem Kornertrag von Wintergetreide und den Niederschlägen im Herbst und Frühjahr in Niederösterreich sind jedenfalls sinnvoll.

---

### 5.2.1.3. Einfluss der Jahresniederschlagsmenge eines Erntejahres

Die Forschungsfrage zum Einfluss der Jahresniederschlagsmenge eines Erntejahres lautet:

**Hat die Jahresniederschlagsmenge eines Erntejahres (16.7.-15.7.) einen signifikanten Ertragseinfluss auf den Kornertrag bei Winterweichweizen?**

Diese Frage lässt sich mit einem „Ja“ beantworten, da Korrelationen der Jahresniederschlagsmenge sowohl bei beiden Gesamtauswertungen, als auch bei einigen Einzelauswertungen der Bezirke auftreten.

Werden die Ergebnisse der kumulierten Auswertung aller Bezirke betrachtet, so ergibt sich eine signifikante Korrelation der Jahresniederschlagsmenge auf fast alle verfügbaren Ertragsdaten (Ertragsdaten siehe Kapitel 3), jedoch mit schwächerem Korrelationskoeffizient ( $r$ ). Die Ausnahme bildet der Ertrag der Arbeitskreise auf den 25% schlechteren Standorten, welcher nicht mit der Jahresniederschlagsmenge korreliert. Das könnte daran liegen, dass auch eine höhere Jahresniederschlagsmenge auf Standorten mit einer geringeren Bonität nicht zu der gewünschten Ertragssteigerung führt, da das Wasser nicht ausreichend gespeichert werden kann, oder aber sich andere Wachstumsparameter im Minimum befinden und so einen Ertragszuwachs verhindern.

Bei der Gesamtauswertung mit den Mittelwerten aller Bezirke ist eine signifikante Korrelation zum Ertrag der 25% schlechteren Standorte erkennbar. Des Weiteren sind Tendenzen für Korrelationen zum Ertrag der Statistik Austria und dem Ertrag der Arbeitskreise nach Pflugeinsatz vor der Saat festzustellen.

Betrachtet man die Analysen der Einzelbezirke, so korreliert die Jahresniederschlagsmenge signifikant mit einigen Ertragsdatensätzen aus den Bezirken Hollabrunn, Mistelbach und Krems. Im Bezirk Krems sind auch hochsignifikante Korrelationen ( $p < 0,01$ ) zweier Ertragsdatensätze mit den Jahresniederschlägen erkennbar.

In den Bezirken Baden, Horn und Wiener Neustadt sind keine Korrelationen der Ertragsdaten von Winterweichweizen zur Jahresniederschlagsmenge festzustellen.

Ein Langzeit-Bodenbearbeitungsversuch der Universität für Bodenkultur in Raasdorf in der Nähe von Wien bestätigt den Einfluss der Niederschläge auf den Ertrag von Winterweichweizen, nahezu über das gesamte Erntejahr. Bei diesem Versuch wurde der Einfluss der Niederschläge vom Anbau des Winterweichweizens im Oktober, bis zur Tотреife, Ende Juni, untersucht. Mit steigenden Niederschlägen wuchs auch der Weizenertrag, wobei der Ertragsanstieg in der Variante mit Direktsaat am geringsten ausfiel (Neugschwandtner et al. 2016). Das Schema der Auswertung der Niederschläge im Bodenbearbeitungsversuch ähnelt dem Auswertungsschema in dieser Arbeit. Die Ergebnisse bestätigen den Einfluss der Jahresniederschläge (16.7.-15.7.) auf den Kornertrag von Winterweichweizen.

Der KDBI, ein Trockenheitsindex der die Wasserversorgung der oberen Bodenschicht misst, korrelierte positiv mit der Jahresniederschlagsmenge im Iran. Des Weiteren war der Einfluss der Jahresniederschlagsmenge auf den Kornertrag von Winterweichweizen an vier von sechs Standorten gegeben (Salehnia et al. 2018).

---

Ein Autorenteam generierte Klimamodelle um den zukünftigen Winterweichweizenertrag in Europa vorhersagen zu können. Dazu wurden Weizenertragsdaten von 1981 bis 2010 mit den Wetterdaten aus derselben Zeit in Beziehung gesetzt. Eine um 10% verringerte Jahresniederschlagsmenge in Europa würde den Ertrag um etwa 1 bis 10% senken (Pirttioja et al. 2015). Der Niederschlagseinfluss auf den Weizenertrag ist somit nicht eindeutig für alle Gebiete in Europa gegeben.

Der Einfluss der Jahresniederschlagsmenge auf den Kornertrag von Winterweichweizen ist bei Betrachtung der Gesamtauswertung aller Bezirke dieser Arbeit gegeben, was auch die Erkenntnisse zahlreicher wissenschaftlicher Studien belegen. Die Einzelauswertung zeigt jedoch, dass die Jahresniederschlagsmenge in 50% der analysierten Bezirke keinen direkten Einfluss auf den Kornertrag von Winterweichweizen hat.

### **5.2.2. Einfluss der Hitzetage über 27°C bzw. der mittleren Tagestemperatur in der generativen Phase (1.5.-15.7.)**

Die Forschungsfrage zum Einfluss der Hitzetage lautet:

**Hat die Anzahl der Hitzetage mit über 27°C Maximaltemperatur von 1.3. bis 15.7. eines jeden Erntejahres einen signifikanten Ertragseinfluss?**

Diese Frage lässt sich mit „Ja“ beantworten, da die Anzahl der Hitzetage (>27°C, 1.3.-15.7.) in der Gesamtauswertung, sowohl mit den kumulierten Einzelwerten als auch mit den Mittelwerten der Bezirke, mit allen Ertragsdaten signifikant negativ korreliert. Auch sind bei der Einzelauswertung der Bezirke in jedem Bezirk signifikant negative Korrelationen zu zumindest einem Ertragsdatensatz von Winterweichweizen erkennbar.

Zusätzlich wurde erhoben, ob die mittlere Tagestemperatur in der generativen Wachstumsphase des Winterweichweizens (=Phase G; 1.5-15.7.) mit dem Kornertrag korreliert. Durch ähnliche Ergebnisse wie bei der Auswertung der Hitzetage wurde dies bestätigt (Kapitel 4.2. und 4.3.). Je höher die mittlere Tagestemperatur in der generativen Wachstumsphase ist, desto geringer fällt der Kornertrag von Winterweichweizen aus.

Während Salehnia et al. (2018) auf den negativen Einfluss einer zu hohen maximalen Lufttemperatur während der generativen Phase (Blüte und Kornfüllung) des Wintergetreides (BBCH 60-87) hinweist, hebt Christen (2009) die Wichtigkeit von gemäßigten Temperaturen und ausreichenden Niederschlägen während der Kornfüllungsphase des Getreides hervor. Auch Ribeiro et al. (2019) bestätigt einen Ertragsrückgang bei zu hohen Lufttemperaturen während der Kornfüllungsphase von Winterweichweizen. Er weist auf kleinere Einflüsse einer Dürre- und Hitzeperiode im Herbst und Winter und auf größere Einflüsse einer solchen im Frühjahr zur Blüte und Reife des Getreides hin. Die oben genannten Arbeiten untermauern den Einfluss der Temperatur auf den Kornertrag des Winterweichweizens.

Ein Autorenteam generierte, wie bereits im Kapitel oben erwähnt, unter der Verwendung von Weizenertragsdaten und Wetterdaten von 1981 bis 2010, Klimamodelle für die Zukunft. Diese Klimamodelle wurden als Grundlage zur Berechnung der zukünftigen Ertragsentwicklung in Europa verwendet. Laut den Autoren würde ein Temperaturanstieg von 1°C in Europa bei gleichbleibenden

---

Niederschlägen, die Weizenerträge um durchschnittlich etwa 5 bis 7% senken (Pirttioja et al. 2015). Auch diese Arbeit bestätigt den sinkenden Weizenertrag bei steigenden Lufttemperaturen.

In einem Glashausversuch wurde Winterweichweizen Hitzestress ausgesetzt. Dabei wurden Temperaturen von 35°C für 5 Stunden pro Tag, in unterschiedlich langen Zeitintervallen nach der Weizenblüte gehalten. Der Versuch ergab eine Verkürzung der Kornfüllungsphase um nahezu einen Tag, für jeden Tag an dem die Temperatur auf 35°C angehoben wurde. Außerdem war das Tausendkorngewicht im Vergleich zur Kontrollgruppe (25°C konstant) signifikant geringer (Buck und Nisi 2007). Dieser Versuch bestätigt ebenfalls die Wichtigkeit von gemäßigten Temperaturen und somit den negativen Einfluss von zu hohen Maximaltemperaturen während der Kornfüllungsphase des Winterweichweizens.

Laut Kristensen et al. (2011) sinkt der Kornertrag von Winterweichweizen bei einem Temperaturanstieg von durchschnittlich 1°C während der Kornfüllungsphase um 250 kg/ha, während die Kornfüllungsphase um etwa 5% in ihrer Dauer verkürzt wird. Auch diese Arbeit bestätigt die negative Korrelation der mittleren Tagestemperatur in der Phase G mit dem Kornertrag laut den Auswertungen in Kapitel 4.2. und 4.3..

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit jedem Hitzetag (>27°C, 1.3.-15.7.) der Kornertrag von Winterweichweizen signifikant sinkt. Weiters gibt es einen negativen Zusammenhang zwischen dem Kornertrag und der mittleren Tagestemperatur in der generativen Wachstumsphase des Weizens. Beide Erkenntnisse werden durch die Ergebnisse aus den oben genannten Arbeiten gestützt.

### **5.2.3. Einfluss der Vorfrucht**

Die Forschungsfrage zum Einfluss der Vorfrucht lautet:

**Hat die Vorfrucht, also die Kultur, die vor dem Anbau von Winterweichweizen am Feld steht, einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag?**

Als Vorfrucht wird jene Kultur bezeichnet, die im vergangenen Erntejahr auf dem, im aktuellen Erntejahr mit Weizen bestellten, Feldstück Hauptkultur war.

Der Einfluss der Vorfrucht auf den Kornertrag von Winterweichweizen ist abhängig von den signifikanten Wechselwirkungen (Erntejahr und Standort), gegeben. Wie in Tabelle 18 (Kapitel 4.4.) ersichtlich, sind aber nicht alle Vorfrüchte in ihrer Ertragswirkung auf Winterweichweizen signifikant voneinander unterscheidbar.

Bei der Erhebung der Ertragsdaten für diese Arbeit wurde nicht zwischen konventionell und biologisch wirtschaftenden Betriebsformen unterschieden. In biologisch wirtschaftenden Betrieben sind die Kornerträge von Winterweichweizen aufgrund von Einschränkungen beim Betriebsmitteleinsatz, den konventionell wirtschaftenden Betrieben meist etwas unterlegen. Luzerne ist häufig ein Fruchtfolgeglied von biologisch wirtschaftenden Betrieben. Das kann ein Grund sein warum die Luzerne als Vorfrucht am schlechtesten abschneidet (vgl. Abb. 26, Tabelle 18)

Die signifikante Wechselwirkung des Standortes mit der Vorfrucht, die in dieser Arbeit aufgezeigt wird, wird in der Literatur mehrfach bestätigt. Nach Christen (2009) ist die Vorfruchtwirkung auf Standorten mit höherer Bonität geringer und kann dort

---

durch eine optimale Niederschlagsverteilung und etwaige höhere Stickstoffgaben weiter minimiert werden. Auch Kaul (2004) bestätigt in seinem Versuch, dass eine mineralische Stickstoffdüngung Vorfruchteffekte ausgleichen kann.

Zahlreiche Arbeiten belegen die Wirkung unterschiedlicher Vorfrüchte auf den Kornertrag von Winterweichweizen. Ein Versuch von Asseng et al. (1998) kam zum Ergebnis, dass Stoppelweizen (=Weizen nach Weizen) mit durchschnittlich 1,6 t/ha deutlich schlechtere Erträge hervorbringt als beispielsweise Weizen nach Lupine. Hier wurden im Mittel 3,7 t/ha erzielt. Auch Christen (2009) kam zu dem Schluss, dass Weizen nach Raps bei langjähriger Betrachtung einen Ertragsvorteil von zumindest zehn Prozent gegenüber Stoppelweizen aufweist. Die Ertragsdepression die bei Weizen nach Weizen eintritt, hängt nach Weißbach und Isensee (2005) auch mit der Übertragung von Krankheiten durch Ernterückstände und deren ungenaue Einarbeitung zusammen. Auch Weber (2013) bestätigte mit seinem Versuch an der Universität für Bodenkultur, dass Weizen nach Zuckerrübe und Stoppelweizen signifikant unterschiedliche Kornerträge hervorbringen. Die Arbeit von Neugschwandtner et al. (2016) zeigt ebenfalls signifikant unterschiedliche Erträge nach verschiedenen Vorfrüchten auf. Im Jahr 1998 war der Weizenertrag nach Mais signifikant höher als nach Zuckerrübe, im Jahr 2000 war der Weizen nach Raps dem nach Sonnenblumen ertraglich überlegen. Winterweizen nach Sojabohnen brachte im Jahr 2002 einen signifikant höheren Kornertrag als nach Zuckerrübe (siehe auch Kapitel 2.6).

Der Versuch von Neugschwandtner et al. (2016) bestätigt ebenfalls, die Wechselwirkung der Vorfrucht mit dem Erntejahr. Da die Niederschläge in der Vegetationszeit des Winterweizens von Jahr zu Jahr schwanken, sind auch die Einflüsse der Vorfrüchte auf den Kornertrag von Jahr zu Jahr, bei sonst gleichbleibenden Bedingungen (Boden, Düngung, Pflanzenschutz, etc.) unterschiedlich stark ausgeprägt. Dies bestätigt auch die stark negativ ausgeprägte Vorfruchtwirkung beim Versuch von Weber (2013) im Jahr 2012, wo sich der Ertrag nach der Vorfrucht Zuckerrübe im Vergleich zum Stoppelweizen beinahe halbierte (1,6 t/ha zu 3,0 t/ha).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Einfluss der Vorfrucht auf den Kornertrag von Winterweichweizen, unter Berücksichtigung des Erntejahres und des Standortes gegeben ist, aber durch diese Wechselwirkungen Schwankungen unterliegt.

#### **5.2.4. Einfluss des Pflugeinsatzes vor der Saat**

Die Forschungsfrage zum Einfluss des Pflugeinsatzes vor der Saat von Winterweichweizen lautet:

**Hat der Pflugeinsatz vor der Saat des Winterweichweizens, als Maßnahme die die Wasserverdunstung beschleunigt, einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag?**

Diese Frage lässt sich ebenfalls mit einem „Ja“ beantworten. Allerdings ist der Einfluss des Pflugeinsatzes, wie auch die Vorfruchtwirkung, von den Wechselwirkungen Standort und Erntejahr abhängig. In fast allen Bezirken führte der Pflugeinsatz vor der Saat zu einem Minderertrag beim Winterweichweizen, der sich im Mittel aller Standorte und Erntejahre auf etwa 500 kg/ha beläuft.

---

Einzig der Ertrag nach Pflugeinsatz vor der Saat im Bezirk Mistelbach folgte nicht diesem Schema. Hier konnte im Auswertungszeitraum 2006-2019 ein Mehrertrag von durchschnittlich etwa 280 kg pro ha durch den Pflugeinsatz erzielt werden.

Zusätzlich konnte eine signifikant negative Korrelation der Winterniederschläge im Bezirk Krems mit der Differenz im Kornertrag von Winterweichweizen zwischen Pflugeinsatz und Pflugverzicht vor der Saat festgestellt werden. Jedoch muss hier angemerkt werden, dass die Winterniederschläge generell nicht mit den Ertragsdaten aus dem Bezirk Krems korrelieren (siehe Kapitel 4.2.4.).

In dieser Arbeit wird aus praktischen Gründen nur zwischen zwei Varianten der Bodenbearbeitung, die im Beobachtungszeitraum (hier: 2010-2019) vor der Aussaat von Winterweichweizen stattgefunden haben, unterschieden. Eine Variante ist der Einsatz des Pfluges vor der Saat. Alle anderen pfluglosen Bodenbearbeitungsmethoden und auch eine etwaige Direktsaat wurden in einer zweiten Variante zusammengefasst und somit als „gleichwertig“ betrachtet, da auch in der Datengrundlage für die Analysen nicht weiter unterschieden wurde.

Der massive Eingriff des Pfluges in die Bodenstruktur ist den Landwirtinnen und Landwirten bekannt und mitunter auch gewollt, z.B. wenn der Boden gelockert werden soll. Mit dem Pflug wird der Boden in der Regel auf mindestens 20 bis maximal 35 cm Tiefe bearbeitet und dabei gewendet. Der Boden wird dadurch auf dieser Tiefe durchschnitten, was zu einer Unterbrechung des kapillaren Wasseranstieges führen kann. Unbestritten ist jedoch, dass der Pflugeinsatz die Wasserverdunstung aus der bearbeiteten Bodenschicht beschleunigt. Mehrjähriges Pflügen kann außerdem zu einer Pflugsohlenbildung führen (siehe Kapitel 2.5) (Lima et al. 2021).

Die Ergebnisse des Bezirkes Mistelbach, wonach mit Pflugsaat geringfügig höhere Erträge möglich sind, werden in der Arbeit von Pringas und Koch (2004) bestätigt. Es wurde ein Langzeit-Großflächenversuch an zehn Standorten, in Süd- und Ostdeutschland, im Zeitraum von 1994 bis 2002, ausgewertet. Im Mittel lag der Kornertrag von Winterweichweizen bei Pflugsaat bei 7,7 t/ha während die konservierende Bodenbearbeitung einen Weizenertrag von 7,6 t/ha hervorbrachte, der sich jedoch nur tendenziell von der Pflugvariante unterschied. Die Direktsaatvariante erreichte im selben Zeitraum einen, zu beiden anderen Varianten signifikant unterschiedlichen Ertrag von 7,4 t/ha. Es wurde jedoch angemerkt, dass bei ökonomischer Betrachtung, die Direktsaat aufgrund der Kraftstoffersparnis zumindest gleichwertig abschneidet. Auch sei der Anbau von Winterweizen mit Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung, im Vergleich zur konventionellen Methode mittels Pflug, als rentabler einzustufen (Pringas und Koch 2004).

Xue et al. (2019) bestätigt mit seiner Arbeit den höheren Kornertrag von Winterweichweizen bei Pflugeinsatz vor der Saat. Es wurde ein mehrjähriger Versuch auf einem Löss-Plateau in China durchgeführt. Im Vergleich zur no-tillage-Variante war der Kornertrag beim Pflugeinsatz um 31% höher. Die Autoren machen die stark zur Verdichtung neigenden Lössböden dafür verantwortlich, dass der Ertrag im Versuch bei abnehmender Bodenbearbeitungsintensität sinkt. Dies könnte auch eine Erklärung für die geringfügige Ertragssteigerung beim Pflugeinsatz vor der Saat im Bezirk Mistelbach sein, da Lössböden in diesem Gebiet sehr häufig anzutreffen sind.

Reckleben (2007), die Versuche an zwei deutschen Standorten durchgeführt hat, berichtet hingegen von zumindest gleichwertigen Erträgen bei Anwendung einer

---

konservierenden Bodenbearbeitung mittels Grubber, anstatt einer konventionellen Bodenbearbeitung mittels Pflug vor der Saat.

Weber (2013), der einen Langzeit-Bodenbearbeitungsversuch der Universität für Bodenkultur im Jahr 2012 auswertete, konnte keine signifikanten Unterschiede zwischen der Pflugsaat und den vier weiteren Bodenbearbeitungsvarianten (inklusive Direktsaat) feststellen. Neugschwandtner et al (2016), der den Langzeit-Bodenbearbeitungsversuch von 1998 bis 2012 auswertete konnte eine signifikante Wechselwirkung zwischen dem Erntejahr und der Bodenbearbeitung feststellen, was auch die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen. Der Ertrag von Winterweichweizen nach Pflugeinsatz vor der Saat war in Jahren mit hohen Niederschlagsmengen signifikant höher im Vergleich zur Direktsaat, während bei geringen Niederschlagsmengen die Direktsaat dem Pflugeinsatz überlegen war. Die Arbeiten von Weber (2013) und Neugschwandtner et al. (2016) decken sich dahingehend, dass Ertragsunterschiede zwischen den einzelnen Bodenbearbeitungsvarianten nicht in jedem Erntejahr festgestellt werden konnten.

Pelegriin et al. (1990) bestätigt, dass in Trockenjahren die Direktsaat der Pflugsaat überlegen ist, was die unproduktive Wasserverdunstung (Evaporation) betrifft, während in Jahren mit ausreichend Niederschlägen keine signifikanten Unterschiede zwischen Pflugsaat und Direktsaat erkennbar seien.

Zum Thema Bodenbearbeitung vor der Saat liegen zahlreiche Arbeiten vor, die Teils zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, was vermutlich an der großen Zahl von Wechselwirkungen (hier: Standort und Erntejahr) liegt. In zukünftigen Studien zu diesem Thema sollte deshalb versucht werden, durch gesteigertes Verständnis für die zu Grunde liegenden Prozesse, die Wechselwirkungen möglichst klein zu halten. In dieser Arbeit, war der Einfluss des Pflugeinsatzes vor der Saat auf den Kornertrag von Winterweichweizen unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen signifikant.

---

### 5.3. Schlussfolgerungen

Diese Arbeit wurde verfasst um den **Einfluss von Winterniederschlägen** auf den Kornertrag von Winterweichweizen zu beschreiben. Die Ergebnisse zeigen, dass dieser Einfluss **nicht gegeben** ist, was auch von weiteren wissenschaftlichen Arbeiten bestätigt wird. Das Dürreversicherungsmodell der österreichischen Hagelversicherung, welches die Winterniederschläge bis zum 28. bzw. 29.2. unberücksichtigt lässt, erweist sich also hiermit als praxistauglich für die niederösterreichische Landwirtschaft.

Abschließend kann gesagt werden, dass auch die Frühjahrs- bzw. Frühsommerniederschläge den Kornertrag von Winterweizen in Niederösterreich laut den Ergebnissen dieser Arbeit nicht beeinflussen. Gründe dafür könnten die für die Produktion von Winterweizen ohnehin ausreichenden Niederschläge, das gute Wasserspeichungsvermögen der Böden in Niederösterreich und das besser ausgebildete Wurzelsystem von Wintergetreide im Vergleich zu Sommergetreide sein. Die Herbst- und die Niederschläge des gesamten Erntejahres, beeinflussen den Kornertrag hingegen. Die Herbstniederschläge spielen bei der Keimung des Winterweichweizens eine wichtige Rolle und korrelieren vermutlich deshalb mit dem Ertrag. Als wichtigster negativer Ertragseinfluss können die Anzahl der Hitzetage über 27°C im Frühjahr bzw. Frühsommer sowie hohe Tagesdurchschnittstemperaturen in der generativen Wachstumsphase des Weizens gesehen werden. Mit Vorbehalt aufgrund vorhandener Wechselwirkungen haben auch die Vorfrucht und der Pflugeinsatz vor der Saat, der im Durchschnitt aller Erntejahre und Standorte einen Minderertrag von rund 500 kg/ha zur Folge hatte, einen Ertragseinfluss auf Winterweichweizen.

Aus den Erkenntnissen dieser Arbeit lässt sich schlussfolgern, dass Weizensorten mit einer früheren Reife, die die Kornfüllungsphase früher im Erntejahr beginnen, dem zunehmenden Hitzestress im Frühjahr besser standhalten und somit stabilere Erträge liefern könnten. Des Weiteren sollte ein Pflugeinsatz vor der Saat des Winterweizens überdacht werden, da dieser, auch laut der Literatur, keine ökonomischen Vorteile bringt. Zu guter Letzt kann gesagt werden, dass, wie bereits eingangs erwähnt, das Dürreversicherungsmodell der österreichischen Hagelversicherung in seiner bisherigen Form bestehen bleiben kann, da die Winterniederschläge vor dem 1.3. keinen Ertragseinfluss auf Winterweichweizen in Niederösterreich haben.

---

## 6. Zusammenfassung

Die Landwirtschaft in Österreich wird immer stärker mit den Auswirkungen des Klimawandels, wie Hitze und Trockenheit, konfrontiert. Deshalb ist es wichtig die genauen Einflussfaktoren, die zur Erreichung eines bestimmten Getreideertrags führen, zu kennen. Das Ziel dieser Arbeit war im gemeinsamen Interesse mit der österreichischen Hagelversicherung den Einfluss von Winterniederschlägen auf Winterweichweizen zu beschreiben.

Die österreichische Hagelversicherung bietet Dürreversicherungsmodelle für die Landwirtschaft an, in denen die Niederschläge ab dem 1.3. eines jeden Kalenderjahres in die Berechnung der Entschädigungszahlungen miteinfließen und wollte wissen ob die Niederschläge vor dem 1.3. (=Winterniederschläge) ertragswirksam für Winterweichweizen sind.

Die Daten für die Auswertungen sind Ertrags- und Wetterdaten aus den niederösterreichischen Bezirken Baden, Hollabrunn, Horn, Krems, Mistelbach und Wiener Neustadt. Die Ertragsdaten wurden von der Landwirtschaftskammer Niederösterreich und von der Statistik Austria zur Verfügung gestellt. Die Wetterdaten stellte die ZAMG zur Verfügung. Die Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm „SAS“.

Da die zur Verfügung gestellten Daten es zuließen, wurde entschieden auch andere Faktoren als die Winterniederschläge zu untersuchen. Es folgen die Forschungsfragen mit den dazugehörigen Antworten:

- Haben Winterniederschläge einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag von Winterweichweizen? Mit Winterniederschlägen sind die Niederschläge in der Zeit von 16. November bis 28./29. Februar gemeint.

Die Winterniederschläge haben laut den Ergebnissen dieser Arbeit keinen Einfluss auf den Kornertrag von Winterweichweizen. Zum Einfluss von Winterniederschlägen auf Winterweichweizen ist wenig wissenschaftliche Literatur vorhanden. In den meisten der vorhandenen Werke werden die Winterniederschläge als nicht ertragswirksam beschrieben.

- Haben die Niederschläge im Herbst oder im Frühjahr (vegetative und generative Wachstumsphase) einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag?

Die Niederschläge im Herbst (16.7.-15.11.) beeinflussen den Kornertrag von Winterweichweizen positiv. Bei den Frühjahrs- bzw. Frühsommerniederschlägen (1.3.-15.7.) konnte, entgegen den Erkenntnissen in der vorhandenen wissenschaftlichen Literatur, kein Einfluss auf diesen nachgewiesen werden.

- Hat die Jahresniederschlagsmenge eines Erntejahres (16.7.-15.7.) einen signifikanten Ertragseinfluss auf den Kornertrag bei Winterweichweizen?

Die Höhe der Jahresniederschlagsmenge beeinflusst den Kornertrag von Winterweichweizen laut den Ergebnissen der Gesamtauswertung positiv, was auch durch einige wissenschaftliche Arbeiten bestätigt wird. Bei der Einzelauswertung zeigte sich in drei der sechs Bezirke kein Einfluss der Jahresniederschlagsmenge auf den Kornertrag.

- 
- Hat die Anzahl der Hitzetage mit über 27°C Maximaltemperatur von 1.3. bis 15.7. eines jeden Erntejahres einen signifikanten Ertrageinfluss?

Die Anzahl der Hitzetage über 27°C hat einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag von Winterweichweizen. Mit jedem zusätzlichen Hitzetag sinkt der Kornertrag nachweislich. Zusätzlich wurde der Einfluss der mittleren Tagestemperatur in der generativen Wachstumsphase des Weizens (1.5.-15.7.) ausgewertet. Dieser Einfluss wurde bestätigt. Je höher die mittlere Tagestemperatur in der generativen Phase ist, desto niedriger ist der Kornertrag von Winterweichweizen. Alle wissenschaftlichen Quellen zu diesem Thema weisen auf einen großen Einfluss der Temperatur auf den Kornertrag, besonders in der Kornfüllungsphase von Winterweichweizen, hin.

- Hat der Pflugeinsatz vor der Saat des Winterweichweizens, als Maßnahme die die Wasserverdunstung beschleunigt, einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag?

Der Pflugeinsatz vor der Saat wirkte sich in fünf von sechs Bezirken negativ auf den Kornertrag aus und verursachte über alle Bezirke einen Minderertrag von etwa 500 kg/ha. Die Ausnahme bildete hier der Bezirk Mistelbach, wo die negative Auswirkung nicht nachgewiesen konnte. Es muss allerdings erwähnt werden, dass bei der Auswertung des Pflugeinsatzes signifikante Wechselwirkungen (Standort und Erntejahr) auftraten. Viele wissenschaftliche Arbeiten zeigen ähnliche Ergebnisse. Ein Pflugverzicht erscheint zumindest immer ökonomisch sinnvoll, da die Erträge bei einem Verzicht maximal geringfügig sinken würden.

- Hat die Vorfrucht, also die Kultur, die vor dem Anbau von Winterweichweizen am Feld steht, einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag?

Die Auswertungen zeigen einen signifikanten Einfluss der Vorfrucht auf den Kornertrag von Winterweichweizen, allerdings wurden auch hier die signifikanten Wechselwirkungen Standort und Erntejahr nachgewiesen. In der wissenschaftlichen Literatur wird häufig erwähnt, dass die Vorfruchtwirkung von einem Erntejahr zum nächsten Schwankungen unterliegt bzw. auch durch mineralische Düngung beeinflusst werden kann.

Abschließend möchte ich die Erkenntnisse und Schlussfolgerungen in drei Absätzen zusammenfassen:

Im Gegensatz zur bestehenden Literatur wirken sich die Frühjahrs- bzw. Frühsommerniederschläge in dieser Arbeit nicht auf den Kornertrag von Winterweichweizen aus. Jedoch wird die Erkenntnis aus den verfügbaren Forschungsarbeiten, dass Winterniederschläge keine Auswirkung auf den Kornertrag von Winterweichweizen haben, durch die Auswertungen dieser Arbeit bestätigt. Die Herbstniederschläge sowie die Niederschläge des gesamten Erntejahres beeinflussen den Kornertrag positiv, was auch die gängige Meinung der wissenschaftlichen Literatur widerspiegelt. Bezugnehmend auf den fehlenden Einfluss der Winterniederschläge kann das Dürreversicherungsmodell der österreichischen Hagelversicherung in seiner derzeitigen Form bestehen bleiben.

Die Anzahl der Hitzetage über 27°C im Frühjahr hat, sowie auch hohe Tagesdurchschnittstemperaturen in der generativen Wachstumsphase des Weizens, einen negativen Einfluss auf den Kornertrag von Winterweichweizen, wie auch bereits vorhandene Studien zeigen. Frühreifere Weizensorten, die auch die

---

Kornfüllungsphase früher, bei noch kühlerer Witterung beginnen, könnten hier Vorteile bringen.

Mit Vorbehalt der Wechselwirkungen mit Standort und Erntejahr, die sowohl bei der Auswertung des Pflugeinsatzes vor der Saat, als auch bei der Auswertung der Vorfruchtwirkung auftraten, kann gesagt werden, dass sowohl der Pflugeinsatz vor der Saat, als auch die Vorfrucht den Weizenertrag beeinflussen (Details siehe oben). In einem Großteil der verfügbaren Literatur wird der Pflugeinsatz vor der Saat von Winterweichweizen für nicht ökonomisch sinnvoll erachtet, was auch durch die Ergebnisse dieser Arbeit weitestgehend bestätigt wird.

---

## Literaturliste

- Asseng, S.; Fillery, I. R. P.; Gregory, P. J. (1998): Wheat response to alternative crops on a duplex soil. In: *Aust. J. Exp. Agric.* 38 (5), S. 481. DOI: 10.1071/EA97152.
- Berger, L.; Gruber, P.; Huber, E.; Panzenböck, J.; Schnabel, A. (2009): ARGE Pflanzenbau 2. 5. Aufl. Graz: Leopold Stocker Verlag.
- Brockhoff, Heinrich (2015): Entwicklungsstadien im Getreide.
- Buck, Hilda T.; Nisi, Jorge E. (Hg.) (2007): Wheat production in stressed environments. Proceedings of the 7th International Wheat Conference, 27 November - 2 December 2005, Mar del Plata, Argentina. Dordrecht: Springer (Developments in plant breeding, 12).
- Bundesministerium für Landwirtschaft; Regionen und Tourismus (2021): Grüner Bericht 2021.
- Christen, Olaf (Hg.) (2009): Winterweizen. Das Handbuch für Profis. Frankfurt am Main: DLG-Verl.
- Ciais, Ph; Reichstein, M.; Viovy, N.; Granier, A.; Ogee, J.; Allard, V. et al. (2005): Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. In: *Nature* 437 (7058), S. 529–533. DOI: 10.1038/nature03972.
- Diepenbrock, Wulf; Ellmer, Frank; Léon, Jens (2016): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. 4., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer (UTB Agrarwissenschaften, 2629).
- FAO (2021): World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021: FAO.
- Frost, Irasianty (2018): Einfache lineare Regression. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- García-León, David; Contreras, Sergio; Hunink, Johannes (2019): Comparison of meteorological and satellite-based drought indices as yield predictors of Spanish cereals. In: *Agricultural Water Management* 213, S. 388–396. DOI: 10.1016/j.agwat.2018.10.030.
- Jolánkai, M.; Tarnawa, Á.; Horváth, C.; Nyárai, F. H.; Kassai, K. (2016): Impact of climatic factors on yield quantity and quality of grain crops. In: *IDŐJÁRÁS Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* (1), S. 73–84. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/300031767\\_Impact\\_of\\_climaticfactors\\_on\\_yield\\_quantity\\_and\\_quality\\_of\\_grain\\_crops](https://www.researchgate.net/publication/300031767_Impact_of_climaticfactors_on_yield_quantity_and_quality_of_grain_crops).
- Juhász, Csaba; Gálya, Bernadett; Kovács, Elza; Nagy, Attila; Tamás, János; Huzsvai, László (2020): Seasonal predictability of weather and crop yield in regions of Central European continental climate. In: *Computers and Electronics in Agriculture* 173, S. 105400. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105400.
- Kaul, H-P (2004): Pre-crop effects of grain legumes and linseed on soil mineral N and productivity of subsequent winter rape and winter wheat crops. In: *Die Bodenkultur* 55 (3), S. 95–102.

- 
- Kolář, Petr; Trnka, Miroslav; Brázdil, Rudolf; Hlavinka, Petr (2014): Influence of climatic factors on the low yields of spring barley and winter wheat in Southern Moravia (Czech Republic) during the 1961–2007 period. In: *Theor Appl Climatol* 117 (3-4), S. 707–721. DOI: 10.1007/s00704-013-1037-3.
- Kraljević, Drago; Šumanovac, Luka; Heffer, Goran; Horvat, Zvonko (2007): Effect of precrop on winter wheat yield. In: *Cereal Research Communications* 35 (2), S. 665–668. DOI: 10.1556/CRC.35.2007.2.125.
- Kristensen, K.; Schelde, K.; Olesen, J. E. (2011): Winter wheat yield response to climate variability in Denmark. In: *J. Agric. Sci.* 149 (1), S. 33–47. DOI: 10.1017/S0021859610000675.
- Land schafft Leben (2022): Getreideanbau weltweit. Online verfügbar unter <https://www.landschafftleben.at/lebensmittel/mehl/infografiken/infografiken-2022/Infografik%20Mehl%20-%20Getreideanbau%20weltweit%20%28c%29%20Land%20schafft%20Leben%2022.png>, zuletzt geprüft am 16.02.2022.
- Lima, Renato P. de; Rolim, Mário M.; Da Dantas, Daniel; Silva, Anderson R.; Mendonça, Eduardo A. S. (2021): Compressive properties and least limiting water range of plough layer and plough pan in sugarcane fields. In: *Soil Use Manage* 37 (3), S. 533–544. DOI: 10.1111/sum.12601.
- Miedaner, Thomas (2014): Kulturpflanzen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Nagl, Christoph (2022): BBK Baden, 09.06.2022. E-Mail an Philipp Grabler. E-Mail.
- Nagl, Hubert (2002a): Die Großlandschaften Niederösterreichs und ihre Auswirkung auf Böden und Vegetation. Online verfügbar unter <https://permalink.obvsg.at/bok/AC05579356>.
- Nagl, Hubert (2002b): Die Klimagebiete Niederösterreichs – Grundlagen für Wasserhaushalt und Nutzung. Online verfügbar unter <https://permalink.obvsg.at/bok/AC05579357>.
- Neugschwandtner, R. W.; Kaul, H-P; Liebhard, P.; Wagentristl, H. (2016): Winter wheat yields in a long-term tillage experiment under Pannonian climate conditions. In: *Plant Soil Environ.* 61 (No. 4), S. 145–150. DOI: 10.17221/820/2014-PSE.
- Pelegriñ, F.; Moreno, F.; Martín-Aranda, J.; Camps, M. (1990): The influence of tillage methods on soil physical properties and water balance for a typical crop rotation in SW Spain. In: *Soil and Tillage Research* 16 (4), S. 345–358. DOI: 10.1016/0167-1987(90)90070-T.
- Pirttioja, N.; Carter, T. R.; Fronzek, S.; Bindi, M.; Hoffmann, H.; Palosuo, T. et al. (2015): Temperature and precipitation effects on wheat yield across a European transect: a crop model ensemble analysis using impact response surfaces. In: *Clim. Res.* 65, S. 87–105. DOI: 10.3354/cr01322.
- Potopová, Vera; Štěpánek, Petr; Možný, Martin; Türkott, Luboš; Soukup, Josef (2015): Performance of the standardised precipitation evapotranspiration index at various lags for agricultural drought risk assessment in the Czech Republic. In: *Agricultural and Forest Meteorology* 202, S. 26–38. DOI: 10.1016/j.agrformet.2014.11.022.

- 
- Pringas, C.; Koch, H.-J. (2004): Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf Ertrag und Qualität von Winterweizen nach unterschiedlichen Vorfrüchten – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen. In: *Pflanzenbauwissenschaften* 8 (1), S. 24–33. Online verfügbar unter [https://www.openagrar.de/receive/openagrar\\_mods\\_00048149](https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00048149).
- Reckleben, Birte (2007): Mehrjährige Erfahrungen mit konservierender Bodenbearbeitung und Bestellung. Zugl.: Berlin, Humboldt-Univ., Diss., 2007. 1. Aufl. Rendsburg: Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (Forschungsbericht Landtechnik, 1).
- Ribeiro, Andreia F. S.; Russo, Ana; Gouveia, Célia M.; Páscoa, Patrícia (2019): Modelling drought-related yield losses in Iberia using remote sensing and multiscalar indices. In: *Theor Appl Climatol* 136 (1-2), S. 203–220. DOI: 10.1007/s00704-018-2478-5.
- Saei, M.; Mohammadi, H.; Ziaee, S.; Barkhordardi, S. (2018): ECONOMIC EFFECT OF CLIMATE ALTERATION ON GRAIN PRODUCTION IN IRAN. In: *Appl. Ecol. Env. Res.* 16 (5), S. 6691–6707. DOI: 10.15666/aeer/1605\_66916707.
- Salehnia, Nasrin; Zare, Hossein; Kolsoumi, Sohrab; Bannayan, Mohammad (2018): Predictive value of Keetch-Byram Drought Index for cereal yields in a semi-arid environment. In: *Theor Appl Climatol* 134 (3-4), S. 1005–1014. DOI: 10.1007/s00704-017-2315-2.
- Satorre, Emilio H.; Slafer, Gustavo A. (Hg.) (1999): Wheat. Ecology and physiology of yield determination. New York: Food Products Press. Online verfügbar unter <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0810/98049465-d.html>.
- Schmudermayer, Maria (2021): Bezirksspiegel Krems 2021. Krems.
- Sieling, K.; Ubben, K.; Christen, O. (2007): Effects of preceding crop, sowing date, N fertilization and fluquinconazole seed treatment on wheat growth, grain yield and take-all / Einfluss von Vorfrucht, Aussattermin, N-Düngung und Saatgutbehandlung mit Fluquinconazol auf die Entwicklung und den Kornertrag von Weizen sowie den Befall mit Schwarzbeinigkeit. In: *Journal of plant diseases and protection (2006)* 114 (EISSN: 1861-3837), S. 220.
- Sprung, Günther (2021): Bezirksspiegel Horn 2021 2021.
- Stangl, Carina (2020): Daten und Fakten Wr. Neustadt 2019. Online verfügbar unter <https://noe.lko.at/kammerbezirk-wr-neustadt-im-%C3%BCberblick+2400+2617939>, zuletzt geprüft am 03.02.2022.
- Uhl, Andrea (2020): Kammerspiegel 2020 Mistelbach. Online verfügbar unter <https://noe.lko.at/bezirke-im-%C3%BCberblick+2400+2595286>, zuletzt geprüft am 03.02.2022.
- Weber, Markus (2013): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf Pflanzenwachstum, Ertrag und Qualität sowie auf ausgewählte bodenphysikalische Kennzahlen bei Winterweizen (*Triticum aestivum* L.). Masterarbeit. Universität für Bodenkultur, Wien.
- Wegener, Hans-Richard (2000): Der einfluss Klimatischer Faktoren auf die Ertragsbildung im ISDV-Standort vergleich Gruppenbühen-Rauischholzhausen-Puch. In: *Archives of Agronomy and Soil Science* 45 (5), S. 485–503. DOI: 10.1080/03650340009366143.

---

Weißbach, M.; Isensee, E. (2005): Leistungsbedarf und Effekte von Stoppelbearbeitungsgeräten.

Widl, Maria (2019): Bezirksspiegel Hollabrunn 2019 2019. Online verfügbar unter <https://noe.lko.at/bezirke-im-%C3%BCberblick+2400+2595293>, zuletzt geprüft am 03.02.2022.

Wiik, Lars; Ewaldz, Torbjörn (2009): Impact of temperature and precipitation on yield and plant diseases of winter wheat in southern Sweden 1983–2007. In: *Crop Protection* 28 (11), S. 952–962. DOI: 10.1016/j.cropro.2009.05.002.

Xue, Lingzhu; Khan, Shahbaz; Sun, Min; Anwar, Sumera; Ren, Aixia; Gao, Zhiqiang et al. (2019): Effects of tillage practices on water consumption and grain yield of dryland winter wheat under different precipitation distribution in the loess plateau of China. In: *Soil and Tillage Research* 191, S. 66–74. DOI: 10.1016/j.still.2019.03.014.

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (Hg.) (2022): Wetterstationen — ZAMG. Online verfügbar unter <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/messnetze/wetterstationen>, zuletzt aktualisiert am 25.01.2022, zuletzt geprüft am 25.01.2022.

---

## Abkürzungsverzeichnis

ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
ha	Flächenmaß: Hektar
kg	Kilogramm
t / to.	Tonne (1000 kg)
dt	Dezitonne (100 kg)
mm	Millimeter (als Niederschlagsmaß Liter pro Quadratmeter)
NS	Niederschlag
Temp.	Temperatur
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
°C	Grad Celsius
h	Stunde
%	Prozent
d.h.	das heißt
bzw.	beziehungsweise
v.	von
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel
lw.	landwirtschaftliche(r) ...
mio/MIO	millionen...
BFI	Blattflächenindex (Verhältnis der Blattfläche zur bedeckten Bodenfläche einer Pflanze)
KDBI	Keech-Byram Drought Index (=ein Trockenheitsindex)
SPI	Standardized Precipitation Index (Standardisierter Niederschlagsindex)
SPEI	Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (Standardisierter Niederschlags- und Evapotranspirationsindex)
VCI	Vegetation Condition Index (Vegetationszustandsindex)
TCI	Temperature Condition Index (Temperaturzustandsindex)
VHI	Vegetation Health Index (Mittelwert von VCI und TCI)
N	Stickstoff
P	Phosphor
K	Kalium

---

## Tabellen- bzw. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abstammung und Verwandtschaft der wichtigsten Weizenformen (Miedaner 2014).....	3
Abbildung 2: "Fruchtbarer Halbmond" in Vorderasien (Miedaner 2014).....	4
Abbildung 3: Getreideanbau weltweit 2020/2021 (Land schafft Leben 2022) .....	4
Abbildung 4: Weltweite Erzeugung von Agrarprodukten in Milliarden Tonnen (FAO 2021).....	5
Abbildung 5: Entwicklungsstadien des Getreides (Brockerhoff 2015) .....	6
Abbildung 6: Kornertrag von Winterweichweizen unter verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen in China DP=tiefes Pflügen (25-30 cm), SS=Tiefenlockerung (40 cm), NT=No tillage (keine Bearbeitung) (Xue et al. 2019).....	8
Abbildung 7: Einfluss des Niederschlags (Okt.-Juni) auf den Ertrag von Winterweichweizen unter verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen (MP=konventionell, NT=Direktsaat, CTd=konservierend tief, CTs=konservierend seicht) (Neugschwandtner et al. 2016).....	14
Abbildung 8: Korrelation des VHI (Vegetationsgesundheitsindex) mit dem Ertrag von Winterweichweizen und Wintergerste auf dem südlicheren Teil der iberischen Halbinsel von 1986 bis 2012 (Spanien/Portugal) (Ribeiro et al. 2019) .....	16
Abbildung 9 Meteorologisches Messnetz in Niederösterreich (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2022) .....	21
Abbildung 10 Die Klimagebiete Niederösterreichs (Nagl 2002b).....	22
Abbildung 12: Klimadiagramm Baden .....	23
Abbildung 11 Bezirk Baden ( <a href="https://www.noel.gv.at/noe/index.html">https://www.noel.gv.at/noe/index.html</a> ).....	23
Abbildung 13 Bezirk Hollabrunn ( <a href="https://www.noel.gv.at/noe/index.html">https://www.noel.gv.at/noe/index.html</a> ).....	24
Abbildung 14 Klimadiagramm Hollabrunn .....	24
Abbildung 15 Bezirk Horn ( <a href="https://www.noel.gv.at/noe/index.html">https://www.noel.gv.at/noe/index.html</a> ) .....	25
Abbildung 16 Klimadiagramm Horn.....	25
Abbildung 17 Bezirk Krems-Land ( <a href="https://www.noel.gv.at/noe/index.html">https://www.noel.gv.at/noe/index.html</a> ) .....	26
Abbildung 18 Klimadiagramm Krems .....	26
Abbildung 19 Bezirk Mistelbach ( <a href="https://www.noel.gv.at/noe/index.html">https://www.noel.gv.at/noe/index.html</a> ) .....	27
Abbildung 20 Klimadiagramm Mistelbach .....	27
Abbildung 21 Bezirk Wiener Neustadt ( <a href="https://www.noel.gv.at/noe/index.html">https://www.noel.gv.at/noe/index.html</a> ) .....	28
Abbildung 22 Klimadiagramm Wiener Neustadt .....	28
Abbildung 23: mittlerer Kornertrag der Arbeitskreisdaten (2006-2019) nach Standorten unterteilt.....	37
Abbildung 24: mittlerer Kornertrag der Arbeitskreisdaten aller Standorte nach Erntejahren unterteilt (2006-2019) .....	38
Abbildung 25: Häufigkeit der Vorfrüchte von 2006-2019 über alle Standorte.....	52

---

Abbildung 26: Erträge der häufigsten Vorfrüchte (n>99) über alle Standorte und Erntejahre.....	52
Abbildung 27: Kornerträge/ha nach verschiedenen gruppierten Vorfrüchte unabhängig ihrer Häufigkeit .....	53
Abbildung 28: mittlerer Kornertrag der einzelnen Standorte mit bzw. ohne Pflugeinsatz vor der Saat im Durchschnitt von 2010-2019.....	54
Abbildung 29: mittlerer Kornertrag von 2010-2019 mit bzw. ohne Pflugeinsatz vor der Saat im Durchschnitt aller sechs Standorte.....	55
Tabelle 1: Kornertrag nach unterschiedlichen Vorfrüchten im Jahr 1994 in Beverly (Australien) (Asseng et al. 1998) l.s.d.= least significant difference (Schwellenwert für einen signifikanten Unterschied zwischen den Vorfrüchten (t/ha)).....	12
Tabelle 2: R <sup>2</sup> für die Genauigkeit der Berechnung vom Weizenertrag, je nach verwendeten Dürreindices (SPI1-6=Betrachtungszeitraum 1-6 Monate) (García-León et al. 2019) .....	15
Tabelle 3 Formatierung der Arbeitskreisdaten in „Microsoft Excel“ .....	30
Tabelle 4 Formatierung der Wetterdaten.....	31
Tabelle 5 Auszug aus der Tabelle "Gesamtdaten aller Bezirke" aus SAS 9.4 (Teil 1) .....	33
Tabelle 6 Auszug aus der Tabelle "Gesamtdaten aller Bezirke" aus SAS 9.4 (Teil 2) .....	33
Tabelle 7: Multipler Spannweitentest nach Ryan-Einot-Gabriel-Welsch zum Ertrag in Abhängigkeit vom Standort (=Bezirk), N=Anzahl der Daten für den jeweiligen Standort (Werte mit demselben Buchstaben sind nicht signifikant verschieden) p=0,05 .....	36
Tabelle 8: Multipler Spannweitentest nach Ryan-Einot-Gabriel-Welsch zum Ertrag in Abhängigkeit vom Erntejahr, N=Anzahl der Daten für das jeweilige Erntejahr (Werte mit demselben Buchstaben sind nicht signifikant verschieden) p=0,05 ..	37
Tabelle 9: Korrelationen im Bezirk Baden .....	39
Tabelle 10: Korrelationen im Bezirk Hollabrunn .....	40
Tabelle 11: Korrelationen im Bezirk Horn .....	42
Tabelle 12: Korrelationen im Bezirk Krems (Land) .....	43
Tabelle 13: Korrelationen im Bezirk Mistelbach.....	45
Tabelle 14: Korrelationen im Bezirk Wiener Neustadt (Land).....	46
Tabelle 15: Korrelationen der kumulierten Einzelwerte aller Standorte (=Bezirke)....	48
Tabelle 16: Korrelationen der Mittelwerte aller Standorte (=Bezirke) .....	50
Tabelle 17: Varianzanalyse zur Auswirkung der Vorfrucht auf den Weizenertrag .....	51
Tabelle 18: Ergebnis des multiplen Spannweitentest nach Ryan-Einot-Gabriel-Welsch zur Vorfrucht in Abhängigkeit vom Ertrag, N= Häufigkeit einer bestimmten Vorfrucht bzw. Gruppierung v. Vorfrüchten.....	53

---

Tabelle 19: Varianzanalyse zum Pflugeinsatz vor der Saat .....54