

KABB Projekt Sortenversuche Winterspeisehafer Zwischenbericht 2023



Mathias Christen, Katrin Carrel, Adrian Lustenberger, Andrea Wiget

Datum: 30.01.2024



Inhaltsverzeichnis

1.	Beschrieb Sortenversuche Winterspeisehafer (KABB Projekt).....	3
2.	Material und Methoden.....	5
3.	Resultate	10
3.1	Bodenbedeckung	10
3.2	Krankheiten / Schädlinge	12
3.3	Pflanzenhöhe.....	14
3.4	Lager.....	15
3.5	Ertrag.....	16
3.6	Hektolitergewicht.....	19
3.7	Mykotoxine T-2 / HT-2 auf Winterhaferarten	22
3.8	Eignung der Sorten für die Herstellung von Hafermilch.....	24
4.	Beratungstätigkeit.....	25
5.	Schlussfolgerungen	26
6.	Dank	27
7.	Literatur.....	28
8.	Anhang.....	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Versuchsstandorte KABB Winterhaferarten Projekt	5
Tabelle 2: Ausgewählte Klimadaten der Versuchsstandorte	6
Tabelle 3: Liste der geprüften Sorten 2023 (Eigenschaften Züchterangaben).....	7
Tabelle 4: Erhebungsparameter.....	9
Tabelle 5: Erträge ab Feld im Jahr 2023 in kg/ha bei 14.5% Feuchtigkeit	18

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bodenbedeckung der einzelnen Haferarten in Prozent.....	11
Abbildung 2: Zusammenfassende Bonitur der Blattfleckenkrankheiten	12
Abbildung 3: Pflanzenhöhe der Winterhaferarten zur Reife	14
Abbildung 4: Lagerung der Haferarten.	15
Abbildung 5: Felderträge von Winterhafer nach Sorte und Standort	17
Abbildung 6: Hektolitergewicht der Winterhafer in kg/hl.....	20
Abbildung 7: Mykotoxin-Gehalte der Winterhaferarten.....	23
Abbildung 8: Mittlere Mykotoxin-Gehalte an den einzelnen Standorten.....	23

I. Beschrieb Sortenversuche Winterspeisehafer (KABB Projekt)

Hafer wurde bis anhin vorwiegend für Futterzwecke angebaut. Der Anbau für die menschliche Ernährung dient primär der Herstellung von Haferflocken und ist in seinem Ausmass bescheiden. Alternative Milchprodukte wie Haferdrinks sind zunehmend gefragt und werden bisher fast ausschliesslich importiert. Die Milchverarbeiterin Emmi produziert seit kurzem einen konventionellen Haferdrink. Auch im Biosektor soll nun ein Schweizer Knospe-Haferdrink lanciert werden. Die Bio-Abnehmer sind vermehrt auf der Suche nach qualitativ gutem Speisehafer mit einer hellen Farbe und ohne bitteren Geschmack.

Für die Herstellung von Speisehafer gelten spezielle Anforderungen an die Sortenwahl. Die zwei wichtigsten Qualitätsparameter sind die Spelzenfarbe und das Hektolitergewicht (HLG); die Spelzenfarbe ist eine Sorteneigenschaft. Die Spelzenfarbe muss weiss oder gelb sein. Das Hektolitergewicht wird stark durch die Sorteneigenschaften beeinflusst; für die Speisennutzung von Hafer sollte das HLG 54 kg/hl betragen und wird gemäss Fachliteratur neben der Sortenwahl auch stark durch die Umweltbedingungen (Boden, Klima, Krankheitsdruck) beeinflusst.

Aufgrund der geringen Winterhärte von Hafer wurden bisher primär Sommerhaferformen angeboten. Im Biolandbau lässt sich jedoch die Winterform besser in die Fruchtfolge integrieren und ist daher beliebter. Mit der Winterform wird in der Regel auch ein höheres HLG erzielt, was für die Verwendung als Speisehafer äusserst wichtig ist. Zurzeit ist lediglich noch die Sorte Eagle auf der Bio-Sortenliste aufgeführt, welche sich für Speisezwecke eignet. Die bisherige Standardsorte (Wiland) wird nicht mehr vermehrt.

Die Hafer-Mykotoxine HT-2 und T-2 können in klimatisch schwierigen Anbaujahren zum limitierenden Faktor werden für den erfolgreichen Anbau von Speisehafer. Die Wetterbedingungen während einer Anbausaison sind dabei grundsätzlich der wichtigste Einflussfaktor. Untersuchungen aus England zeigen aber, dass auch die Anfälligkeit der einzelnen Hafersorten auf den Pilz *Fusarium langsethiae* die Belastung mit Mykotoxinen beeinflusst; deshalb ist die Wahl robuster Sorten eine wichtige und nachhaltige Bekämpfungsstrategie (Edwards et al., 2022). Die Krankheit ist auf den Haferrispen im Feld nur schwer erkennbar. Um die Krankheitstoleranz der einzelnen Hafersorten zu beurteilen, wird das Erntegut auf die Belastung mit HT-2 und T-2-Mykotoxinen im Labor analysiert.

Eine genügende Vielfalt an verfügbaren Hafersorten bildet die Grundlage für eine standortangepasste Sortenwahl. Resistenzen können im Laufe der Zeit durchbrochen werden. Kranke Haferbestände liefern ungenügende Qualität (HLG, Mykotoxin-Problematik) und verminderte Erträge. Deshalb bildet die Selektion neuer Sorten auf Bio-Praxisbetrieben mittels Sortenprüfung die Grundlage für einen etablierten Winterhaferanbau. Auf

dem europäischen Markt sind diverse Winterhafersorten vorhanden. Ihre Verfügbarkeit und ihre Eignung in der Schweiz sollen im Rahmen des vorliegenden Projekts geprüft werden.

Mit den geeigneten Sorten werden zwei Exaktversuche und vier Streifenversuche durchgeführt. Es werden der Feldaufgang, die Überwinterung, die Bodenbedeckung, die Wuchshöhe, Blattkrankheiten, der Schädlingsbefall und der Ertrag bonitiert. Die Sorten sollen nach der Ernte auf ihre Eignung für die Herstellung eines Haferdrinks getestet werden. Dabei sollen die sortenspezifischen Qualitätsparameter erhoben werden.

Die Sortenversuche werden über eine Dauer von 3 Jahren durchgeführt. So können neue Sorten und klimatische Jahresverhältnisse mitberücksichtigt werden. Die Erkenntnisse aus den Sortenversuchen garantieren die notwendige Versorgung mit neuen, empfohlenen Sorten für die Humanernährung, die an die Umweltbedingungen in der Schweiz und an die veränderten Anforderungen des Marktes angepasst sind.

Das aufgebaute Versuchsnetz soll für Infoveranstaltungen und Flurgänge dienen.

2. Material und Methoden

An sieben Standorten in der Schweiz werden sieben Winterhafersorten geprüft. An vier dieser Standorte handelt es sich um Praxisstreifen-Versuche, an den übrigen drei Standorten wurden die Sorten in Exaktversuchen mit drei Wiederholungen angesät und ausgewertet (siehe Tabelle 1). Die beiden Sorten Eagle und KWS Snowbird sind bereits für den Bioanbau zugelassen, die anderen fünf Sorten sollen als mögliche Kandidaten auf ihre Eignung geprüft werden und bei positiven Resultaten die Sortenliste ergänzen.

Für die 10 - 20 a grossen Streifen und die Exaktversuche zusammen braucht es für sieben Standorte ungefähr 150 kg Saatgut pro Sorte. Der Hafer wird mit einer Basissaatdichte von 400 Körnern pro Quadratmeter und einer Saattiefe von 3-5 cm ausgesät. Diese Empfehlungswerte werden von den Versuchspartnern an den einzelnen Standorten situativ angepasst je nach Saatzeitpunkt, Bodeneigenschaften und Erfahrung. Je nach Keimfähigkeit und Tausendkorngewicht der Sorten ergibt dies Saatmengen zwischen 1.4 und 2 Kilo pro Are.

Tabelle 1: Versuchsstandorte KABB Winterhafersorten Projekt (* Standorte mit Exaktversuchen)

Name	Adresse	PLZ Ort
Bruno Graf	Grand-Rue 38	1530 Payerne VD
Yvan Chollet	Route de Bellebouche 45	1252 Meinier GE
Andreas Huber	Stiegen 2	8425 Oberembrach ZH
Andreas Brunner	Mattenhof	5722 Gränichen AG
FiBL-Hof*	Ackerstrasse 113	5070 Frick AG
Stefan Rindisbacher*	Fislisbach	5453 Remetschwil AG
Michael Locher (GZPK)*	Seestrasse 6	8714 Feldbach ZH

Tabelle 2: Ausgewählte Klimadaten der Versuchsstandorte zu Hitze & Trockenheit Mai bis Juli 2023 (Klimadaten aus agrometeo.ch)

Standort (Wetterstation)	Längste Trockenperiode (Mai – Juli), Anzahl Tage	Hitzetage (Tmax > 30°C)	Anzahl Tage mit erhöhter Respiration (Temp. MW >20°C)
Payerne VD (Delley VD)	18 resp. 33* (total 63)	6	39
Mapraz GE (Meinier GE)	26 (total 77)	14	46
Oberembrach ZH (Stiegenhof ZH)	24 (total 56)	6	22
Gränichen AG (Gränichen AG)	26 (total 59)	8	29
Frick AG (Frick AG)	25 (total 63)	8	33
Fislisbach AG (Birmenstorf AG)	(10) + 14 (total 61)	7	34
Feldbach ZH (Staefa ZH)	(8) + 21 (total 55)	8	48

*Am Standort Payerne VD folgten ab 17. Mai drei Trockenperioden nacheinander, die nur von einzelnen, sehr geringen Niederschlagsereignissen (2-4 mm) unterbrochen wurden. Deshalb wurde die Zahl von 33 Trockentagen ergänzend vermerkt.



Winterhafersorte VODKA am 25. April 2023 – durch die kühl-nassen Bedingungen im Frühjahr konnten die Bestände vielerorts nicht zum optimalen Zeitpunkt gestriegelt werden (Bild: K. Carrel, FiBL).

Tabelle 3: Liste der geprüften Sorten 2023 (Eigenschaften Züchterangaben)

Sorte	Züchter Herkunft	Aufnahmejahr ESL	Eigenschaften	Reife
Eagle	Die Saat, AT	2019	Speisehafer, weiss HLG +, grosses Korn; robust gegen Mehltau, für milde Lagen	mittelspät bis mittelfrüh
KWS Snowbird	KWS, DE	2022	Speisehafer, weiss für milde Lagen	früh
Gerald	Urspr. GB Senova Ltd., FR	-	Speisehafer, weiss Ertrag etwas tiefer; standfest, gute Resistenzen	spät
Vodka	KWS, FR	-	Speisehafer, weiss Ertragsstark, HLG + Etwas anfällig für Mehltau	mittelspät bis mittelfrüh
Fleuron	Hauptsaaen, DE	-	Gelbhafer Ertragsstark, standfest, HLG ++	früh
Dalguise	Sem Partners, FR	-	Speisehafer, weiss etwas anfällig für Kronenrost	mittelspät bis mittelfrüh
Rhapsody	Hauptsaaen DE	-	Gelbhafer Ertragsstark, HLG mittel, grosses Korn; kurz und standfest robust gegen Mehltau	mittelspät bis spät

Agronomischen Eigenschaften und Hektolitergewicht

Für die Beurteilung der Sorten wurden durch das FiBL die agronomischen Eigenschaften erhoben. Für die Parameter Bodenbedeckung und Pflanzenhöhe wurden je Standort und Sorte der Mittelwert aus 3 Messungen erhoben. Die Lagerung wurde optisch, nach flächenmässigem Anteil erfasst. An zwei Versuchsstandorten wurde eine Bonitur auf Krankheiten und Schädlinge gemacht.

Bei der Ernte wurde jeweils der ganze Sortenstreifen gedroschen, abgesackt und gewogen. Das Ergebnis wurde dann auf die Hektare und auf 14.5% Feuchtigkeit umgerechnet.

Bei Hafer, der für die menschliche Ernährung bestimmt ist, werden bei der Annahme die Feuchtigkeit, das Hektolitergewicht und der Besatz bestimmt. Der Zielwert für das Hektolitergewicht liegt bei 54 kg/hl. Ernteposten, die ein Hektolitergewicht zwischen 50 und 54 Kilo erreichen, können aufgereinigt werden, bis das Zielgewicht erreicht wird. Kleine Körner werden dabei durch ein Schlitzsieb von 1.8mm (Untersieb) herausgereinigt, was jedoch zu einem Gewichtsverlust in der Abrechnung der Erntemenge für den Produzenten führt. Je nach Anbauvertrag werden diese Reinigungskosten vom Abnehmer übernommen (2 CHF pro Dezitonne). Posten mit einem Fremdkornbesatz von mehr als 3 Prozent werden zu Futterhafer deklassiert; für Schwarzbesatz, Bruchkorn und Gesamtbesatz gelten die empfohlenen Übernahmebedingungen von Swiss Granum. Das Hektolitergewicht wurde im Labor durch die GZPK bestimmt. Im ersten Versuchsjahr wurde der Fremdbesatz nicht erhoben.

Untersuchung auf Mykotoxine T-2 / HT-2

Ein Fokus der Sortenprüfung im Winterhafer liegt auf der Resistenz der Sorten gegenüber der Bildung der Mykotoxine T-2 / HT-2. Die Mykotoxin-Gehalte der Proben wurde am FiBL im Labor bestimmt. Von allen Standorten und Sorten wurden Muster von 1-2 kg Erntegut genommen und Proben daraus mittels Testkit im FiBL-Labor in Frick analysiert.

Für den Nachweis der Toxine wurde eine Enzymimmunoassay der Firma R-Biopharm (RIDASCREEN® T-2 / HT-2 Toxin Art. Nr. R3805) bestellt. In diesem Testkit sind alle Reagenzien zur Extraktion, Kalibration und Bestimmung der Toxine enthalten.

Der Test basiert auf einer Antigen-Antikörper Reaktion. Die Kavitäten der Mikrotiterplatte sind mit Fänger-Antikörper beschichtet. T-2 Toxin an ein Enzym gebunden, ein sogenanntes T-2 Enzymkonjugat konkurrenziert mit freiem T2-Toxin um Antikörper-Bindungsstellen. Nicht gebundene, noch in Lösung befindende Toxine werden in einem zweiten Schritt weggewaschen. Anschliessend wird ein Substrat mit Farbstoff zugegeben. Das Substrat bindet an das Enzymkonjugat und bildet ein blaues Endprodukt. Durch Zugabe einer Stopplösung wechselt die Farbe von blau nach gelb. Je mehr T2-

und HT2-Toxine sich in der Probelösung befinden, desto weniger Enzymkonjugate binden an die Antikörper und desto geringer ist die Farbreaktion.

Eine detaillierte Beschreibung der Methodik befindet sich im Anhang.

Eignung der Sorten zur Herstellung von Hafermilch

In einem letzten Schritt sollen die Sorten auf ihre Verarbeitungsqualität geprüft werden. Aus den Erntemustern soll für jede Sorte Hafermilch hergestellt und bewertet werden. Diese Erhebung ist noch ausstehend und wird im Versuchsbericht 2024 enthalten sein.

Tabelle 4: Erhebungsparameter

Agronomische Eigenschaften	Qualitätsparameter	Verarbeitungsparameter
<ul style="list-style-type: none"> • Bodenbedeckung 	<ul style="list-style-type: none"> • Hektolitergewicht 	<ul style="list-style-type: none"> • Eignung für die Herstellung von Hafermilch
<ul style="list-style-type: none"> • Krankheiten • Schädlinge 	<ul style="list-style-type: none"> • Mykotoxine 	
<ul style="list-style-type: none"> • Pflanzenhöhe 		
<ul style="list-style-type: none"> • Lagerung 		
<ul style="list-style-type: none"> • Ertrag 		

3. Resultate

Winterhafer stellt grundsätzlich keine großen Ansprüche an den Standort; er ist auch auf nährstoffarmen Böden eine dankbare Kultur. Aufgrund des erhöhten Wasserbedarfs von Hafer sind allerdings sandige und trockene Standorte nur mässig geeignet. Je geringer die Wasserkapazität des Bodens ist, desto gleichmässiger muss die Niederschlagsverteilung sein. Sofern eine genügende Wasserversorgung sichergestellt ist, ist Hafer auch für den Anbau auf sandigen und leicht sauren Böden geeignet.

Lagen mit Kahl- und Spätfrösten sollten vermieden werden. Winterhafer zeigt eine eher langsame Jugendentwicklung und sollte gut bestockt und kräftig durch den Winter gehen. Durch den Entwicklungsvorsprung wird Winterhafer früher als Sommerhafer geerntet. Der Ertrag übertrifft den Sommerhafer um bis zu 15 Prozent.



Die Winterhafer-Versuche am Standort Oberembrach ZH, links im Bild, am 1. November 2022. In der rechten Bildhälfte befinden sich die Praxisstreifen der Weizensorten-Prüfung (Foto: K. Carrel).

3.1 Bodenbedeckung

Hafer eignet sich gut für Fruchtfolgen von Biobetrieben. Dank seinem Wuchs mit einer guten Bodenbedeckung und dank seinen Wurzelauausscheidungen unterdrückt Hafer das Unkraut effizient. Diese Fähigkeit zur Unkrautunterdrückung durch Wurzelauausscheidungen (Allelopathie) ist in den einzelnen Hafersorten unterschiedlich stark ausgeprägt (Carraro-Lemes, 2019).

Der Bodenbedeckungsgrad wurde während der Schossphase, im Stadium BBCH 32-39 (2-Knoten bis Ligula-Stadium) visuell bewertet. Der Bodenbedeckungsgrad widerspiegelt die Konkurrenzfähigkeit der Kulturpflanzen gegenüber Beikräutern.

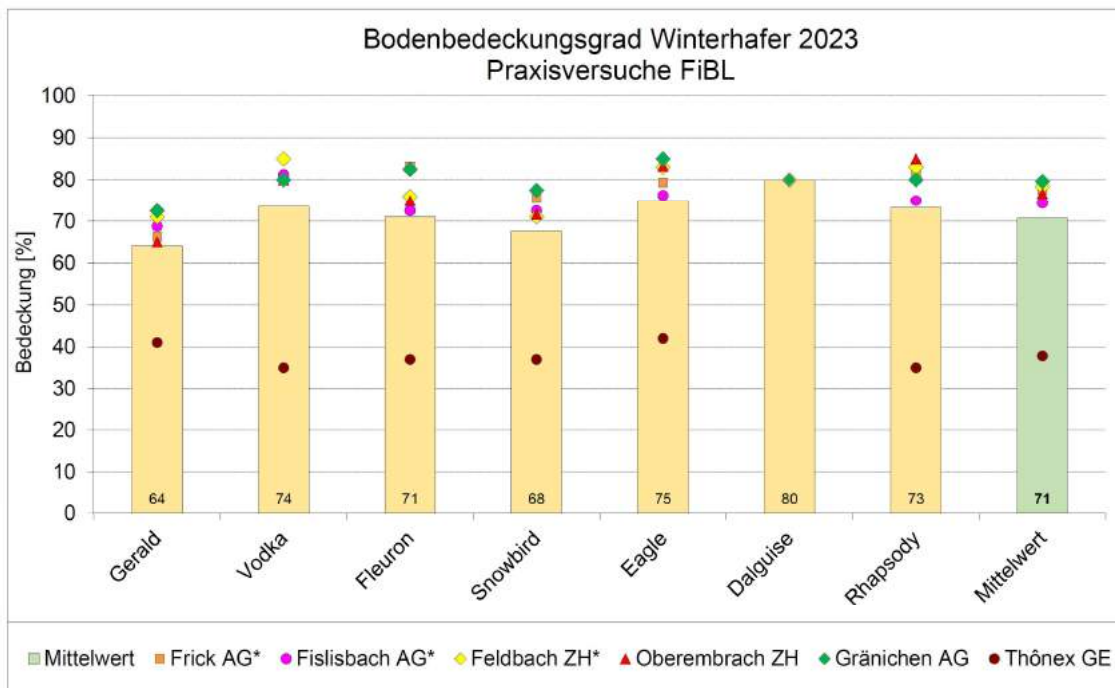


Abbildung 1: Bodenbedeckung der einzelnen Hafersorten in Prozent an sechs Standorten (* Standort mit Exaktversuch in Kleinparzellen)

Der Bodenbedeckungsgrad lag im Durchschnitt aller Sorten und Standorte im Versuchsjahr 2023 bei 71 Prozent. Die Sorten Eagle und Vodka erreichten mit 75% resp. 74% die höchsten Mittelwerte, Dalguise wurde nur an zwei Standorten angebaut, deshalb ist der mittlere Bodenbedeckungsgrad von 80% gut (zweimal gleicher Wert), aber mit Vorsicht zu interpretieren.

Der Standort Meinier/Thônex GE zeigt in der Bodenbedeckung zum Schossen auffallend tiefe Werte (Mittelwert 37.8%). Dies ist sehr wahrscheinlich auf den späten Saatzeitpunkt (20. Oktober) und auf die eher geringe Saattiefe (300 Körner/m²) zurückzuführen. Bis zum Winter hatte dieser Bestand weniger Zeit, um Bestockungstriebe zu bilden. Kombiniert mit der extensiven Düngungsstrategie führte dies zu einer geringeren Anzahl Halme pro Quadratmeter als an anderen Standorten.

3.2 Krankheiten / Schädlinge

Wichtige Krankheiten des Hafers

Die wichtigsten Krankheitserreger des Hafers in der Schweiz sind Mehltau (*Blumeria graminis, f.sp. avenae*), Streifenkrankheit (*Drechslera avenae, Pyrenophora graminea*), Haferkronenrost (*Puccinia coronata var. avenae*) und Ährenfusarien. Haferkronenrost kann die höchsten Ertragseinbussen verursachen (10-40 Prozent), tritt in der Schweiz in der Regel erst Anfang Juli, kurz vor der Ernte auf; der wärmeliebende Pilz könnte in Zukunft noch an Bedeutung gewinnen. Sonnige Tage mit Temperaturen um 20-25°C, gefolgt von kühlen Nächten mit Taubildung fördern den Befall (Blattnassdauer). Fusarien, insbesondere *Fusarium langsethiae*, sind für die Bildung der unerwünschten haferspezifischen Mykotoxine T-2/HT-2 verantwortlich. Wie im Kapitel 1 erwähnt, kann ein Befall mit dieser Ährenfusarien-Art auf den Haferrispen visuell nicht festgestellt werden.

Im Versuchsjahr 2023 wurden die Blattkrankheiten nur am Versuchsstandort Gränichen AG mit einer zusammenfassenden Boniturnote zwischen 1-9 für den Blattflächenverlust durch alle Krankheiten auf dem Fahnenblatt bewertet (Schema Swissgranum). Dabei bedeutet die Boniturnote 1, dass der Bestand vollständig gesund ist, die Boniturnote 9 beschreibt ein zu 100% befallenes Fahnenblatt, das keine Photosyntheseleistung mehr erbringen kann. Dazwischen liegen abgestufte Werte (BN 6 = 15% der Blattfläche befallen, BN 7 = 25%, BN 8 = 50%, BN 9 = 75%).

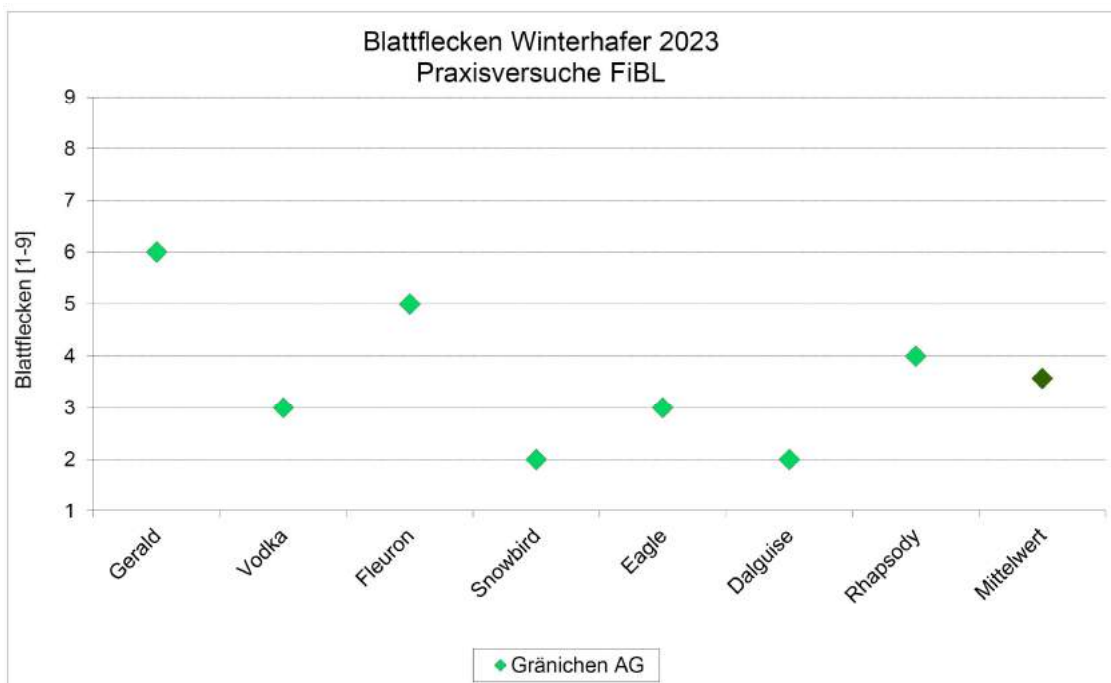


Abbildung 2: Zusammenfassende Bonitur der Blattfleckenkrankheiten auf Winterhafer am Versuchsstandort Gränichen im 2023.

Die obenstehende Grafik (Abbildung 2) fasst die Krankheitsbonitur für die verschiedenen Blattkrankheiten zusammen. Die Sorten zeigten Befallsnoten zwischen 2 (nur einzelne Blattflecken) und Note 6 (ca. 25% der Blattfläche befallen). Die Beobachtungen bezüglich Krankheitsanfälligkeit sollen in den folgenden beiden Jahren fortgesetzt werden. Die aktuellen Daten erlauben noch keine Bewertung der Krankheitstoleranz der einzelnen Sorten.



Blattkrankheiten des Hafers, am Beispiel Sommerhafer im Anbaujahr 2021. Mehltau, Kronenrost und Streifenkrankheit gehören in der Schweiz zu den wichtigsten Krankheiten (Bild: K. Carrel, FiBL)

Schädlinge

In den Haferbeständen wurden keine nennenswerten Schädlinge beobachtet. Ab Mitte Juni wurden am Standort Stiegenhof ZH Getreideblattläuse (*Sitobion avenae*) und wenig Greidehähnchen beobachtet.

3.3 Pflanzenhöhe

Die Pflanzenhöhe wurde während der Kornreife erhoben. Es wurde jeweils der oberste Punkt der Rispe gemessen. Dieser Parameter wurde nur an vier von sieben Standorten erfasst.

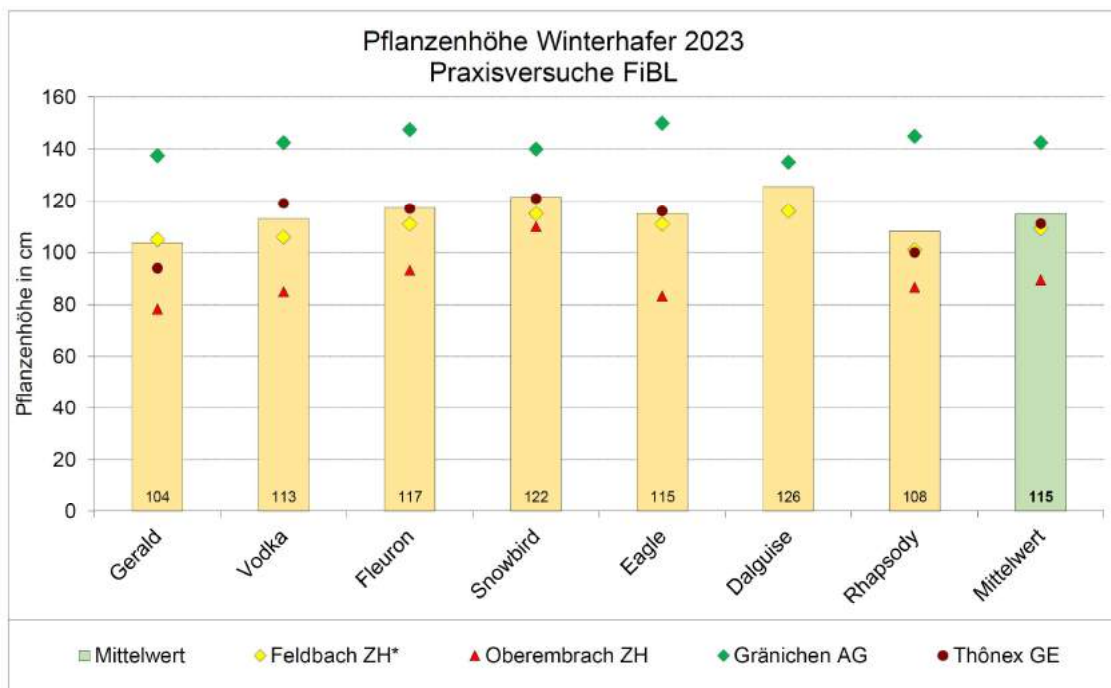


Abbildung 3: Pflanzenhöhe der Winterhaferensorten zur Reife an vier Standorten (*Standort mit Exaktversuch in Kleinparzellen)

Abbildung 3 zeigt die unterschiedlichen Halmlängen der einzelnen Sorten. Die durchschnittliche Halmlänge aller Sorten und Standorte lag bei 115 cm. Den höchsten Mittelwert im Sortenvergleich erreichte die Sorte Dalguise (nur zwei Standorte) mit 126 cm, danach folgten Snowbird (122 cm) und Fleuron (117 cm). Die durchschnittlich kürzesten Halmlängen zeigten Gerald (104 cm) und Rhapsody (108 cm).

Die Streuung innerhalb der Sorten war generell sehr gross. Der Standort und weitere Umweltfaktoren beeinflussten die Halmlänge stark. Ein extremes Beispiel ist dabei die Sorte Eagle. Am Standort Stiegenhof ZH erreichte sie eine Wuchshöhe von rund 83 cm, am Standort Gränichen AG wurden 150 cm gemessen; die Differenz von über 66 cm weist darauf hin, dass die Standortfaktoren einen grösseren Einfluss auf die Halmlänge haben als die Sortenwahl. Am Standort Gränichen (430 m.ü.M.) wurden alle Sorten besonders lang. Der Mittelwert der Sorten lag hier bei 142.5 cm. Am höher gelegenen Standort Oberembrach ZH (610 m.ü.M.) blieben die Sorten verhältnismässig kurz; dort lag der Mittelwert aller Sorten bei 89.4 cm. Die Kulturdatenblätter der einzelnen Standorte mit den detaillierten Informationen zu den Versuchspartellen befinden sich im Anhang.

3.4 Lager

Gelagerte Haferbestände erschweren die Ernte, das Abtrocknen und vermindern die Qualität des Ernteguts. Das Risiko einer Mykotoxinbelastung nimmt bei gelagerten Beständen zu. Sommergewitter erweisen sich häufig als Hätetest für die abreifenden Haferbestände. Die untenstehende Grafik (Abb. 4) zeigt die Beobachtungen von fünf Versuchsstandorten.

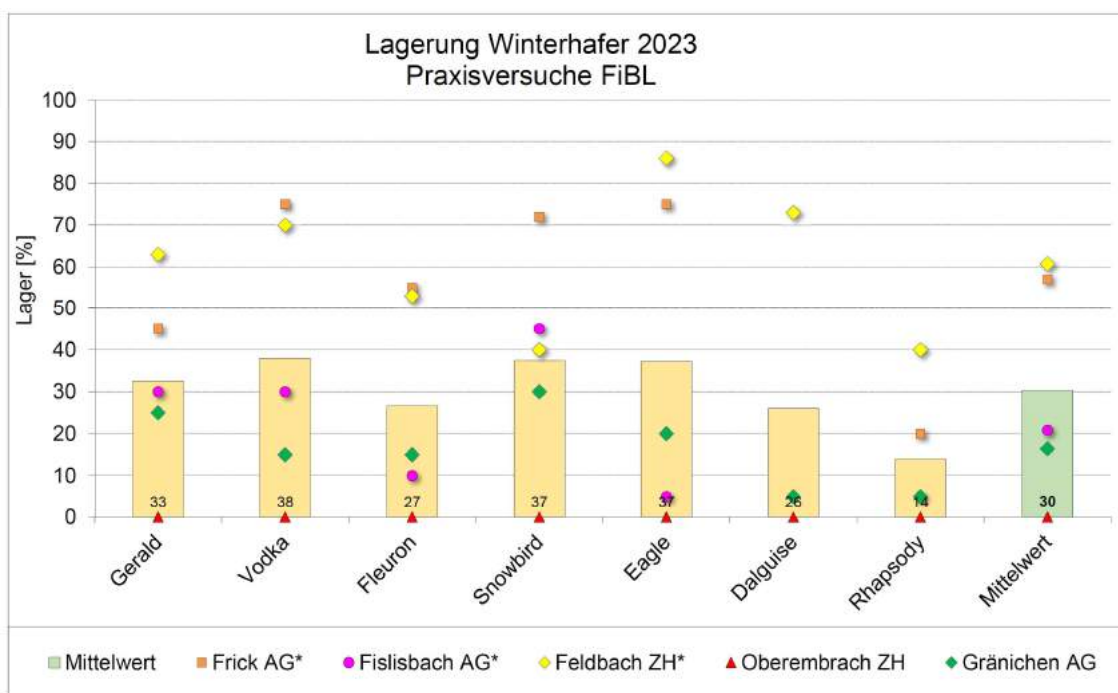


Abbildung 4: Lagerung der Hafersorten an fünf Standorten im Versuchsjahr 2023. (* Standort mit Exaktversuch in Kleinparzellen)

Im Durchschnitt aller Sorten und Standorte kam es auf 30 Prozent der Flächen zu Lagerfrucht. Die Sorte Vodka, Snowbird und Eagle waren dabei am stärksten betroffen (gelagerte Fläche = 37-38 Prozent). Die Sorte Rhapsody erwies sich als besonders standfest; im Durchschnitt aller Standorte lagerte Rhapsody nur auf 14 Prozent der Fläche. Die Haferbestände an den Standorten Frick und Feldbach waren am stärksten von Lagerfrucht betroffen. Dort lagerten die Sorten Eagle, Vodka, Snowbird und Dalguise auf 70-75 Prozent der Fläche.

Insgesamt sollte berücksichtigt werden, dass sich die Lagerung in Kleinparzellen und Streifenversuchen unterscheidet. In der obenstehenden Grafik sind die Standorte mit Kleinparzellen mit einem Stern markiert und die Boniturwerte (Grafikpunkte) sind durch Schattierung hervorgehoben.

3.5 Ertrag

Die Haferversuche wurden zwischen dem 6. und 24. Oktober mit Saatkulturen zwischen 300 und 400 Körnern pro Quadratmeter ausgesät. Die Vorkulturen waren sehr unterschiedlich und reichten von Kunstwiese, Soja, Mais und Kartoffeln bis zu Zwiebeln im Vertragsanbau. Die Düngungsstrategien wurden entsprechend der Betriebsstrategie gewählt: Die höchste Nährstoffmenge erhielten die Haferbestände am Standort Frick AG mit 70 kg N in Form von Biorga (14. März) nach der Vorkultur Kunstwiese. An den Standorten Meinier GE und Feldbach ZH wurde auf eine Düngung verzichtet, dies nach den Vorkulturen Soja resp. Mais. Am Standort Fislisbach AG wurde nach Kartoffeln und einer Wiesenmischung die Saatbettvorbereitung ohne Tiefenlockerung, nur mit der Kreiselegge gemacht; die Parzelle litt in der Folge unter einem relativ starken Unkrautdruck (Anbaudaten im Anhang).

Der Ertrag von Hafer wird bestimmt durch die Rispenzahl pro Quadratmeter, die Kornzahl pro Rispe und das TKG/TKM, das während der Kornfüllungsphase erreicht wird. Die Bestockung, eine gut ausgebildete Blattfläche und günstige Umweltbedingungen während der Kornfüllungsphase beeinflussen den Ertrag.

Grundsätzlich wird bei Hafer die Bestockung durch eine späte Aussaat und durch eine zu tiefe Ablage bei der Saat gehemmt. Der empfohlene Saatzeitpunkt für den Anbau von Winterhafer in der Schweiz liegt zwischen 20. September und 5. Oktober (je nach Standort auch Mitte Oktober), bei einer Saattiefe von 3-5 cm. Auch der Standraum der Einzelpflanzen, die Nährstoff- und Wasserversorgung haben einen wichtigen Einfluss auf die Bestockung und damit auf die Rispenzahl pro Quadratmeter. Hafer braucht mehr Blattfläche pro Dezitonne Kornertrag und hat deshalb einen höheren Wasserverbrauch als andere Getreidearten (Lütke Entrup und Schäfer, 2011).



Die standfeste Sorte Rhapsody während der Abreife nach einem Gewitter Ende Juni 2022 (Bild: K. Carrel, FiBL)

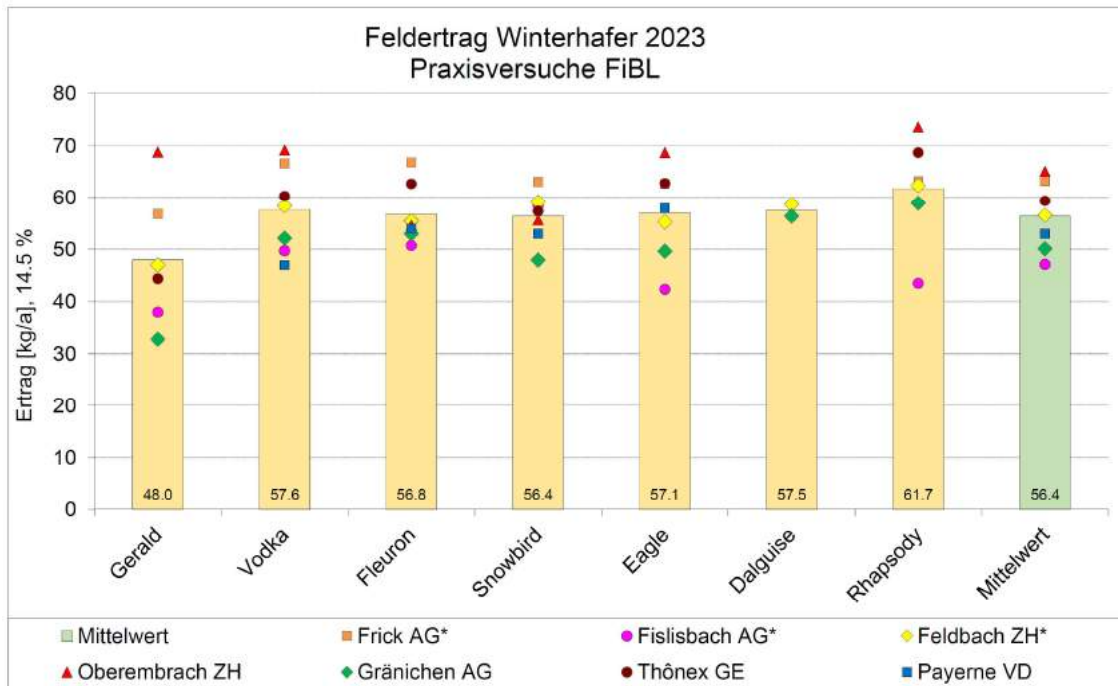


Abbildung 5: Felderträge von Winterhafer nach Sorte und Standort im Jahr 2023. (* Standort mit Exaktversuch in Kleinparzellen)

Die obenstehende Grafik (Abbildung 5) zeigt die durchschnittlichen Erträge der einzelnen Sorten als Säulendiagramm, die Resultate an den einzelnen Standorten werden als Punkte dargestellt. Standorte mit Exaktversuchen in Kleinparzellen sind mit einem Stern markiert.

Im Versuchsjahr 2023 erreichten die Hafersorten je nach Standort und Sorte Erträge zwischen 32.8 dt/ha (Gerald, Gränichen AG) und 73.6 dt/ha (Rhapsody, Oberembrach ZH). Der Mittelwert aller Sorten und Standorte lag bei 56.4 Dezitonnen pro Hektare.

Die Sorte Rhapsody erzielte im Durchschnitt aller Standorte den höchsten Ertrag mit 61.7 dt/ha. Die Sorte Gerald zeigte den tiefsten mittleren Ertrag mit 48.0 dt/ha. Die Sorte Dalguise wurde nur an zwei Versuchsstandorten angesät und geprüft; der durchschnittliche Ertragswert muss dementsprechend mit Vorsicht interpretiert werden. Am Standort Oberembrach ZH erreichten auch die Sorten Vodka, Gerald und Eagle sehr gute Erträge von über 68 dt/ha. Dies ist besonders bemerkenswert bei der Sorte Gerald, weil diese Sorte im Durchschnitt eher schwache Erträge erreicht hat.

Die grosse Streuung bei den Erträgen der einzelnen Sorten widerspiegelt den grossen Einfluss der Umweltbedingungen an den einzelnen Standorten. Die Hafersorten bringen grundsätzlich alle ein gutes Ertragspotential mit. Sie brauchen jedoch eine genügende Wasserversorgung und günstige Wachstumsbedingungen, insbesondere bezüglich Temperatur und Strahlungsintensität während der Kornfüllungsphase. An den Standorten Oberembrach ZH und Frick AG lag der durchschnittliche Ertrag aller Sorten bei

über 60 Dezitonnen pro Hektare. Am Standort Fislisbach AG erreichten die Winterhafersorten insgesamt einen mittleren Ertrag von 47.2 dt/ha, dort litten die Bestände unter dem relativ starken Unkrautdruck (vergleiche Tabelle 5).

Nicht alle Sorten kamen mit den unterschiedlichen Umweltbedingungen an den verschiedenen Standorten gleich gut zurecht. Die Sorten Snowbird und Fleuron reagierten mit den geringsten Ertragsschwankungen; die Differenz zwischen dem besten und dem schwächsten Resultat betrug für diese beiden Sorten nur 15-16 Dezitonnen pro Hektare. Demgegenüber schwankten die Erträge der Sorten Gerald und Rhapsody besonders stark. Die Ertragsdifferenz zwischen dem besten und dem schwächsten Resultat betrug in ihrem Fall über 30 Dezitonnen. Snowbird und Fleuron lieferten im Anbaujahr 2023 stabilere und verlässlichere Erträge als die übrigen Sorten.

Tabelle 5: Erträge ab Feld im Jahr 2023 in kg/ha bei 14.5% Feuchtigkeit (* Standort mit Exaktversuch in Kleinparzellen)

Sorte	Frick AG*	Fislisbach AG*	Feldbach ZH*	Oberembrach ZH	Gränichen AG	Thönex GE	Payerne VD	Mittelwert
Gerald	56.9	38.0	47.0	68.8	32.8	44.4		48.0
Vodka	66.6	49.8	58.4	69.2	52.2	60.3	47.0	57.6
Fleuron	66.8	50.8	55.5	54.7	53.0	62.7	54.0	56.8
Snowbird	63.1	58.5	59.1	55.7	48.0	57.4	53.0	56.4
Eagle	62.7	42.4	55.3	68.7	49.7	62.8	58.0	57.1
Dalguise			58.7		56.4			57.5
Rhapsody	63.2	43.5	62.4	73.6	58.9	68.7		61.7
Mittelwert	63.2	47.2	56.6	65.1	50.1	59.4	53.0	56.4

Auch die Kältetoleranz resp. die Frosttoleranz ist ein sortenspezifisches Merkmal. Nach dem Auflaufen ertragen neuere Hafersorten Minimumtemperaturen von bis zu -8°C; bei Kahlfrösten und Temperaturen unter -12°C muss man damit rechnen, dass die Pflanzen absterben. Während der Schossphase (-3°C) und zur Blüte (0°C) sind die Haferbestände empfindlicher gegenüber tiefen Temperaturen. Die Minimumtemperatur des Wachstums liegt für Hafer bei 4°C. Der Winter 2022/23 brachte drei Phasen mit besonders tiefen Temperaturen (12./13. Dezember, 21. Januar, 9. Februar). Die tiefste Temperatur wurde am 12. Dezember 2022 am Standort Oberembrach ZH mit -9.9°C gemessen. Da zu diesem Zeitpunkt Schnee lag, scheinen alle Hafersorten die Frostphase gut überstanden zu haben.

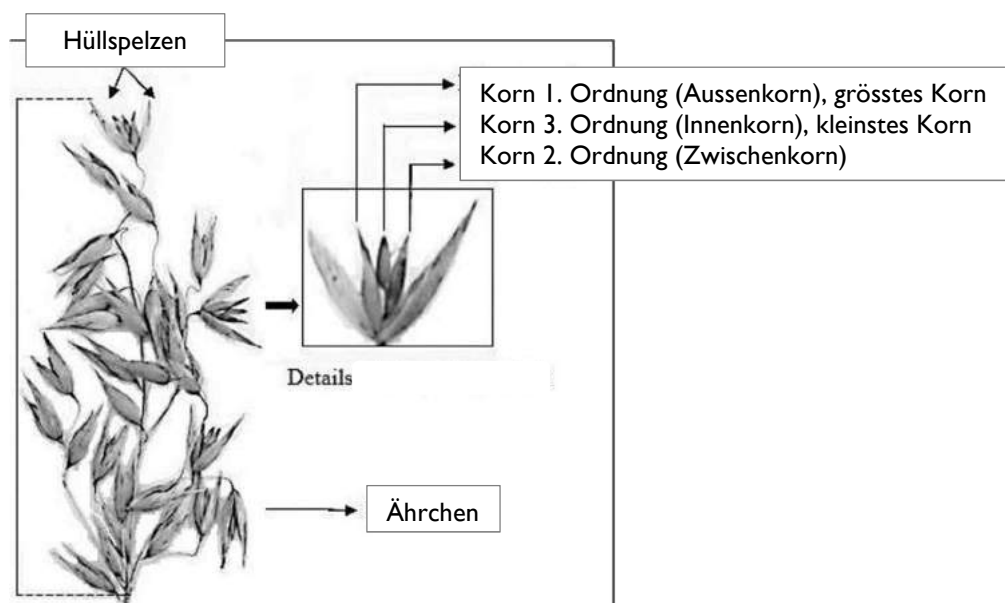
Haferkörner werden in der Kornfüllungsphase zu einem beachtlichen Anteil aus den Reserve-Kohlenhydraten im Halm versorgt. Bis zur Milchreife wird die Kornausbildung nicht nur durch gesunde Blätter, sondern auch durch kräftig entwickelte Halme positiv

beeinflusst. Während der Kornfüllungsphase reagiert Hafer auf intensive Sonneneinstrahlung mit einer vorzeitigen Abreife. Kühles Wetter mit eher diffuser Einstrahlung ist günstiger für eine gute Ausbildung der Körner, weil so die Zeit für Einlagerung verlängert wird. Während der Kornbildung und Kornfüllung reagiert Hafer empfindlicher auf hohe Temperaturen als Weizen oder Gerste; ab 28°C nimmt die Nettoassimilationsrate rapide ab. Wassermangel und Trockenheitsstress bewirken bei Hafer grössere Ertrags-einbussen als bei Gerste und Roggen. Auch erhöhte Ozonwerte schädigen Hafer stärker als andere Getreidearten (Lütke Entrup und Schäfer, 2011). Lagerfrucht und regnerisches Wetter zur Abreife haben ebenfalls negative Auswirkungen auf den Ertrag.

3.6 Hektolitergewicht

Wird Hafer für die Speisenzugung angebaut, ist das Hektolitergewicht eines der wichtigsten Qualitätsmerkmale. In Anbauversuchen mit variierenden Saaddichten, dem Anbau von Winter- statt Sommerhafer und mit der Prüfung besonders geeigneter Sorten, hofft man auf die Verbesserung des Hektolitergewichts. Ein gutes HLG ist die Voraussetzung für ein günstiges Korn-Spelzen-Verhältnis und einen hohen Anteil an verarbeitungsfähigen Haferkörnern.

Haferrispen enthalten Ährchen mit drei Blüten von unterschiedlicher Ordnung. Die Blüte beginnt bei den äusseren Blüten, zuletzt blüht die innerste, dritte Blüte. Aus Sicht der Qualität von Speisahafer ist die Ausbildung des Innenkorns unerwünscht, da Innenkörner bis zu dreimal kleiner bleiben als die Aussenkörner erster Ordnung (siehe Grafik).



Aufbau der Haferrispe und Haferährchen (Quelle: in Anlehnung an MANTAI et al., 2016)

Warme Temperaturen im März beeinflussen die Kornlänge positiv und eine hohe Strahlungsintensität bis zur Blüte beeinflusst die Kornzahl positiv. Werden aber zu viele Kornanlagen angelegt, kann dies nach der Blüte zu einer Konkurrenzsituation zwischen den Körnern führen, insbesondere bei hohen Temperaturen und intensiver Strahlung im Juli. Unter solchen Voraussetzungen bildet Hafer zwar viele, aber eher kleinere Körner aus (Howarth et al., 2021).

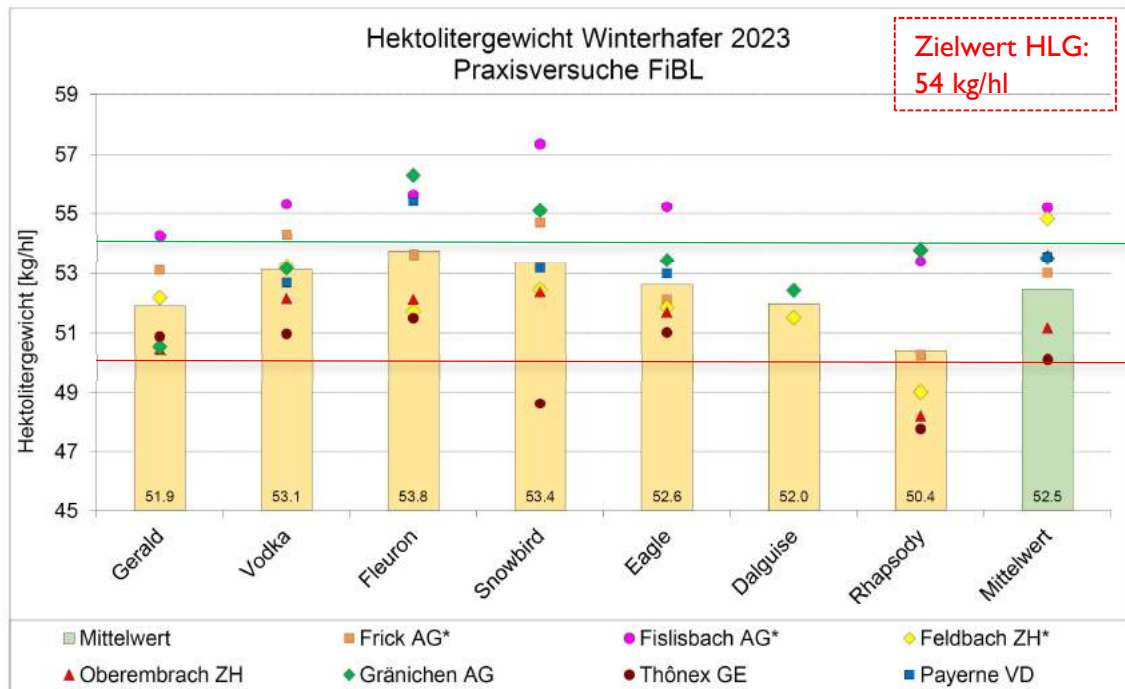


Abbildung 6: Hektolitergewicht der Winterhafer in kg/hl nach Sorte und Standort im Jahr 2023 (* Standorte mit Exaktversuch in Kleinparzellen)

Der Zielwert für das Hektorlitergewicht von Speisahafer liegt bei 54 kg/hl. Hafer mit einem HLG zwischen 50 kg/hl und mehr, kann mit einem zweiten Schritt soweit aufgereinigt werden, dass ein genügendes Hektorlitergewicht für die Speisennutzung erreicht wird. Diese beiden Werte (Zielwert und untere Grenze) sind mit der grünen resp. mit der roten Linie in der Grafik dargestellt (Abbildung 6).

Die obenstehende Grafik (Abb. 6) zeigt die Hektolitergewichte der Winterhaferarten aus dem Versuchsjahr 2023. Der Mittelwert aller Sorten und Standorte lag bei 52.5 Kilo pro Hektoliter. Den absolut höchsten Wert erreichte die Sorte Snowbird am Standort Fislisbach AG mit 57.4 kg/hl. Der tiefste Wert wurde für die Sorte Rhapsody am Standort Meinier/Thônex GE bestimmt (47.8 kg/hl). Das höchste durchschnittliche Hektolitergewicht erreichte die Sorte Fleuron mit 53.8 kg/hl. Auch Snowbird, Vodka und Eagle erreichten im Durchschnitt gute Hektolitergewichte zwischen 53.4 kg/hl und 52.6 kg/hl.

Im Vergleich der Sorten fällt auf, dass die Sorte Rhapsody an drei Standorten ein Hektolitergewicht von weniger als 50 kg/hl aufwies; die Messpunkte liegen unterhalb der

roten Linie in der Grafik (Abb. 6). Solche Haferposten werden in normalen Jahren zu Futterhafer deklassiert und können nicht mit einem vertretbaren Aufwand aufgereinigt werden. Auch Snowbird unterschritt am Standort Meinier/Thônex GE das minimal notwendige Hektolitergewicht, um noch als Speisehafer genutzt zu werden.

Demgegenüber erreichten die Sorten Fleuron und Snowbird an vier Standorten Hektolitergewichte über dem Zielwert von 54 kg/hl, so dass diese Posten ohne zweiten Reinigungsschritt als Speisehafer abgegeben werden könnten. Auch für die Sorte Vodka war dies an drei Standorten der Fall. Die Messwerte liegen oberhalb der grünen Linie (Abb. 6). Alle Sorten ausser Rhapsody und Snowbird erreichten an den verschiedenen Standorten Hektolitergewichte, die eine Nutzung als Speisehafer erlauben.

In verschiedenen Versuchen wurde beobachtet, dass Ertrag und Hektolitergewicht bei Hafer in einem negativen Zusammenhang stehen (Howarth et al., 2021; Mut et al, 2016). Dies scheint besonders deutlich zu werden für die Sorte Rhapsody, die mit einem durchschnittlichen Ertrag von 61.7 dt/ha im Sortenvergleich zwar an der Spitze liegt, jedoch beim Hektolitergewicht am schlechtesten abschnitt und an drei Standorten die minimale Qualität für die Speisennutzung nicht erreichte. Demgegenüber fallen die Sorten Fleuron und Vodka besonders positiv auf: Sie erreichten einerseits an den meisten Standorten gute Erträge, und überzeugten gleichzeitig mit schönen Hektolitergewichten.

Die Resultate vom Standort Meinier/Thônex GE lassen vermuten, dass die Haferpflanzen viele Körner zweiter und dritter Ordnung ausgebildet haben. Durch die relativ späte Saat und eher geringe Saatedichte war die Pflanzendichte pro Quadratmeter gering (siehe 3.1 Bodenbedeckung), so dass im Frühjahr wahrscheinlich viele Kornanlagen pro Pflanze ausgebildet wurden. Zugleich zeigen die Klimadaten, dass die Haferpflanzen an diesem Standort im Sommer einem besonders grossen Hitze- und Trockenheitsstress ausgesetzt waren (siehe Tab. 2); gemäss Fachliteratur verkürzt dies die Zeit der Kornfüllung und führt zur Ausbildung eher kleiner Körner.

3.7 Mykotoxine T-2 / HT-2 auf Winterhafersorten

Mykotoxine sind ein wichtiges Thema in der Getreideproduktion. Wird Hafer für die menschliche Ernährung genutzt, gelten strenge Grenzwerte für die Belastung mit Mykotoxinen. In einer internationalen Studie wurden elf verschiedene Mykotoxine auf unverarbeitetem Hafer gefunden (De Colli et al, 2020). Dabei waren die Mykotoxine T-2 / HT-2 die mengenmässig wichtigste Gruppe.

In einer gemeinsamen Untersuchung von Agroscope und der Universität Neuenburg wurden die Mykotoxine NIV (Nivalenol) und T-2 / HT-2 auf Sommerhafersorten untersucht. Diese beiden Mykotoxine stammen von zwei Arten von Ährenfusarien; *Fusarium poae* bildet NIV, *Fusarium langsethiae* bildet T-2 / HT-2. Der Befallsdruck für Ährenfusarien ist abhängig von den Umweltbedingungen, insbesondere zum Zeitpunkt der Blüte (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschläge) (Martin et al., 2018). Im Weizenanbau wurde eine Zunahme von Ährenfusariosen und der Mykotoxinbelastung des Ernteguts festgestellt in geteidelastigen Fruchtfolgen und bei Vorkultur Mais ohne Einarbeitung der Stoppelreste resp. in Anbausystemen mit reduzierter Bodenbearbeitung.

Die Resistenz gegenüber der Bildung von Mykotoxinen bei Hafer ist eine wichtige Sorteneigenschaft, um die Belastung von Hafer mit T-2 / HT-2 zu vermeiden. Grundsätzlich wurde eine erhöhte Anfälligkeit bei kurzstrohigen Sorten festgestellt, Nackthafer-Sorten gelten als weniger anfällig als bespelzte Sorten.

Wenn Hafer bei der Verarbeitung entspelzt und weiterverarbeitet wird, sinkt die Mykotoxinbelastung auf den Haferkörnern, Haferflocken und im Hafermehl deutlich ab. Die oben erwähnte Studie von De Colli et al. (2020) spricht von einer Reduktion der T-2 / HT-2-Gehalte um 82-88 Prozent. Die Nebenprodukte der Haferverarbeitung sind dann jedoch um ein Mehrfaches mit Mykotoxinen belastet. Die Weiterverwertung von Stroh und Müllerei-Nebenprodukten aus mykotoxin-belastetem Erntegut sollte deshalb mit Vorsicht geschehen; insbesondere sollen diese Produkte nicht in der Schweinehaltung eingesetzt werden.

Der Grenzwert für die Mykotoxine T-2 / HT-2 in unverarbeitetem Speisehafer liegt in der Schweiz aktuell bei 1000 Mikrogramm pro Kilo unverarbeitetes Getreide (Swiss Granum, 2023). Es wird erwartet, dass die in der EU geplanten Verschärfungen für den geltenden Grenzwert auf 500 Mikrogramm pro Kilo auch in der Schweiz eingeführt werden.

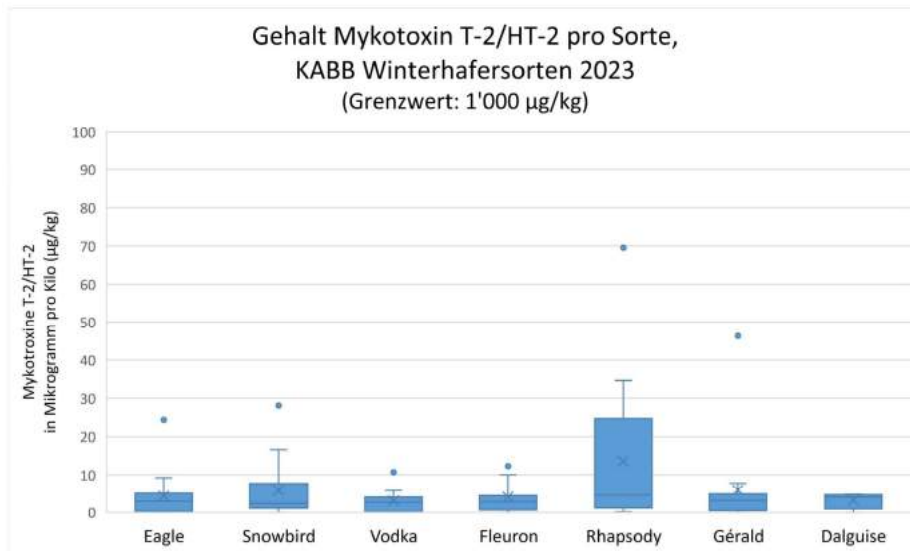


Abbildung 7: Mykotoxin-Gehalte der Winterhafersorten in Mikrogramm pro Kilogramm nach Sorte im Jahr 2023.

Die Mykotoxin-Belastung der Hafersorten war im Anbaujahr 2023 erfreulich tief. Die Grafik (Abb. 7) zeigt die gefundenen Mykotoxin-Mengen aus den einzelnen Sortenmuster von T-2 / HT-2. Der Mittelwert, aber auch die Einzelwerte der Standorte, lagen für alle Winterhafersorten weit unter dem Grenzwert (1000 µg / kg Erntegut). Die Sorte Rhapsody zeigte die höchsten Werte, wenn auch auf sehr tiefem Niveau. Der höchste Wert der als Ausreisser betrachtet werden muss, lag bei 70 µg/kg und unterschreitet damit den Grenzwert immer noch um das 140-fache.

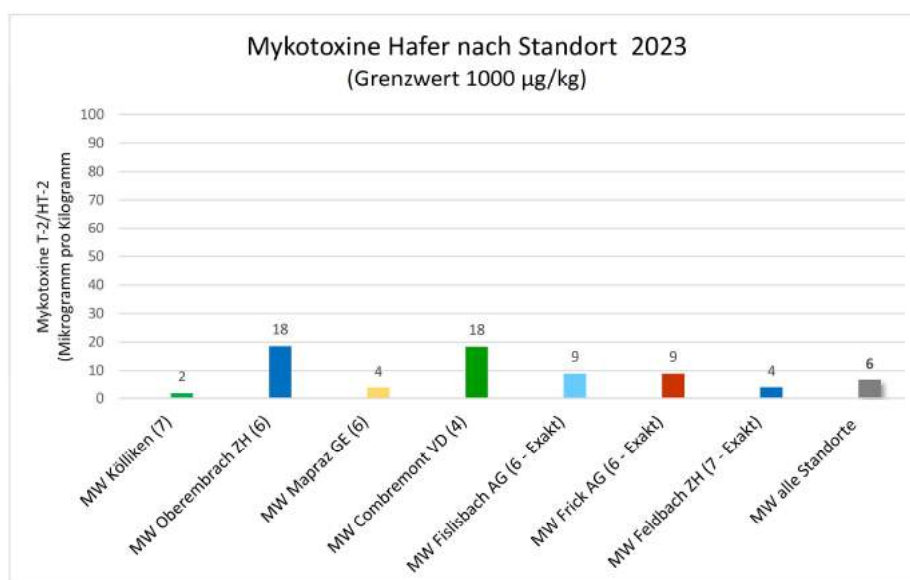


Abbildung 8: Mittlere Mykotoxin-Gehalte von Winterhafer in Mikrogramm pro Kilogramm an den einzelnen Standorten im Jahr 2023. Die Achsenbeschriftung zeigt die Anzahl der angebauten Sorten und erwähnt die Standorte mit Exaktversuchen.

Mit dem Vergleich der durchschnittlichen Mykotoxin-Gehalte an den einzelnen Standorten soll der Befallsdruck aufgrund der Umweltbedingungen verglichen werden (Abb. 8). Dazu gehören die Vorkultur, die gewählte Anbautechnik (z.B. Pflugverzicht) und der Unkrautdruck; diese unterscheiden sich je nach Situation und Strategie der Praxisbetriebe. Die Klimaverhältnisse an den Versuchsstandorten waren zwar unterschiedlich, das trockene, warme und sonnige Wetter von Ende Mai bis Juli 2023 waren aber für alle Standorte prägend. Der Krankheitsdruck für Ährenfusarien war dementsprechend gering.

Swiss Granum beschreibt das Getreidejahr 2023 als aussergewöhnlich erfreulich in Bezug auf die Mykotoxinbelastung der analysierten Getreideposten. Bei Gerste waren 98 Prozent der Proben frei von Mykotoxinen, bei Weizen sogar 100 Prozent. Winterhafer wurde nicht analysiert. Die Blühphase und Ernte dieser Getreideart liegt in der Regel zwischen Gerste und Weizen. Die gefundenen Analyseresultate im Vergleich der Winterhafersorten widerspiegeln die Gesamtsituation in der Schweiz.

3.8 Eignung der Sorten für die Herstellung von Hafermilch

Die einzelnen Winterhafersorten sollen auf ihre Eignung zur Herstellung von Hafermilch untersucht werden. Die Aufbereitung, Verarbeitung und Degustation der Proben aus dem Versuchsjahr 2023 steht noch aus. Die Resultate werden im Zwischenbericht 2024 enthalten sein.

4. Beratungstätigkeit

Die Winterhafer-Sortenversuche und die Zwischenresultate sollen im Rahmen verschiedener Anlässe den interessierten Biolandwirten und Branchenteilnehmer/innen vorgestellt werden.

Im Versuchsjahr 2023 war die Besichtigung bei folgenden Gelegenheiten möglich:

- Flurgang am 31. Mai in Kölliken AG
- Flurgang am 26. Juni 2023 in Oberembrach ZH
- Auswertungssitzung 4. September von Bio Suisse in Olten
- Sitzung 7. September von Swissem in Delley
- Produzententreffen Biofarm 13. Dezember 2023
- Die Resultate werden auf www.bioaktuell.ch öffentlich publiziert und stehen allen Interessierten zur Verfügung.



Feldrundgang am Standort Oberembrach ZH im Juni 2023 (Bild: K. Carrel, FiBL)

5. Schlussfolgerungen

Das Versuchsjahr 2023 war geprägt vom nass-kühlen Frühjahr und einem überdurchschnittlich warmen und trockenen Sommer. Standorte in der Westschweiz waren besonders stark von Hitze- und Trockenheitsstress betroffen. An keinem der Versuchsstandorte wurden Auswinterungsschäden an den Winterhafersorten festgestellt.

Mit der durch den Klimawandel verursachten Zunahme von extremen Wetterereignissen, werden in Zukunft Sorten an Bedeutung zunehmen, die sich durch ihre Stabilität gegenüber Umwelteinflüssen auszeichnen.

Im Fall der geprüften Winterhafersorten sind im Versuchsjahr 2023 die Sorten FLEURON und SNOWBIRD, aber auch VODKA, besonders positiv aufgefallen. Sie zeigten bei den Erträgen die kleinste Streuung zwischen den verschiedenen Standorten. Einige der ertragsstarken Sorten eignen sich nur für den Anbau an günstigen Standorten. Dies trifft besonders auf den Winterhafer RHAPSODY zu, der nur an den Standorten Oberembrach ZH und Frick AG gute Erträge mit einer genügenden Qualität (HLG) lieferte; an drei Versuchsstandorten war die Qualität von RHAPSODY ungenügend, das Hektolitergewicht fiel unter 50 kg/hl (Deklassierung zu Futterhafer). Die beiden Sorten VODKA und EAGLE zeigten eine mittlere Ertragsstabilität und erreichten im Hektolitergewicht genügende bis gute Werte. Die Sorte GERALD fiel im Anbaujahr 2023 ertragsmässig hinter die übrigen Sorten zurück, die Streuung der Ertragswerte war sehr gross zwischen den einzelnen Standorten. Einzig am Standort Oberembrach ZH erreichte GERALD einen sehr schönen Ertrag von 68.8 dt/ha, seine Hektolitergewichte waren genügend bis gut.

Die Mykotoxin-Belastung der Hafersorten war im Anbaujahr 2023 erfreulich tief. Der Mittelwert, aber auch die Einzelwerte der Standorte, lagen für alle Winterhafersorten weit unter dem Grenzwert (1000 µg / kg Erntegut). Das trockene, warme und sonnige Wetter zwischen Ende Mai bis Juli 2023 waren für die verschiedenen Versuchsstandorte prägend. Der Krankheitsdruck für Ährenfusarien war dementsprechend gering. Unterschiede in der Anfälligkeit der einzelnen Sorten konnten im ersten Versuchsjahr aufgrund der günstigen Wetterverhältnisse nicht beurteilt werden.

Die Ertragsbildung von Hafer weist einige Besonderheiten auf. Insbesondere die Bildung von unterschiedlich grossen Körnern erster, zweiter und dritter Ordnung wirkt sich auf die Qualität resp. das Hektolitergewicht aus. Der Saatzeitpunkt, die Pflanzendichte (Standraum) und die Klimabedingungen während der Blüte und Kornfüllungsphase beeinflussen nicht nur den Ertrag, sondern auch die Qualität der Haferkörner. Diese Aspekte sollten weiter untersucht werden.

Die Züchtung robuster, stabiler Sorten und eine dem Standort angepasste Sortenwahl bleibt die Basis für einen nachhaltigen Anbau von Speisehafer.

6. Dank

Ein grosser Dank geht an unsere Versuchspartner, die Praxisbetriebe und die Mitarbeitenden der gzpk Getreidezüchtung Peter Kunz, für ihre Beteiligung und ihr Engagement bei der Durchführung des Winterhafer-Sortenversuchs. Sie haben ihre Flächen und Anbaudaten zur Verfügung gestellt und während der ganzen Anbausaison die zusätzlichen Arbeiten ausgeführt, welche für die Versuchsanlage, die Pflegearbeiten und für die separate Ernte der Sortenstreifen und Exaktversuche notwendig waren.

Herzlichen Dank für die finanzielle Unterstützung des Winterhafer-Sortenversuches an:

- Bio Suisse, FG Ackerkulturen
(Unterstützung aus dem Fonds Ackerbau für die Auswertung und Koordination KABB Fonds)
- Dem Biosaatgutfonds (u.a. aus Lenkungsabgaben) für Saatgut und Analysen durch die Getreidzüchtung Peter Kunz
- SwissSem Fonds Biosaatgut
- Kantonale Fachstelle für Biolandbau Liebegg, Gränichen, AG
- Kantonale Fachstelle Biolandbau, Strickhof, Lindau, ZH
- Kantonale Fachstelle Biolandbau, Arenenberg, TG

7. Literatur

- CARRARO-LEMES, C.F. et al. "Analysis of Genotypic Variability in Avena spp. Regarding Allelopathic Potentiality." *Planta daninha* [online]. 2019, vol. 37, [cited 2024-01-25], e019191107. Available from: <<https://awsjournal.org/article/analysis-of-genotypic-variability-in-avena-spp-regarding-allelopathic-potentiality/>>. ISSN.
- DE COLLI, Lorenzo et al. "Determination of 42 mycotoxins in oats using a mechanically assisted QuEChERS sample preparation and UHPLC-MS/MS detection." *Journal of chromatography. B, Analytical technologies in the biomedical and life sciences* vol. 1150 (2020): 122187. doi:10.1016/j.jchromb.2020.122187
- EDWARDS, S.G., and STANCIC, T. "Susceptibility of UK oat (*Avena sativa*) varieties to infection by *Fusarium* species and subsequent HT-2 and T-2 toxin contamination." *Plant Breed.* 2022;1–7. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pbr.13067>
- HOWARTH, Catherine J et al. "Genotype and Environment Affect the Grain Quality and Yield of Winter Oats (*Avena sativa* L.)." *Foods* (Basel, Switzerland) vol. 10,10 2356. 3 Oct. 2021, doi:10.3390/foods10102356
- LÜTKE ENTRUP, N. et SCHÄFER, B.C. "Lehrbuch des Pflanzenbaues." AgriConcept GmbH, Bonn. 3. Auflage, Band 2: Kulturpflanzen (2011): S.443-455.
- MANTAI, Rubia D. et al. "Simulation of oat grain (*Avena sativa*) using its panicle components and nitrogen fertilizer." *African Journal of Agricultural Research* 11 (2016): 3975-3983.
- MARTIN, Charlotte et al. "Responses of Oat Grains to *Fusarium poae* and *F. langsethiae* Infections and Mycotoxin Contaminations." *Toxins* vol. 10,1 47. 20 Jan. 2018, doi:10.3390/toxins10010047
- MUT, Zeki & al. (2016). "Grain Yield and Some Quality Traits of Different Oat (*Avena sativa* L.) Genotypes." *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)* Vol-2, Issue-12, December- 2016: p.83-88. ISSN: 2454-1850
- SWISSGRANUM (2023). "Massnahmen gegen Mykotoxine." Abgerufen am 28.01.2023 von <https://www.swissgranum.ch/qualitaet/toxine>.

8. Anhang

Felddaten Standort Payerne VD

Kultur / culture: Winterhafer

Name, Ort nom, lieu	Hafer Versuch / Bruno Graf / Valbroye (Payerne VD)
m.ü. Meer altitude	630 m
Parzelle Name nom de parcelle	<u>Cuassire</u>
Niederschlagsmenge mm/Jahr précipitation annuelle (mm)	1000mm
Bodenart nature du sol	Mittlerer Boden
Bodentyp type de sol	Mittelschwerer Lehm Boden
Vorfrucht pré-culture	Dinkel
Zwischenkultur culture intermediaire	Gründüngung (Phacelia,Klee)
Bodenbearbeitung travail du sol	Pflug
Saattermin date de semaille	24. Oktober 2022
Saatmenge [Kö/m²] Quantité des graines (graines/ m²)	+400 Kö/m ²
Unkrautregulierung Methode de desherbage	Striegel
Düngung (Datum, Art Dünger, Menge, Ausgebrachte Menge N) fertilisation, date, quantité et type d'engrais)	15.02.2023; 260kg Biorga Vegi / 325 kg Biosol / 1.20 ha = 30N
Erntedatum date de recolte	10.07.2023
Bemerkungen commentaires	

Felddaten Standort Meinier / Mapraz GE

Kultur / culture: Winterhafer

Name, Ort/Nom, Lieu	Ferme expérimentale de Mapraz, Thônex, Genève
M.ü. Meer altitude	431 m
Parzelle Name nom de parcelle	Parcelle 6
Niederschlagsmenge mm/Jahr précipitation annuelle (mm)	828 mm (moyenne depuis 2010)
Bodenart (Ton, Schluff, Sand, pH) Nature du sol (argile, lemon, sable, pH)	Lourd (argile limoneuse) 39 à 49% d'argile 36 à 46% de silt pH 7.7
Bodentyp type de sol	-
Fruchtfolge (Reihenfolge) Rotation (ordre)	Céréales, niche, soja, céréales, luzerne, luzerne Précédent : soja
Zwischenkultur culture intermediaire	non
Bodenbearbeitung, Vorbereitung der aussaat travail du sol, préparation du se- mis	Labour, herse rotative
Saattermin date de semis	20.10.22
Saatmenge [Kö/m²] Quantité des graines (graines/ m²)	300 grains /m ²
Unkrautregulierung (Was, wie oft) Methode de desherbage (quoi, combien des fois)	Herse étrille 23.3.23
Erntedatum date de recolte	21.7.23
Herausforderungen im Anbau Les défis de la culture	Avoir le bon poids à l'hectolitre, verse en fin de saison.
Bemerkungen commentaires	Pas de fertilisation (2 ans de luzerne avant le soja)

Felddaten Standort Oberembrach ZH

Kultur / culture: Winterhafer

Name, Ort nom, lieu	Andreas Huber, Oberembrach ZH
m.ü. Meer altitude	640 Meter über Meer
Parzelle Name nom de parcelle	Rüteli 3
Niederschlagsmenge mm/Jahr précipitation annuelle (mm)	21.09.2022 – 21.09.2023 -> 1043 mm
Bodenart nature du sol	Lehm
Bodentyp type de sol	Braunerde, gleyig, kolluvial, tonhüllig
Vorfrucht pré-culture	Zwiebeln
Zwischenkultur culture intermediaire	-
Bodenbearbeitung travail du sol	Pflügen: 04.10.2022, Kreiselegge: 06.10.2022
Saattermin date de semaille	06.10.2022
Saatmenge [Kö/m²] Quantité des graines (graines/ m²)	350 Kö/m ²
Unkrautregulierung Methode de desherbage	Striegeln: 22.03.2023, 10.04.2023
Düngung (Datum, Art Dünger, Menge, Ausgebrachte Menge N) fertilisation, date, quantité et type d'engrais)	20.03.2023, Rindermast Gülle, 30 m ³ , 32 kg N/ha 23.05.2023, Rindermast Gülle, 30 m ³ , 32 kg N/ha
Erntedatum date de recolte	15.07.2023
Bemerkungen commentaires	

Felddaten Standort Gränichen AG

Kultur / culture: Winterhafer

Name, Ort nom, lieu	Gränichen AG
m.ü. Meer altitude	434
Parzelle Name nom de parcelle	-
Niederschlagsmenge mm/Jahr précipitation annuelle (mm)	1100 mm NS
Bodenart nature du sol	Lehmiger Sand
Bodentyp type de sol	
Vorfrucht pré-culture	Soja
Zwischenkultur culture intermediaire	Keine
Bodenbearbeitung travail du sol	
Saattermin date de semaille	15.10.2022
Saatmenge [Kö/m²] Quantité des graines (graines/ m²)	400 Kö/m ²
Unkrautregulierung Methode de desherbage	-
Düngung (Datum, Art Dünger, Menge, Ausgebrachte Menge N) fertilisation, date, quantité et type d'engrais)	keine
Erntedatum date de recolte	22. Juli 2023
Bemerkungen commentaires	

Felddaten Standort Frick AG

Kultur / culture: Winterhafer

Name, Ort nom, lieu	Frick 5070
m.ü. Meer altitude	353
Parzelle Name nom de parcelle	Ritzlete
Niederschlagsmenge mm/Jahr précipitation annuelle (mm)	
Bodenart nature du sol	
Bodentyp type de sol	
Vorfrucht pré-culture	Kunstwiese
Zwischenkultur culture intermediaire	
Bodenbearbeitung travail du sol	Pflügen
Saattermin date de semaille	06.10.2022
Saatmenge [Kö/m²] Quantité des graines (graines/ m²)	330 K/m ²
Unkrautregulierung Methode de desherbage	Striegeln
Düngung (Datum, Art Dünger, Menge, Ausgebrachte Menge N) fertilisation, date, quantité et type d'engrais)	70 kg N mit Biorga am 14.03.23
Erntedatum date de recolte	17.7.2023
Bemerkungen commentaires	

Felddaten Standort Fislisbach AG

Kultur / culture: Winterhafer

Name, Ort nom, lieu	Fislisbach 5442
m.ü. Meer altitude	422
Parzelle Name nom de parcelle	???
Niederschlagsmenge mm/Jahr précipitation annuelle (mm)	
Bodenart nature du sol	
Bodentyp type de sol	
Vorfrucht pré-culture	Kartoffeln
Zwischenkultur culture intermediaire	Kunstwiese
Bodenbearbeitung travail du sol	Eggen
Saattermin date de semaille	07.10.2022
Saatmenge [Kö/m²] Quantité des graines (graines/ m²)	330 K/m ²
Unkrautregulierung Methode de desherbage	Striegeln
Düngung (Datum, Art Dünger, Menge, Ausgebrachte Menge N) fertilisation, date, quantité et type d'engrais)	70 kg N mit Biorga am 14.03.23
Erntedatum date de recolte	19.7.2023
Bemerkungen commentaires	

Felddaten Standort Feldbach ZH

Kultur / culture: Winterhafer

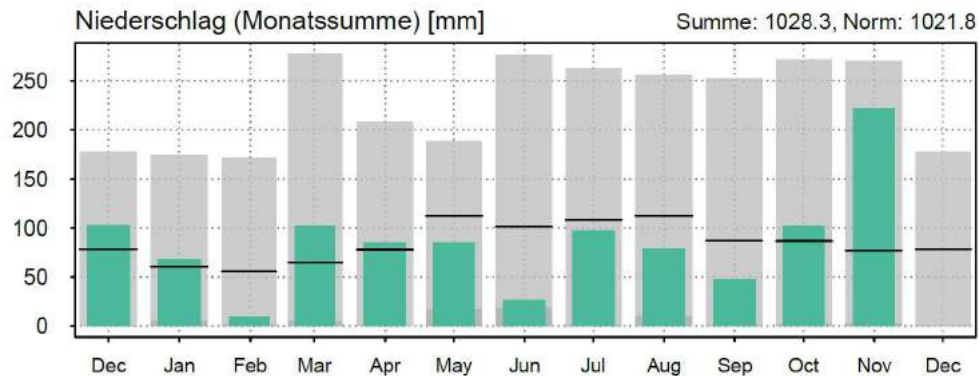
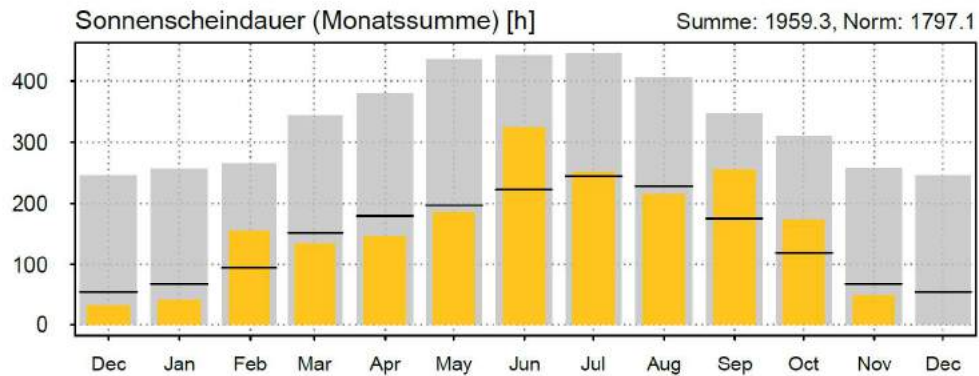
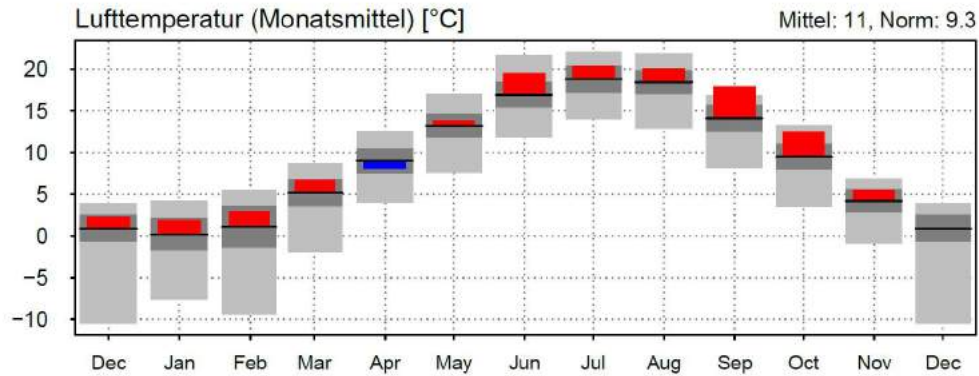
Name, Ort nom, lieu	GZPK, Feldbach
m.ü. Meer altitude	440m üNN
Parzelle Name nom de parcelle	Schlag I
Niederschlagsmenge mm/Jahr précipitation annuelle (mm)	1400
Bodenart nature du sol	
Bodentyp type de sol	Braunerde
Vorfrucht pré-culture	Mais
Zwischenkultur culture intermediaire	-
Bodenbearbeitung travail du sol	Pflug/Kreiselegge 06.10.2022/10.10.2022
Saattermin date de semaille	11.10.2022
Saatmenge [Kö/m²] Quantité des graines (graines/ m²)	400
Unkrautregulierung Methode de desherbage	Hacke 08.03.2023
Düngung (Datum, Art Dünger, Menge, Ausgebrachte Menge N) fertilisation, date, quantité et type d'engrais)	-
Erntedatum date de recolte	19.07.2023
Bemerkungen commentaires	

Klimadaten 2023 (Beispiel Region Bern)

Bern / Zollikofen

Dez 2022 – Nov 2023

553 m
46.99 N, 7.46 E

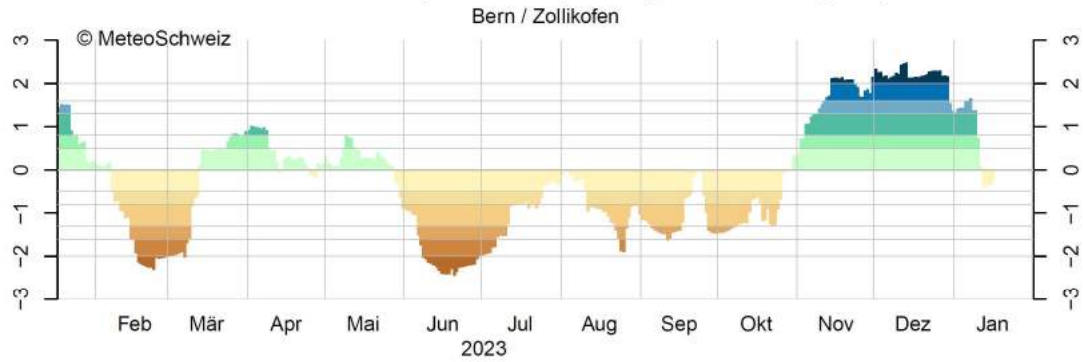


- Lufttemperatur (Monatsmittel)
 - Norm (Referenzperiode 1991 – 2020)*
 - Standardabweichung der Norm (Referenzperiode 1991 – 2020)*
 - Bandbreite zwischen Maximum und Minimum (Zeitraum 01.1864 – 11.2022)*
- Sonnenscheindauer (Monatssumme)
 - Norm (Referenzperiode 1991 – 2020)*
 - Maximal mögliche Sonnenscheindauer
- Niederschlag (Monatssumme)
 - Norm (Referenzperiode 1991 – 2020)*
 - Maximum (Zeitraum 01.1864 – 11.2022)*
 - Minimum (Zeitraum 01.1864 – 11.2022)*

Quelle: Meteo Schweiz

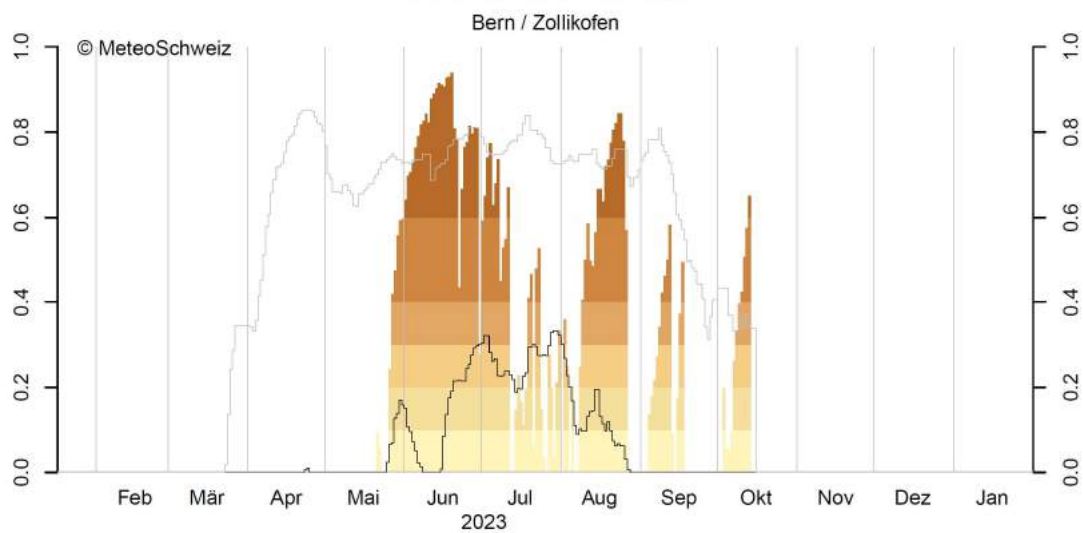
Trockenheitsstress 2023 (Beispiel Region Bern)

Wasserbilanz-Abweichungen gegenüber der Norm (SPEI)



Klimatische Wasserbilanz (Niederschlag minus potenzielle Evapotranspiration) über jeweils 1 Monat, standardisiert auf die Klimatologie von 1961 bis 16.01.2024.

Trockenheitsindex ARID



ARID (Agricultural Reference Index for Drought): Trockenheits-Indikator für die Vegetation. ARID= 0 bedeutet optimale Wasserversorgung, ARID=1 maximaler Trockenstress.

- ARID > 0
- Median der Vergleichsperiode 1991 – 2023
- 5%- und 95%-Perzentile der Vergleichsperiode 1991 – 2023

Quelle: BUWAL

Nachweis von T-2 und HT-2 Toxin in Hafer (Methodik)

Quantitative Bestimmung mittels Enzymimmunoassay

1. Allgemeines

T-2 und HT-2 Toxine sind Mykotoxine der Gruppe der Trichothecene. Pilze und Fusarienarten sind für deren Entstehung verantwortlich. Die Toxine können in landwirtschaftlichen Produkten wie z.B. Hafer vorkommen. Ihre zytotoxischen und immunsuppressiven Wirkungen machen sie zu einem Gesundheitsrisiko für Mensch und Tier (*RIDASCREEN® T-2 / HT-2 Toxin*, o. J.).

T-2 und HT-2 Toxine können nach geeigneter Probenvorbereitung mit einem Enzymimmunoassay quantitativ bestimmt werden. Die Nachweisgrenze des Testkits von Ridascreen liegt für Hafer bei ca. 16 µg/kg und somit unter den Richtwerten der EU (*RIDASCREEN® T-2 / HT-2 Toxin*, o. J.).

2. Probenvorbereitung

Ungefähr 300 ml der nicht getrockneten Haferprobe wurden mit einer Schneidemühle gemahlen. Die Proben wurden anschliessend in Papiertüten bis zur Extraktion und Bestimmung im Dunkeln und bei Raumtemperatur aufbewahrt.

3. Bestimmung der T-2 und HT-2 Toxine

Für den Nachweis der Toxine wurde eine Enzymimmunoassay der Firma R-Biopharm (*RIDASCREEN® T-2 / HT-2 Toxin* Art. Nr. R3805) bestellt. In diesem Testkit sind alle Reagenzien zur Extraktion, Kalibration und Bestimmung der Toxine enthalten.

3.1 Testprinzip

Der Test basiert auf einer Antigen-Antikörper Reaktion. Die Kavitäten der Mikrotiterplatte sind mit Fänger-Antikörper beschichtet. T-2 Toxin an ein Enzym gebunden, ein sogenanntes T-2 Enzymkonjugat konkurrenziert mit freiem T2-Toxin um Antikörper-Bindungsstellen. Nicht gebundene, noch in Lösung befindende Toxine werden in einem zweiten Schritt gewaschen. Anschliessend wird ein Substrat mit Farbstoff zugegeben. Das Substrat bindet an das Enzymkonjugat und bildet ein blaues Endprodukt. Durch Zugabe einer Stopplösung wechselt die Farbe von blau nach gelb. Je mehr T2- und HT2-Toxine sich in der Probelösung befinden, desto weniger Enzymkonjugate binden an die Antikörper und desto geringer ist die Farbreaktion.

3.2 Extraktion

Der Extraktionspuffer des Kits wurde 1/10 verdünnt. 5 g Hafer wurden in 50 ml Reagenzröhrchen eingewogen, mit 25 ml des verdünnten Extraktionspuffer versetzt, für 10 min geschüttelt und anschliessend bei 3000 g für 10 min zentrifugiert.

1 ml des Überstands würde mit 1 ml 70% Methanol¹ verdünnt. Der so verdünnte Überstand wird nachfolgend Probe genannt

3.3 Testdurchführung

Alle Reagenzien auf Raumtemperatur bringen. PBS-Tween-Puffer herstellen indem das Waschpuffersalz des Kits in 1l deion. Wasser gelöst wird.

50 µl Probe wurden in eine Kavität der Enzymassay-Platte pipettiert. Pro Probe wurde eine Doppelbestimmung durchgeführt. 50 µl Konjugat und anschliessend 50 µl Antikörperlösung wurden dazugegeben und vorsichtig mit der Pipette gemischt. Nach Inkubation für 30 min bei Raumtemperatur wurden die Kavitäten geleert und mit 250 µl Waschflüssigkeit gewaschen. Dies wurde zweimal wiederholt.

Anschliessend wurden 100 µl Substrat/Chromogen in die Kavität pipettiert, gemischt und für 15 min im Dunkeln bei Raumtemperatur inkubiert.

Mit der Zugabe von 100 µl Stopplösung wurde die Reaktion gestoppt. Innerhalb von 30 min nach Zugabe wurde die Extinktion bei 450 nm gemessen. Dazu wurde einen Plattenleser von TECAN benutzt.

Für die Kalibration und anschliessende Berechnung der Toxin-Konzentration wurden die im Kit enthaltenen sechs Standardlösungen (0 – 36 µg/l) verwendet. Es wurde gleich verfahren wie mit den Probelösungen, anstelle der Probe wurde entsprechend 50 µl des jeweiligen Standards verwendet.

3.4 Berechnung der Konzentrationen

Die gemessene Extinktion wurde durch die Extinktion des Nullstandards (0 µg/l) geteilt (% Extinktion). Der Nullstandard entspricht also 100 %. Mit Hilfe der Kalibrationskurve wurden die % Extinktionswerte der Proben in µg/l T-2 und HT-2 Toxinkonzentration umgerechnet. Die Umrechnung in µg/kg erfolgte wie in Formel 1 dargestellt.

$$x \frac{\mu\text{g}}{\text{l}} \text{ Toxin} \times 2 \times \frac{0.025 \text{ l}}{0.005 \text{ kg}} = x \frac{\mu\text{g}}{\text{l}} \text{ Toxin} \times 10 \frac{\text{l}}{\text{kg}} = x \frac{\mu\text{g}}{\text{kg}} \text{ Toxin}$$

Formel 1: Umrechnung µg/l Toxin zu µg Toxin pro kg Hafer: Verdünnungsfaktor Überstand: 2, Extraktionsvolumen: 25 ml, Einwaage Hafer 5 g

¹ Methanol/dest. Wasser (70/30 v/v)

Grundlage ist die Antigen-Antikörper-Reaktion. Die Vertiefungen der Mikrotiterstreifen sind mit Fänger-Antikörpern gegen anti-T-2 Toxin-Antikörper beschichtet. Zugegeben werden Standards bzw. Probelösung, enzymmarkiertes T-2 Toxin (Enzymkonjugat) und anti-T-2 Toxin-Antikörper. Freies und enzymmarkiertes T-2 Toxin konkurrieren um die T-2 Toxin-Antikörperbindungsstellen (kompetitiver Enzymimmunoassay). Gleichzeitig werden auch die anti-T-2 Toxin-Antikörper von den immobilisierten Fänger-Antikörpern gebunden. Nicht gebundenes, enzymmarkiertes T-2 Toxin wird anschließend in einem Waschschrift wieder entfernt. Der Nachweis erfolgt durch Zugabe von Substrat und Chromogen. Gebundenes Enzymkonjugat wandelt das Chromogen in ein blaues Endprodukt um. Die Zugabe der Stopp-Lösung führt zu einem Farbumschlag von blau nach gelb. Die Messung erfolgt photometrisch bei 450 nm; die Extinktion der Lösung ist umgekehrt proportional zur T-2 Toxin-Konzentration in der Probe.

