



Weizenzüchtung und Klimarisiken

Mehr als 125 Jahre Weizenselektion in der Westschweiz

Dario Fossati
PAG 2025





Plan

1. Entwicklungsstadien von Weizen und Klimarisiken
2. Welche genetische Variabilität? bei möglicher Selektion?
3. Was ist im Jahr 2024 passiert?
4. Zukunft?
5. Schlussfolgerungen





Züchtung Herausforderungen

1. **relevante Zuchtziele definieren**

Die Zukunft in einem Zeitraum von mindestens 10-15 Jahren (bei Weizen) voraussehen !

2. Zugang zu einer großen genetischen Vielfalt haben, sie erforschen oder schaffen!

3. Alle vorhandenen technischen Hilfsmittel effizient nutzen

4. Mit den zur Verfügung stehenden Mitteln umgehen

5. Den besten Zugang zu Märkten finden

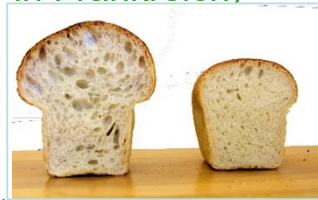


Züchtung Herausforderungen

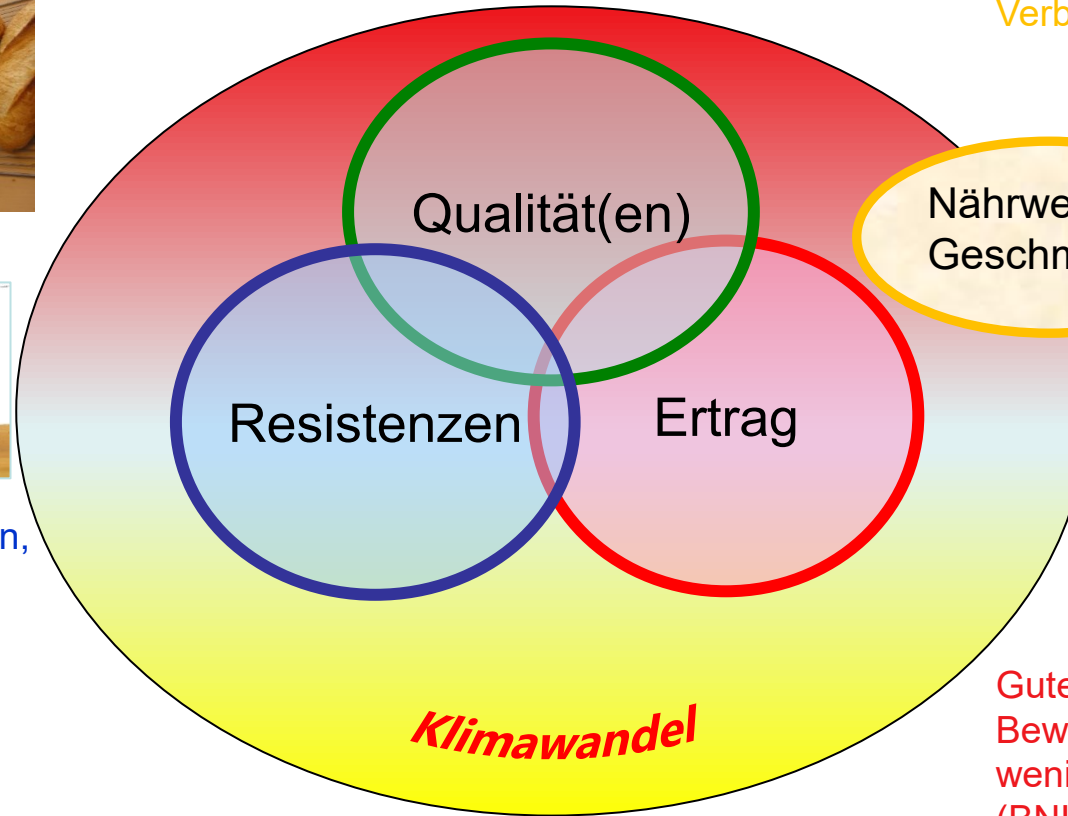
1. relevante Zuchtziele definieren



Leader in der Schweiz für Qualität Top und 1 (30% der BAF in Frankreich)



Ausreichende Resistenzen für den „Extenso“-Anbau in 85% der Situationen, derzeit >70%.



Verbesserung der Nährwerte

Nährwert & Geschmack



Gute Erträge auch bei extensiver Bewirtschaftung (~130 UN/ha) weniger N-Verluste (BNI wheat)





Züchtung Herausforderungen

1. Die Definition von Zuchtzielen hängt von der Umwelt (im weitesten Sinne) ab, die in ~15 Jahren erwartet wird:

Von den vielen Dingen, die es zu berücksichtigen gilt, stehen viele unter dem Einfluss des **Klimas**:

- Standorte ?, Bodenfruchtbarkeit ?
- Verwendbare Betriebsmittel (Herbizide, Fungizide, Saatgutbehandlung, ...) ?
- Anbautechniken (**Mögliche Aussattermin und -art**, Extenso, Bio, ÖLN, Mechanisierung, No-till, GVZ, Agroforstwirtschaft, Einsatz von Robotern, ...) ?
- **Aktuelle und zukünftige Krankheiten und Schädlinge** ?
- Bedürfnisse der Verarbeiter (Müllerei, Bäckerei) und der Verbraucher ?
 - Welche Qualitäten sind erwünscht ?
 - **Auswirkungen des Klimas auf die Qualitätsstabilität !**
- Mögliche Substitutionen

Man muss die häufigsten abiotischen Risiken kennen , die risikoreichsten !



Klimatische Eignung für den Winterweizen Anbau

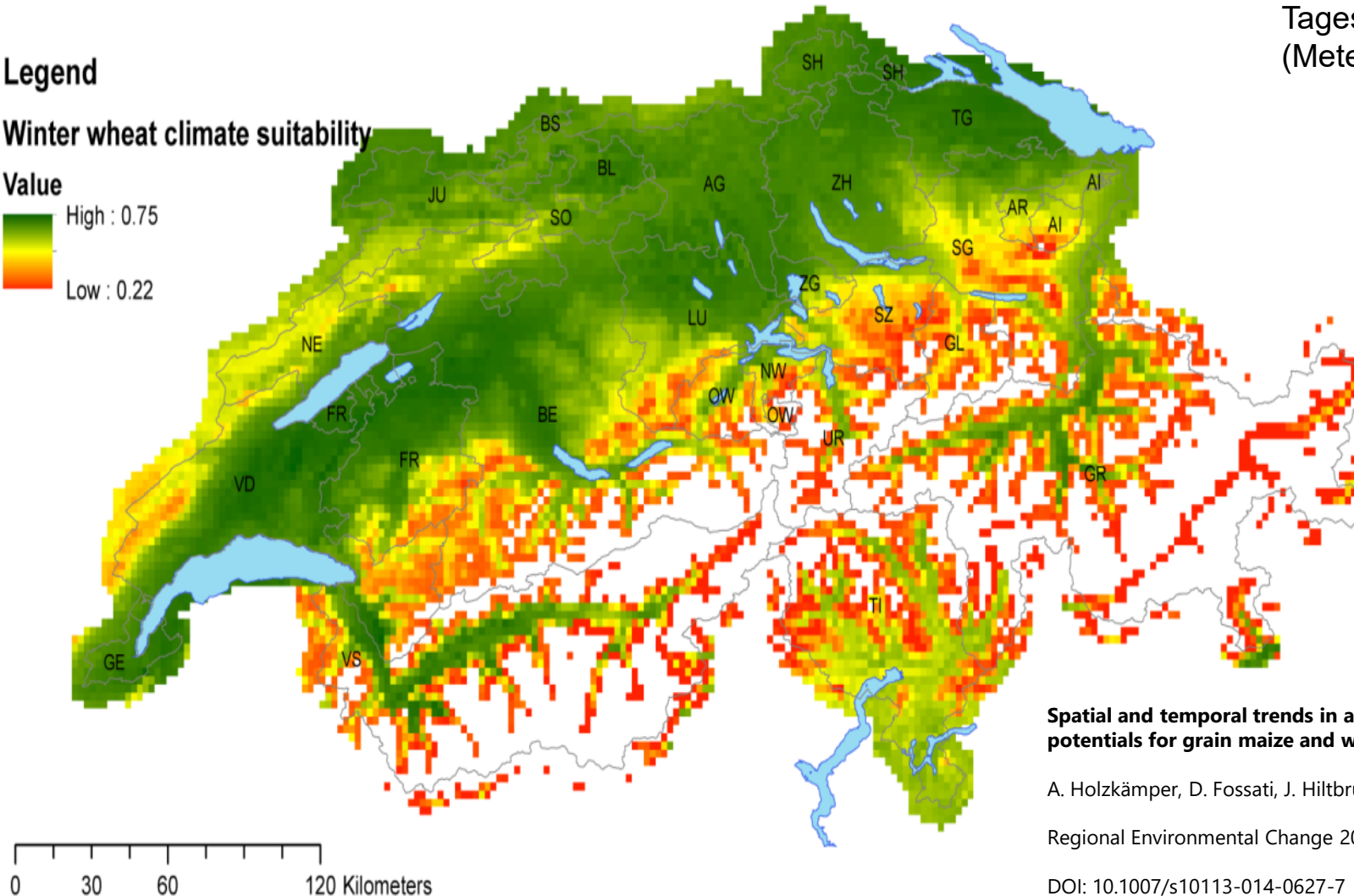
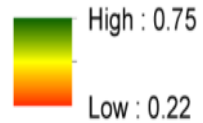
Mittel 1984-2010

Berechnung basierend auf
interpolierten
Tagestemperaturen
(MeteoSchweiz 2012)

Legend

Winter wheat climate suitability

Value



Spatial and temporal trends in agro-climatic limitations to production potentials for grain maize and winter wheat in Switzerland

A. Holzkämper, D. Fossati, J. Hiltbrunner and J. Fuhrer

Regional Environmental Change 2015 Vol. 15 Issue 1 Pages 109-122

DOI: 10.1007/s10113-014-0627-7



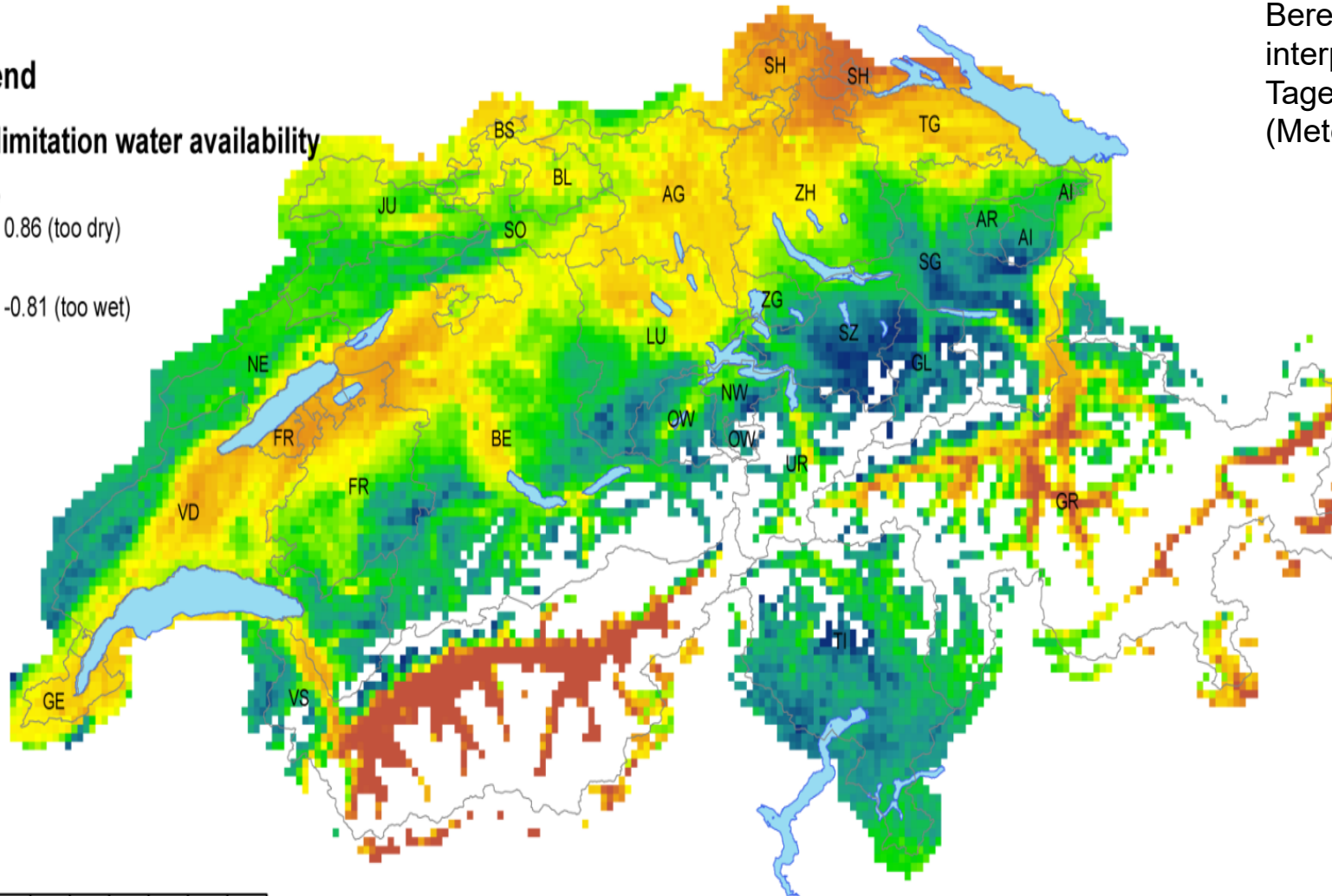
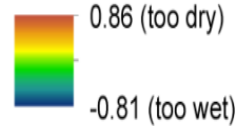
Begrenzende Faktoren

...Wassermangel

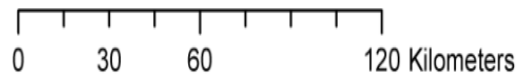
Legend

WW limitation water availability

Value



Berechnung basierend auf interpolierten Tagestemperaturen (MeteoSchweiz 2012)





Häufigster limitierender Faktor

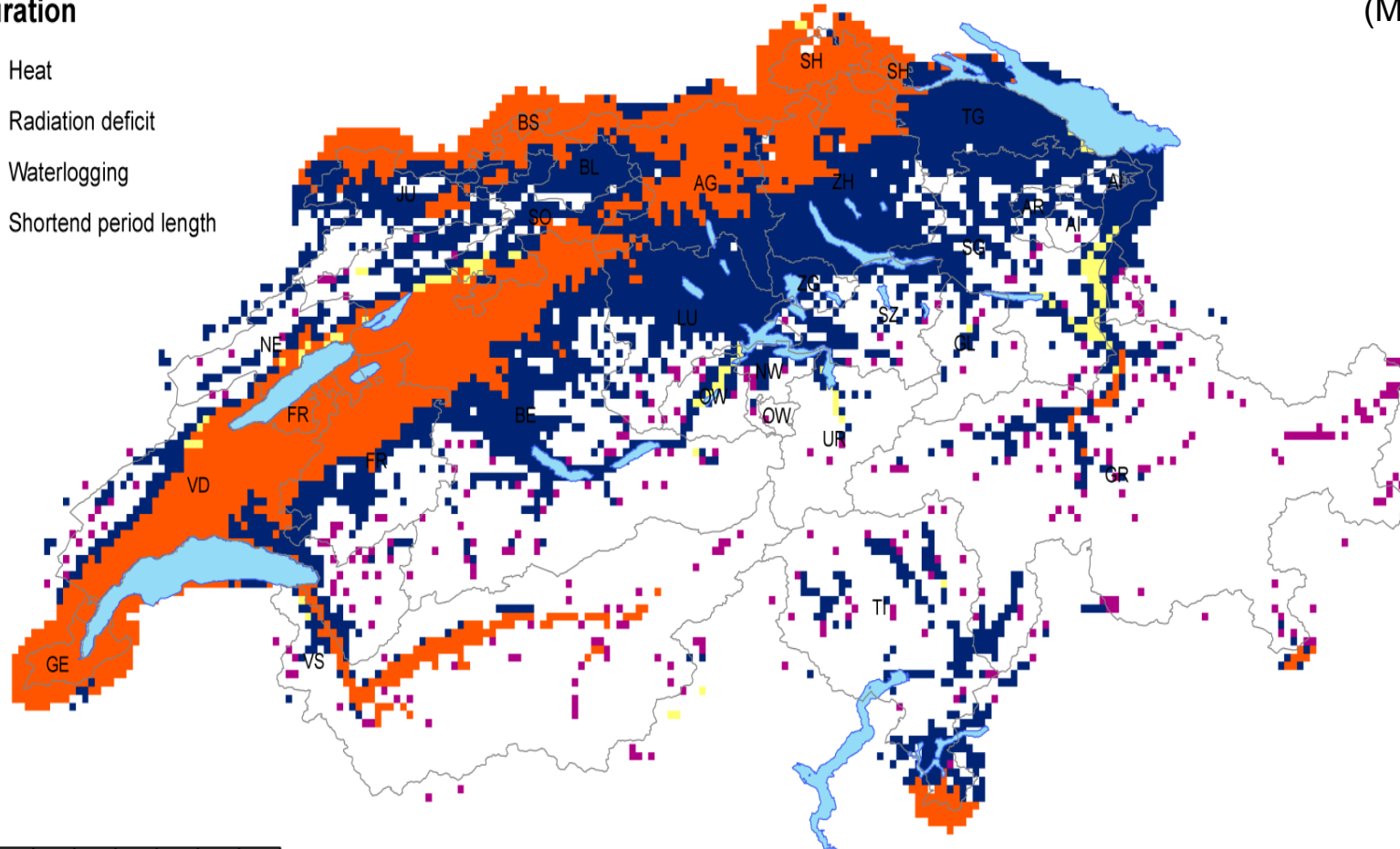
...während der Reifephase

Legend

Maturation

- Heat
- Radiation deficit
- Waterlogging
- Shortend period length

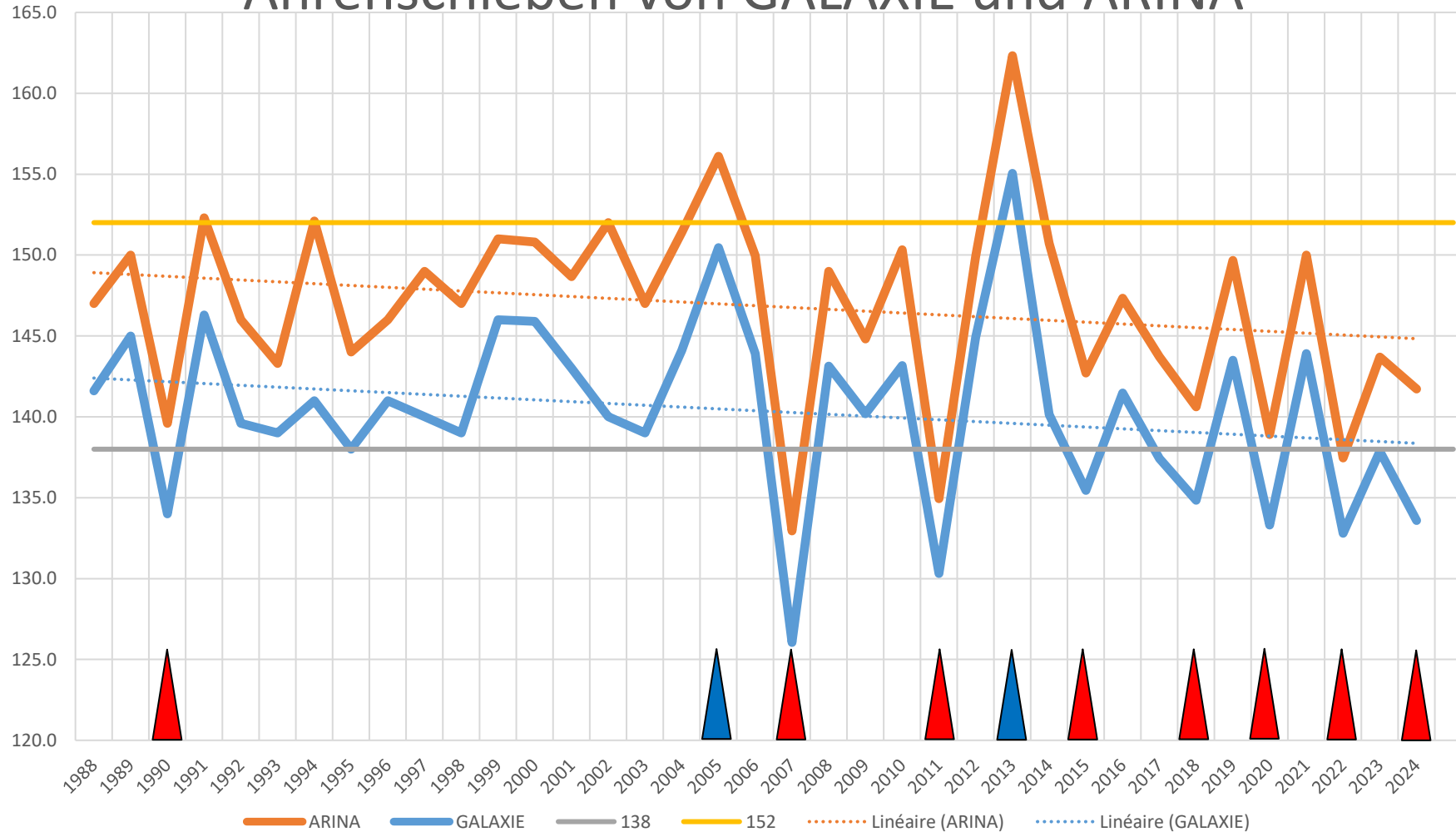
Berechnung basierend auf interpolierten Tagestemperaturen (MeteoSchweiz 2012)





Klimaentwicklung

Ährenschieben von GALAXIE und ARINA



Im Durchschnitt ist der Zeitpunkt des Ährenschiebens 4 Tage früher als 1988

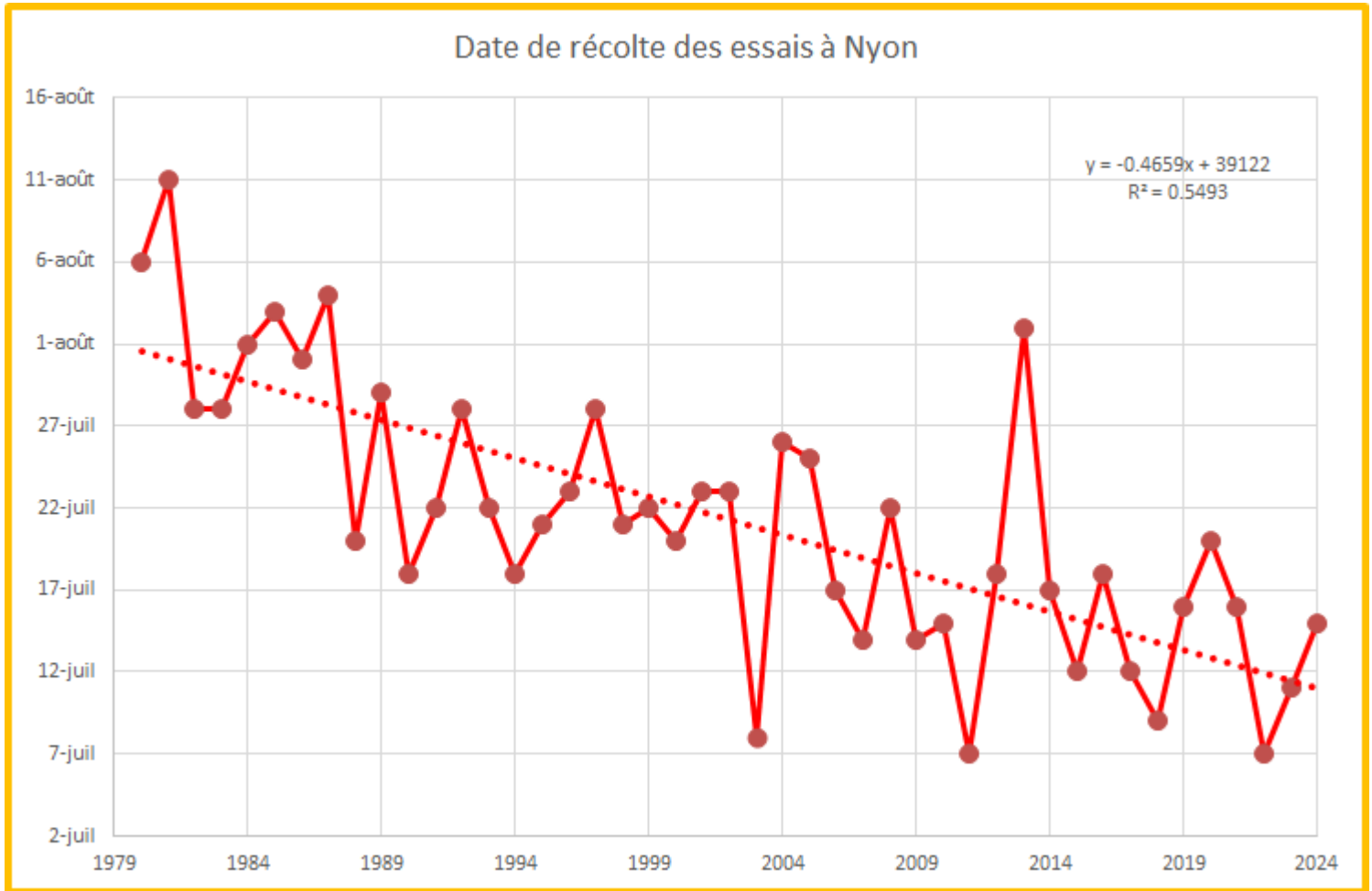


Klimaentwicklung

Früher Ernte

um ca. - 1/2 Tag pro Jahr
(0.47d) !!!

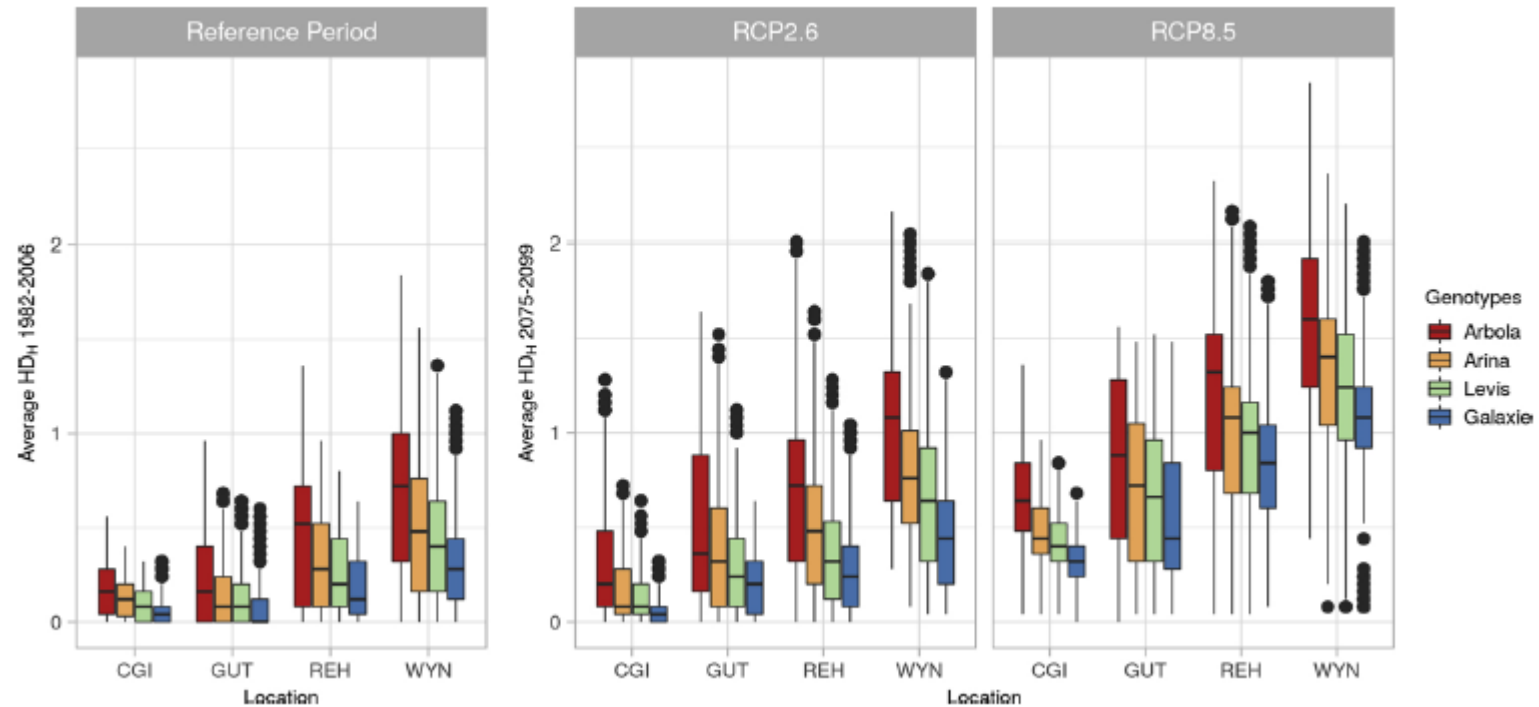
d.h. - 21 Tage in 45 Jahren





Klimaentwicklung

Trotz deutlich früherer Stadieneintritte wird die Häufigkeit von Tagen mit Hitzestress ($T_{max} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$) zwischen Blüte und Ende Kornfüllung von :
1.5 Tage (1982-2006) auf
2.1 (2075-2099), Szenario RCP2.6 („with climate change mitigation“) oder sogar
3.6 Tage (Szenario RCP8.5, „without climate change mitigation“).
Selbst die frühesten Sorten werden stärker gefährdet sein als derzeit die späten Sorten.
Dies vor allem an den kühleren und späteren Standorten.



Can Swiss wheat varieties escape future heat stress?

J. Rogger, A. Hund, D. Fossati and A. Holzkämper
European Journal of Agronomy 2021 Vol. 131 Pages 126394
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126394>



Klimaentwicklung

- 2012 kalter Winter, Frostschäden
- 2013 sehr wenig Licht während der Meiose, Fruchtbarkeitsverluste (Cv Suretta)
- 2014 sehr milder Winter, Temperaturrekorde, wenig Sonne im Hochsommer, Niederschläge im Juli
- 2015 neuer Hitzerekord im Sommer, starke Niederschläge im Mai
- 2016 erstes Halbjahr sehr regenreich
- 2017 heftige Gewitter, rekordverdächtige Nachtfröste im April
- 2018 Herbst (2017) sehr mild, Hitzerekord, Hitzesommer, Dürre
- 2019 Herbst (2018) sehr mild, Hitzerekord im Juni
- 2020 Winterstürme, Trockenheit im April, Regenfälle im Juni
- 2021 Unwetter Ende August und Oktober (2020), milder Winter, starke Regenfälle, kalter Frühling, nasser Sommer, Hagel
- 2022 sehr heiß und trocken, Rekordjahr, milder Winter, viertwärmster Frühling, zweitwärmster Sommer, eines der 10 niederschlagsärmsten Jahre
- 2023 Starke Regenfälle im Herbst (2022) im Westen, sehr trockener und heißer Sommer
- 2024 Starke Regenfälle ab Ende Oktober (viele späte, sehr späte Aussaaten), kurze Hitzeperiode, gefolgt von kühlen (Ährenfrost) und anhaltenden Regenfällen, sehr wenig Licht insbesondere Mai und Juni

Klimaentwicklung

Ein sehr schneller Anstieg der Temperatur und des CO₂

- **Sehr unterschiedliche Jahre**
- **Variablerer, stärkerer Niederschlag**
- **Häufigere Extremereignisse**

- Kürzere Vegetationsperioden,
- Frühere Stadien

Welche Phänologie ist am besten geeignet ?

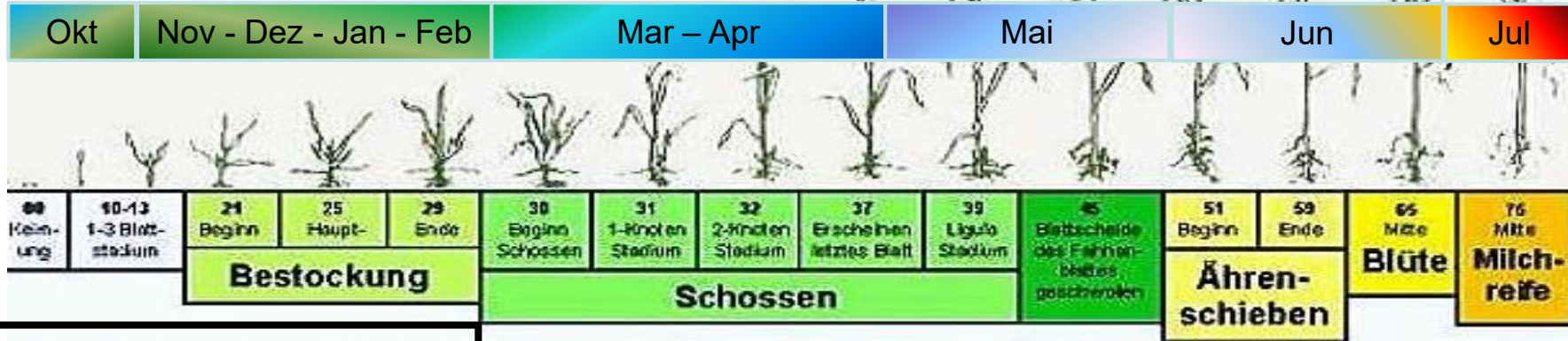
Die Verbesserung der Widerstandsfähigkeit gegen welchen abiotischen Stress ist vorrangig?



Klimatische Risiken



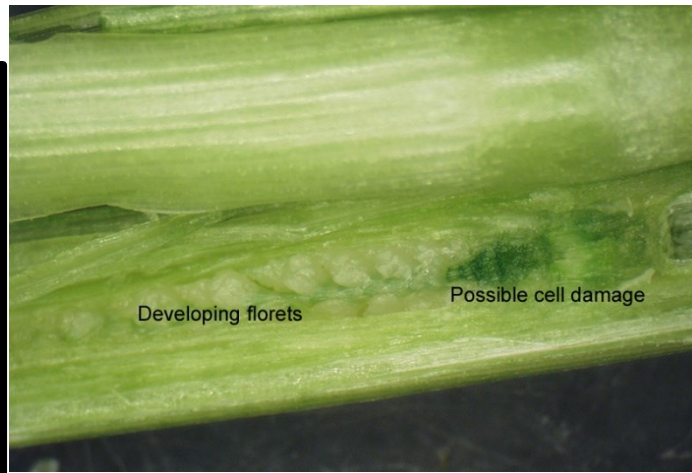
Frost



1956
1976
2012

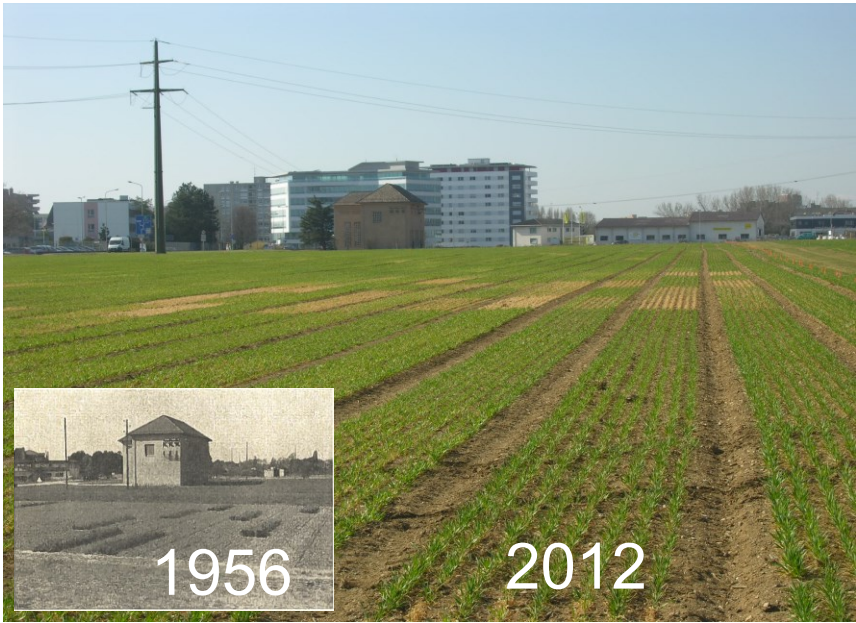
<-8°C ~ Minima <-5°C

Verhärtung ~0°C (max),
Grenze f(Sorten, Art)
z.B. cv CHEYENNE
oder MIRONOVSKAYA 808
Überleben bis -30°C nach
Verhärtung



«Aehre 1cm» Minima <-4°C







Beobachtung	Note	Variétés			
		Winterweizen	Sommerweizen	Triticale	Roggen
Ausgezeichnet	1	Cheyenne (STD), Mironovskaia 808		Lamberto, Triamant	Danko, Marder
Sehr gut	2 & 3	Delloro, Muveran, Muretto, Rigi, CH Combin , CH Camedo, Cambrena , Tamaro		Timbo, Dagro, Prader, Trialdo, Bedretto, Tarzan , Lasko, Trimarar	
Gut	4	Molinera, CH Claro , Tanelin, Forel, Mayen, Dufour		Cosinus	
Mittel	5	Fluela, Suretta, Arina , Segor, Logia, Orzival, Levis, Siala, Runal , Forno, Greif		Brio	
Mittel zu Schwach	6	Zinal , Campioni, Titlis	Aletsch, Campanin, Lona , Tirone		
Schwach	7	CH Nara, Vanilnoir, Lona, Simano, Fiorina , Magno, Galaxie	Carasso, Corbetta, Casana, Toronit , Cervino, CH Matro, Trovat, Chasseral, Altare , Prosa, Fiorina , Digana, Sella	Larossa	
Sehr Schwach	8	Chaumont, Jazzi, Lorenzo, Sertori	Chaumont, Camadra, Terri, CH Rubli, Soliat, CH Campala, Sertori, Greina	Tridel	
Schlecht	9	Champlein (STD)	Gorda, Medola, Stanga, Vully		





Variabilität ? Frostresistenz Züchtung ?



Variabilität:

Ja, gross

die widerstandsfähigste Schweizer Sorte: CH Combin,
Sommer-/Alternativweizen sind anfällig

Züchtung:

Nackte Kälteresistenztests der Linien parallel zu den
Leistungsprüfungen in Deutschland (Kisten), früher in Frankreich in
La Chaux des Prés, auch jetzt in Tschechien (Selgen).

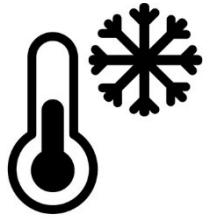
ABER es ist die Beständigkeit gegen NACKTE FROST nach Abhärtung und nicht nach Enthärtung

Forschung: Kreuzung CH Nara x **Mironowskaya 808** und x Cheyenne für Studien,
Suche nach Markern für Kälteresistenz (und WDV-Virus)

2024 : nur 10 Tage $<0^{\circ}\text{C}$, schlimmstenfalls $-2,3^{\circ}\text{C}$ zwischen Dezember und Ende Januar, 2 Tage mit Minima $<-5^{\circ}\text{C}$ → wahrscheinlich keine (selten) Verluste

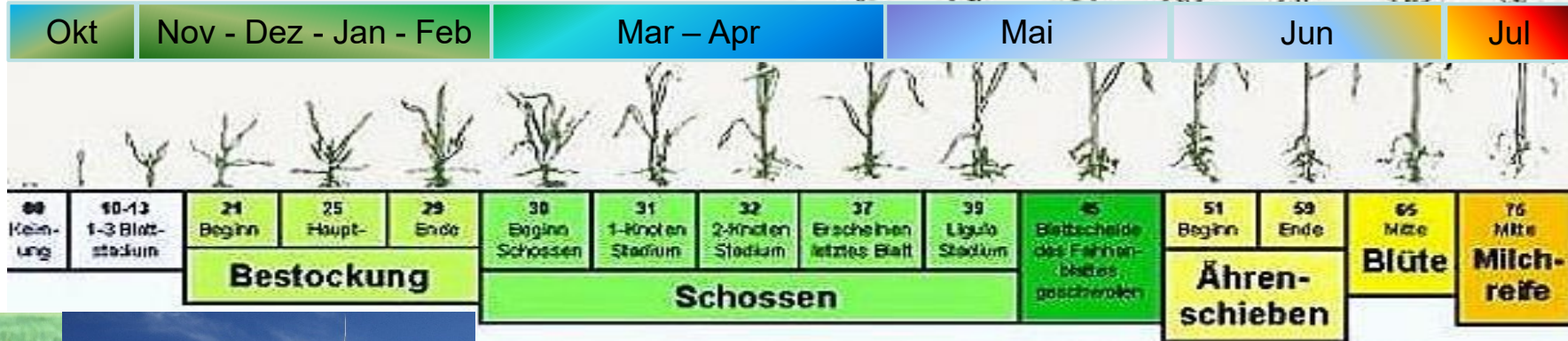


Klimatische Risiken



Kalt

2024



Schwieriges Ährenschieben (<math><5^{\circ}\text{C}</math>)
 Einfluss der Pflanzenlänge
 (Tendenz zu längeren Pflanzen)
 Überzählige Ährchen
 Fehlende Segmente





Variabilität ?

→ Ährenfrost Resistenz Züchtung ?



Variabilität: Im Stadium „Ähre 1 cm“ ?, in den Stadien „Ende des Schossens bis zum Ährenschieben“ ? eher Vermeidungswiderstand („escape“)

Züchtung: -

Forschung: -

→ Wahl der Aussaattermine

→ Sortenwahl (Alternativität), Kombination von Vernalisationsbedarf (Vrn-Gene), Empfindlichkeit gegenüber der Photoperiode (Ppd-Gene) und Frühreife „per se“

2024 : Minima < -4°C die spätesten als 20-21-22 Januar (Payerne).

Minima < 0°C nach Februar, am 8,9 und 25. März (in Changins), am 7. bis 11., 25. bis 28. März, **18. bis 24. April** (in Payerne),

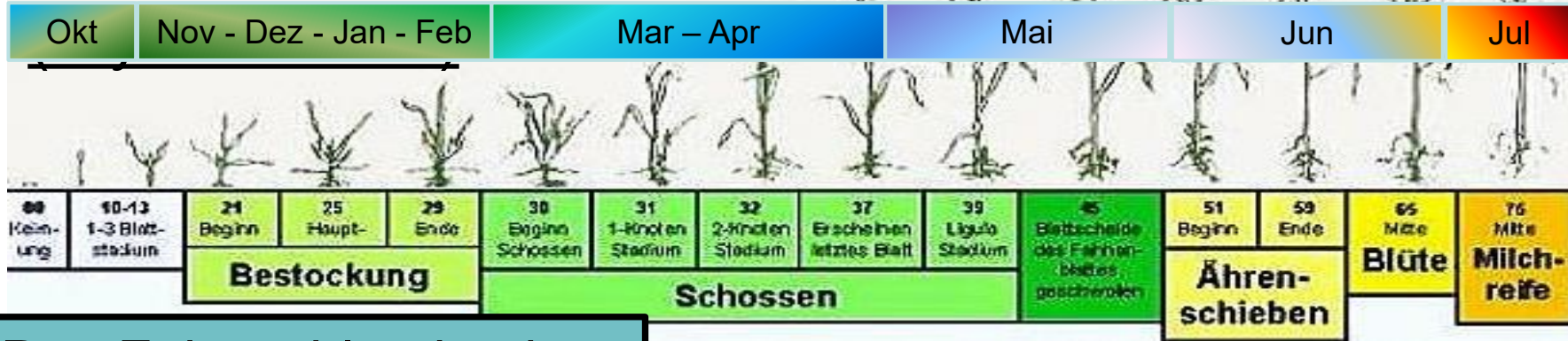
→ Ähren mit Symptomen von Ährenfrost!



Klimatische Risiken



Schwache STRAHLUNG



1987
1997
2013
2024

Das Fahnenblatt ist das Solarpanel des Weizens

Meiose !
f(Sorte),
Sterilität der Pollen ($\leq 4^{\circ}\text{C}$)
Weniger Triebe, Abortierte
Ährchen an der Basis der Ähre

Später:
Mangel an Energie !!





Variabilität ?

→ Züchtung für die Resistenz gegen Lichtmangel (während Meiose) ?



Variabilität: JA

Pernel, Suretta, Moulin sind sehr anfällig

Züchtung: möglich, wenn Marker identifiziert werden

Forschung: PESUMO-Projekt seit 2018

Entwicklung der Testmethode Screening von Sorten

Phänotypisierung & Genotypisierung

auf der Suche nach diagnostischen Markern

2024 : Lichtmangel im Allgemeinen und bei der Meiose. Außerdem beschädigte die Septoria den „Sensor“ sehr schnell. „Quelle“ nicht ausreichend !
Sterilität wahrscheinlich, aber manchmal unterschätzt



Klimatische Risiken

Wärme



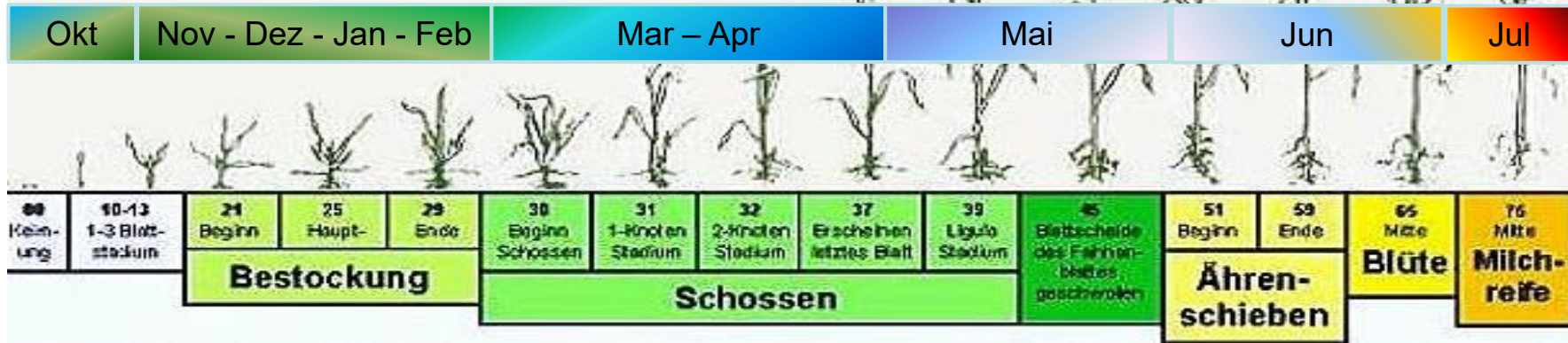
2015

2018

2019

2022

2023



Günstig

Weniger Stängel
Weniger Ähren an der Ährenbasis

Meiose: → weniger Befruchtung
3T. >30°C → -50% der Körner
3T. >35°C → -90% der Körner

An die Dürre gebunden

Während Kornfüllung :
 Abort. >15°C vermindert das TKG
 Stress vor Milchreife → kleine, glatte Körner
 Stress nach Milchreife → geschrumpfte Körner
 TKG Verlust (g) = 0.78 * (Tage >25°C, zwischen Ährenschieben und Ährenschieben+750°Cj)



Variabilität ?

→ Züchtung für Hitzebeständigkeit



Variabilität: ja, aber begrenzt. In welchen Stadien ?

Züchtung: **In-situ-Selektion an einem warmen Ort (Changins / Vouvry)**

Austausch mit Züchtern aus Regionen, die „das zukünftige Klima der Schweiz vorhersagen“ (Kroatien, ...).

Verschiedene Sortentypen (Winter, Sommer, Alternativ)

la chaleur nocturne est un facteur très important

Forschung: Projekt Morocco - Agroscope Changins (2024-2027)

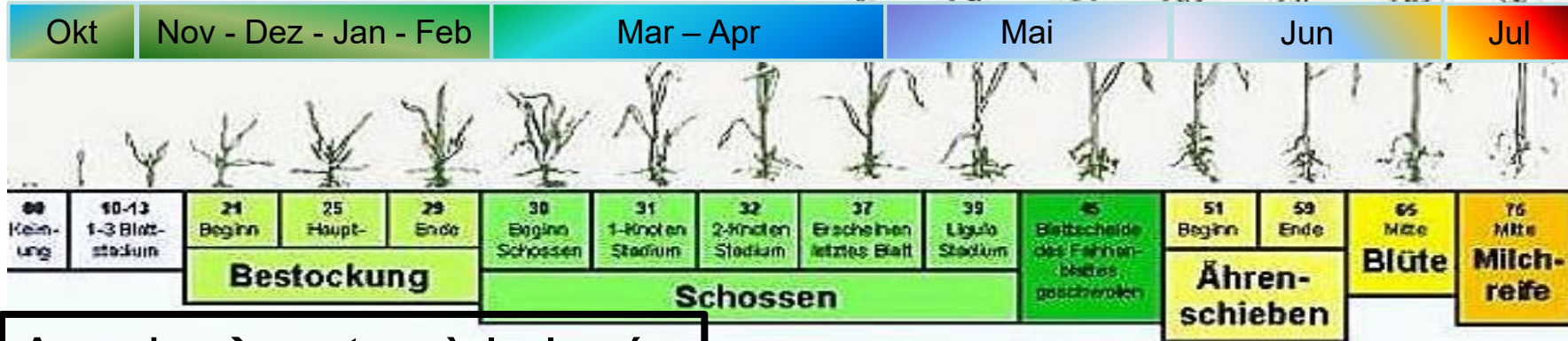
2024 : keine übermäßigen Temperaturen während des Kornwachstums
keine Tage > 25°C



Klimatische Risiken

Überschüssiges Wasser

2003
2007
2014
2020
2022
2023



Anoxia → pertes à la levée

Auswuchs



Anoxia - Verwelken
Mangel (K)
Reduzierte Anzahl Ährchen

Anoxia
Mangel (N)
Reduzierte Anzahl Ähren/m²

Verbundene Effekte:
Lichtmangel, niedrige
Temperatur, Pilzkrankheiten
(Septoria, Fusarium,
Schwarzbeinigkeit)



Variabilität ?

→ Züchtung gegen Überschüssiges Wasser

Anoxia nach Saat

Variabilität: Ja, zwischen Arten (Dinkel > Weizen), in Weizen?

Züchtung: -

Forschung: ~~Projekt abgelehnt~~, ...



2024 : Verschiebung der Aussaat !!!

Verluste, wenn der Regen vor den Stadien „Aufgang + 3 Blätter“ kam

Auswuchs

Variabilität: Ja

Züchtung: Screening von Linien,
Introgression eines Resistenzgens (QTL) im Gange

Forschung: GS-Projekt (noch ausstehend), ...

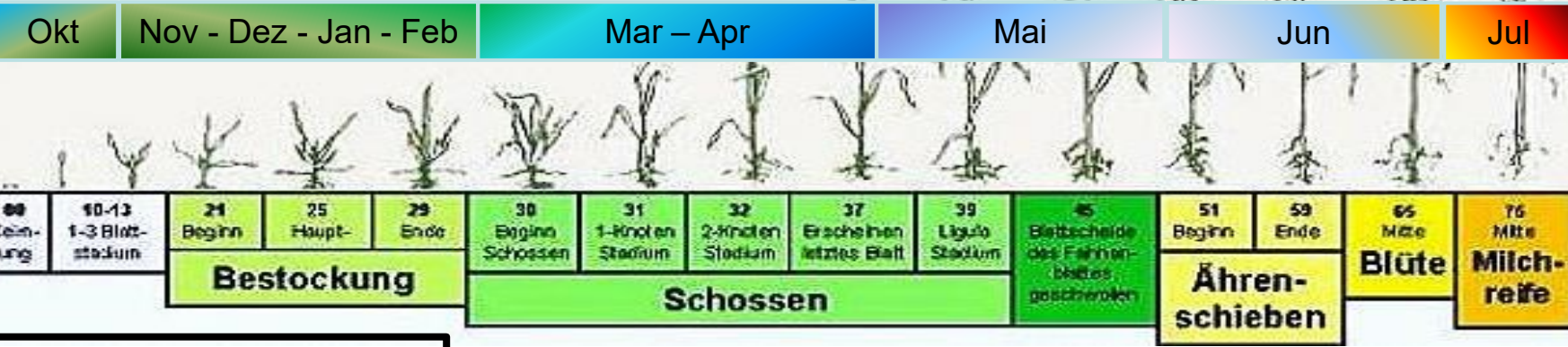
2024 : keine Aufhebung der Dormanz, aber Lagerung und Hagel



Klimatische Risiken



Dürre



2003
2020
2022
2023

Pflanzenverluste

Verbundener Effekt:
höhere Temperatur
(vor allem des Bodens)

Reduzierte Blattlänge
Gerollte Blätter
Reduzierte Pflanzenlänge (letzte Internodium stark reduziert)
Sterile Ährenspitze





Variabilität ?

Trockenresistenz Züchtung



Variabilität: Ja, mäßig
aber auf welche Art von Trockenheit?
in welchem Stadium, durch welchen Mechanismus,
Rolle der Stomata?

Ist weniger Verlust ausreichend?

Selektion: in-situ Selektion an einem (relativ) trockenen Ort (Changins).
Marker für Resistenz ?
Test an extremen Standorten (Spanien, Marokko, Mexiko, ...)
synthetischer Weizen (Cv Voroney)
GVO-Weizen (Gen aus Sonnenblume, Cv HB4, Argentinien,
Brasilien, Australien).

Forschung: Marokko-Projekt - Agroscope Changins, ~~WHEATDROP~~ abgelehnt, ...

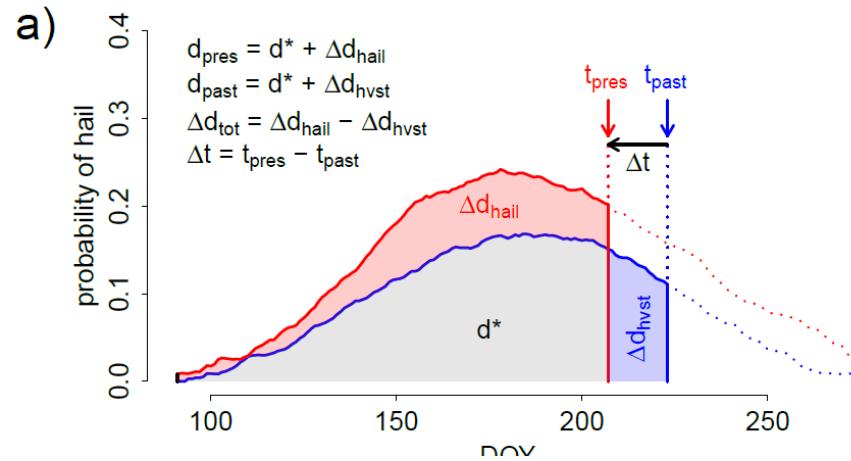
2024 : keine schweren Trockenphasen



Witterungsunbilden: Hagel

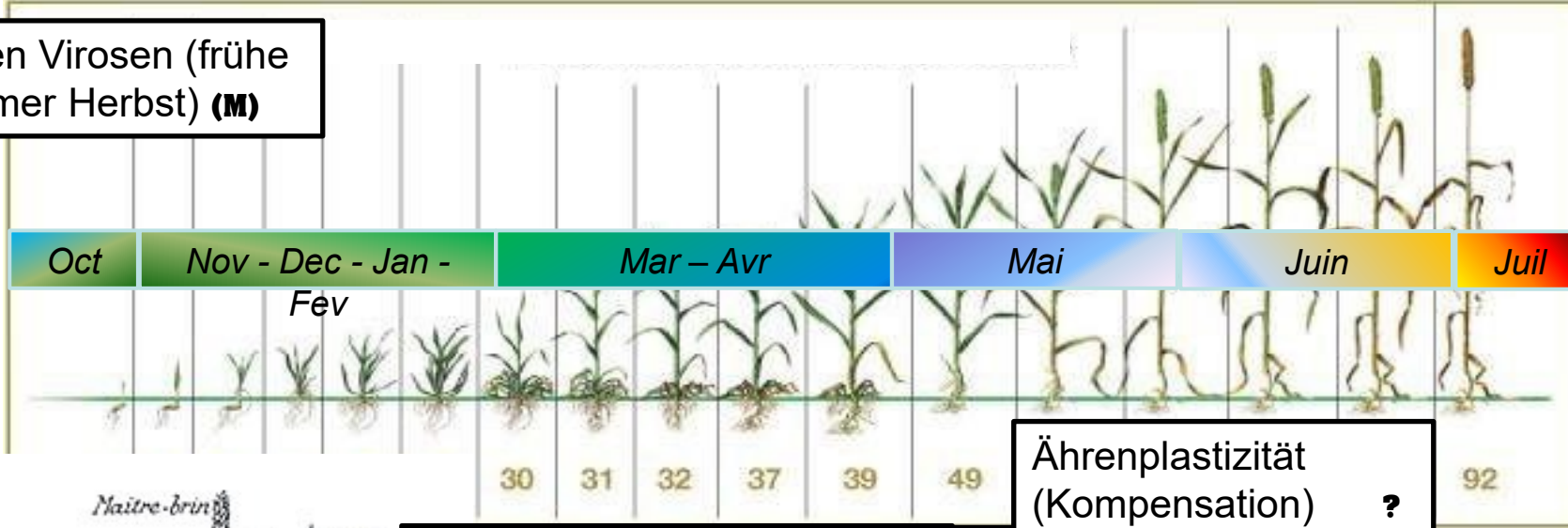
- Direkte und indirekte Effekte (Auswuchs)
- Studie zu erhöhtem Risiko vs. früherer Erntezeitpunkt

Eingereichter Artikel: Earlier harvest but more hail - Hail risk to winter wheat in Switzerland since 1972, RAPHAEL PORTMANN, LUKAS VALENTIN GRAF, LENA WILHELM, DARIO FOSSATI, TIMO SCHMID, LEONIE VILLIGER, PIERLUIGI CALANCA



2024 : Lokal

Resistenz gegen Virose (frühe Aussaat & warmer Herbst) (**M**)



Widerstand gegen Auswuchs (QTL Keimruhe), **M** & **GS**

Große Körner <-> hohe Ährenfruchtbarkeit und Kornzahl/m², **M** & **GS**

Kälteresistenz nach der Ent-Verhärtung **M** & **GS**

korreliert mit nackter Kälteresistenz ?

Geringe Empfindlichkeit gegenüber Lichtmangel bei der Meiose **M** & **GS**

Beständigkeit gegen Hitze und Trockenheit **M** & **GS** ?

Züchtung für Stomata-Effizienz?

Gutes Bestockungspotential (Kompensation), <-> schneller Abbruch der überflüssigen Trieben! ?

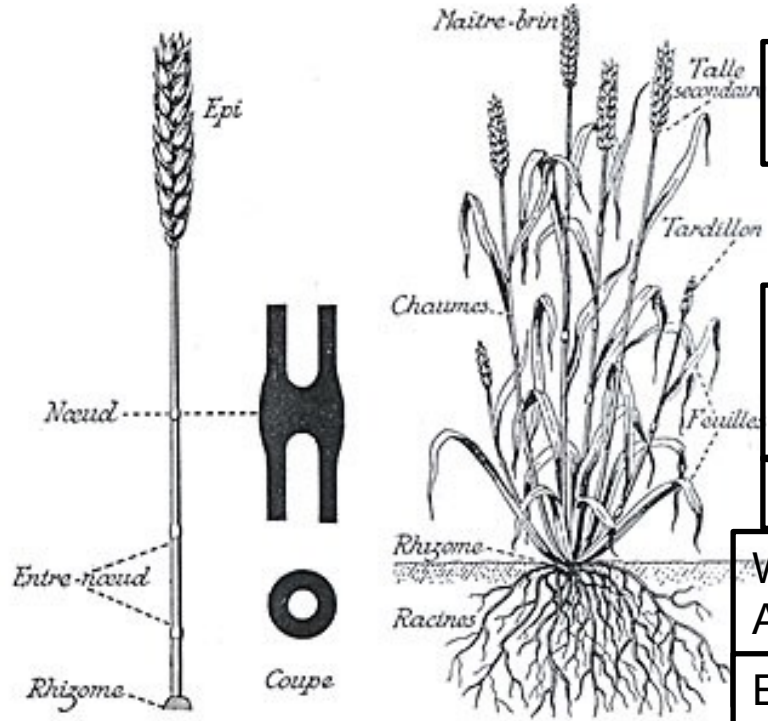
Winter-Sommertyp, Empfindlichkeit gegenüber Photoperioden, frühes Ährenschieben **M**

Widerstand gegen Anoxie ?
Auflaufstärke (große Körner **M**)

Tiefere Aussaat ? Langes Coleoptil ?
Tieferes Bestockungsplateau ?

Enger Wurzelwinkel **M** (Sommerweizen)
Welcher Wasserstress?

Effektive Wurzeln (effektive H₂O-Aufnahme) ?



Standfestigkeit, voller Stängel, andere Nanismus-Gene als Rht1 und 2, Steifheit oder Flexibilität? **M** & **GS**



En conclusion

- La sélection pour la résistance aux stress abiotiques a toujours été une tâche permanente
..... mais qui prend plus d'importance actuellement
- Il faut prioriser les buts de sélection
- Lever les doutes, éclaircir les hypothèses
- Développer les outils efficaces d'aides à la sélection

La sélection est un des levier mais pas le seul



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Dario Fossati

dario.fossati@agroscope.admin.ch

Agroscope good food, healthy environment

www.agroscope.admin.ch





Zukünftige Trends (Prognosen)

- Mehr Trockenheitsrisiken zu Beginn des Schossens bei ↓Anzahl **der produzierten Körner /m²**
- Mehr Hitzerisiken während der Kornfüllung (trotz früherer Stadien). Aber vor allem nach 2050.
- Von 5 (bis 11) Tagen auf 8 (bis 16) Tage bei Temperaturen >25°C → ↓des **Korngewichts**
- Mehr Risiko von Trockenheit nach dem Ährenschieben → ↓ **Korngewicht**
- - 2-3g in guten Jahren; - 3-4g in schlechten Jahren; 1g = 1,5 bis 2 dt/ha Verluste
- Mehr Gefahr von Lagerung
 - Mehr Bestockung, schnellere Mineralisierung im Spätwinter, Austrieb bei kurzem und weniger hellem Tageslicht (Etiolage)
- Mehr Hagel
- Früher Meiosis und damit bei weniger Licht



Zukünftige Trends (Prognosen)

- weniger Frostgefahr im Stadium „Ähre 1cm“
→frühere Aussaat möglich, dann aber mehr Krankheiten, Viren (BYDV,WDV)
- weniger Kahlfrost, aber weniger starke Abhärtung

→neuer Ideotyp (Sortenwahl und Zuchtziele)
 - Erhöhung der Fruchtbarkeit (Anzahl der produzierten Körner pro m²)
 - Hohes Korngewicht (da tendenziell stabiler)
 - Resistenz gegen Virose und Krankheiten, die sich bereits im Herbst entwickelt (2 laufende Projekte mit Wolverine & Mironovskaia 808)
 - Frühes Ährenschieben, aber Wintertypen (empfindlich gegenüber der Photoperiode) und/oder unterschiedliche Entwicklungsrhythmen



Zukünftige Trends (Prognosen)

Anbaumethoden

- Wassersparen (TCS), Bewässerung
- Saattiefe, frühe Aussaat
- Zwischenfrüchte (Leguminosen) für die Frühljahrsaussaat
- präzisere N-Düngung auf der Grundlage des Klimas und angepasster Ertragsvorhersagen während des Wachstums (mehrere Modelle stehen im Wettbewerb)

- Risikostreuung durch Verwendung mehrerer Sortentypen (Betriebsebene)
- Mischungen mit Kombinationen, die auf „klimatische“ Komplementarität abzielen? (Feldebene)
- Mehrere Arten ...



Züchtung

Plus oder neue Beobachtungen und Werkzeug

- Stress-Symptome von Trockenheit (Einrollen der Blätter)
- Blatttemperatur
- Blattindex während des Kornwachstums, andere multispektrale Messungen
- Umfassendere Nutzung von Markern, MAS und G
- Delta^{C13} (Messung der Stomata-Effizienz)
- Bessere Beschreibung der Frühreife und der Sortenanfälligkeit/-resistenz (Frost, Hitze, Trockenheit, ...)

Sorgfältige Auswahl der Selektions Orte

- Changins: warm und trocken, Vouvry: kalter Winter, heißer Sommer, feuchter Boden (Krankheiten), „Shuttle breeding“ mit Zürich: feucht im Sommer, kalt
- Selektion von Sommerweizen, Kreuzungen zwischen Winter- & Sommerweizen, „exotische“ Kreuzungen zur Vorbereitung (chinesischer Weizen, synthetischer Weizen, ...), Test im Ausland (z.B. Kroatien, ...)