



FORSCHUNGSZENTRUM
WEIßENSTEPHAN
für Brau- und Lebensmittelqualität





FORSCHUNGSZENTRUM
WEIHENSTEPHAN
für Brau- und Lebensmittelqualität



Klimawandelbedingte Qualitätsschwankungen von Braugerste – Ursachen sich verändernder Stärkequalitäten und Lösungsvorschläge

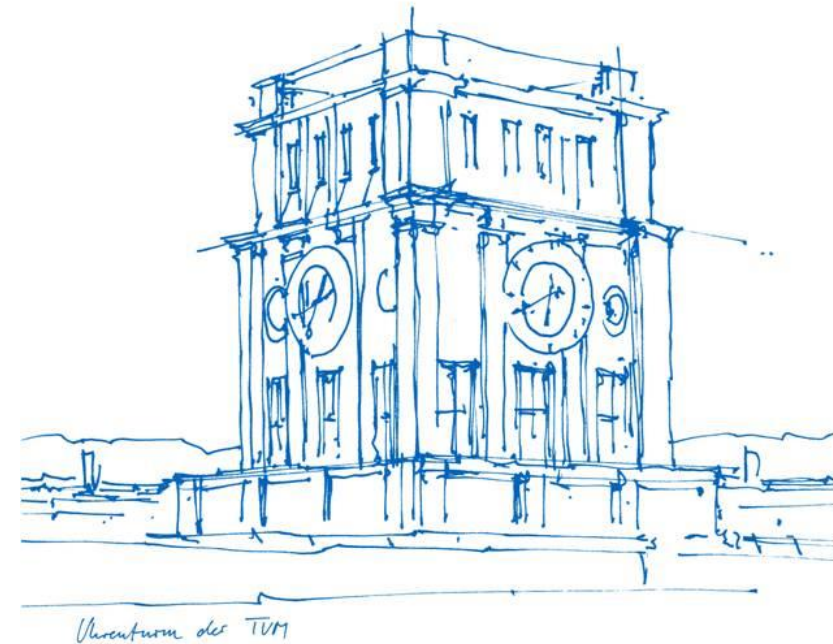
Deutscher Braumeistertag,
Hauptversammlung des DBMB e.V.



Dr. rer. nat. Stefan Hör

Technische Universität München
Forschungszentrum Weihenstephan
für Brau- und Lebensmittelqualität

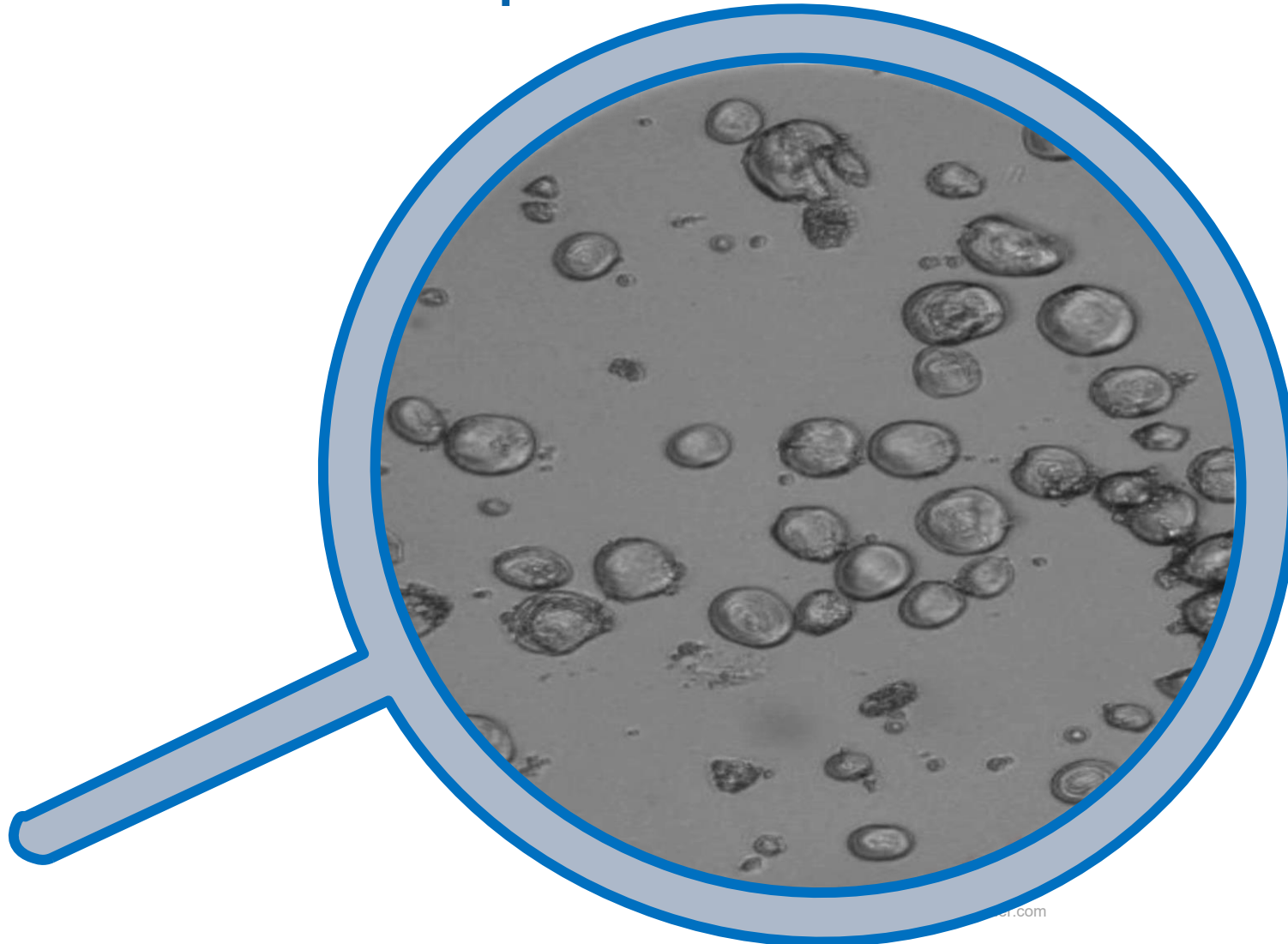
Magdeburg, 06. Juni 2026



Stärkeabbau beim Maischprozess



FORSCHUNGSZENTRUM
WEIßENSTEPHAN
für Brau- und Lebensmittelqualität

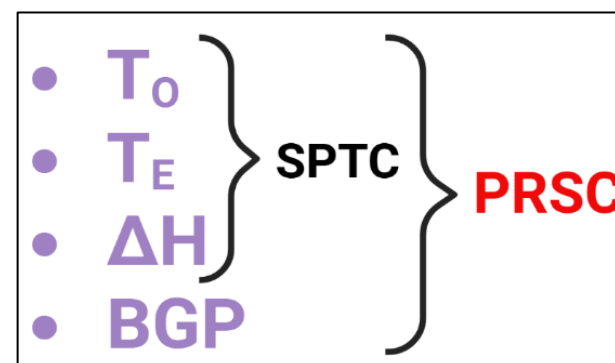


Für den Stärkeabbau zentral wichtige Charakteristika



Quelle: Prof. Dr. Mario Jekle

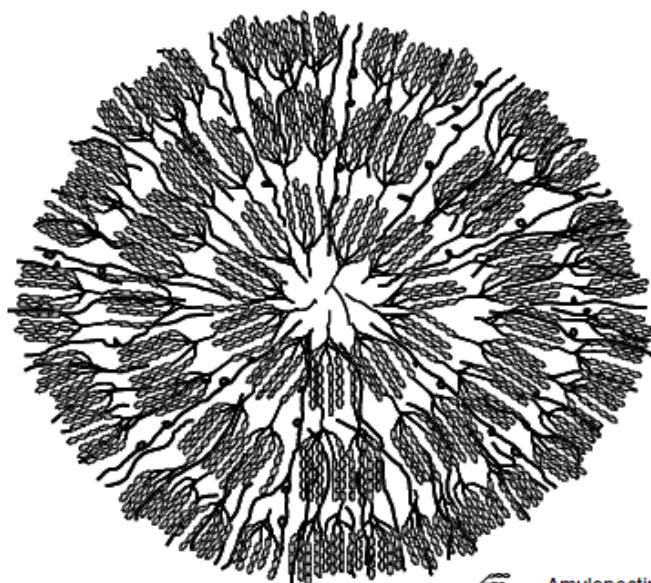
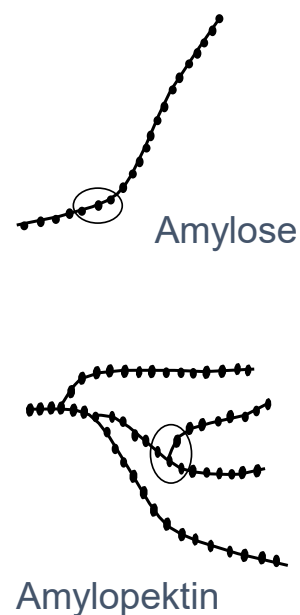
- T_0 – Beginn der Verkleisterung
- T_E – Ende der Verkleisterung
- ΔH – Benötigte Energie für die Verkleisterung:
Indikator für die Kristallinität des Stärkegefüges
- **BGP** – Anteil an B-Stärkekörnern



SPTC: Starch phase transition characteristics

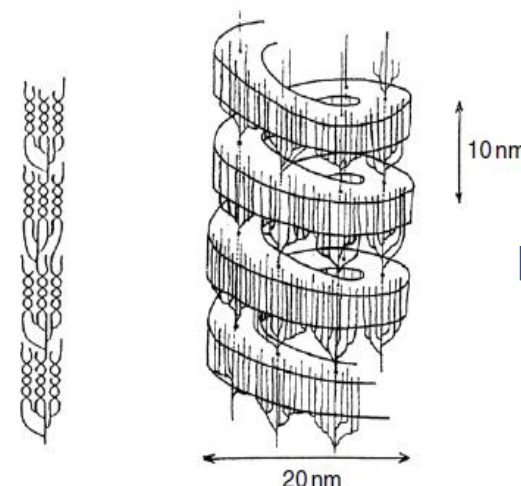
PRSC: processing-relevant starch characteristics

„Abbaubarkeit“ hängt von der Stärkestruktur ab

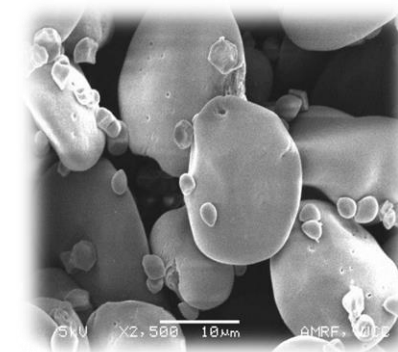


Quelle: Lineback, D.R. (1984) The Starch Granule Organisation and Properties. Bakers Digest, 58, 16-21..

Amylopectin
 Amylose



Quelle: Oostergetel G.T. and van Bruggen E.F.J. 1993. The crystalline domains in potato starch granules are arranged in a helical fashion. Carbohydr. Polym. 21: 7-12.



Quelle: Narziß, Technologie der Malzbereitung ISBN: 978-3-527-32532-0

Moleküle

2D Anordnung

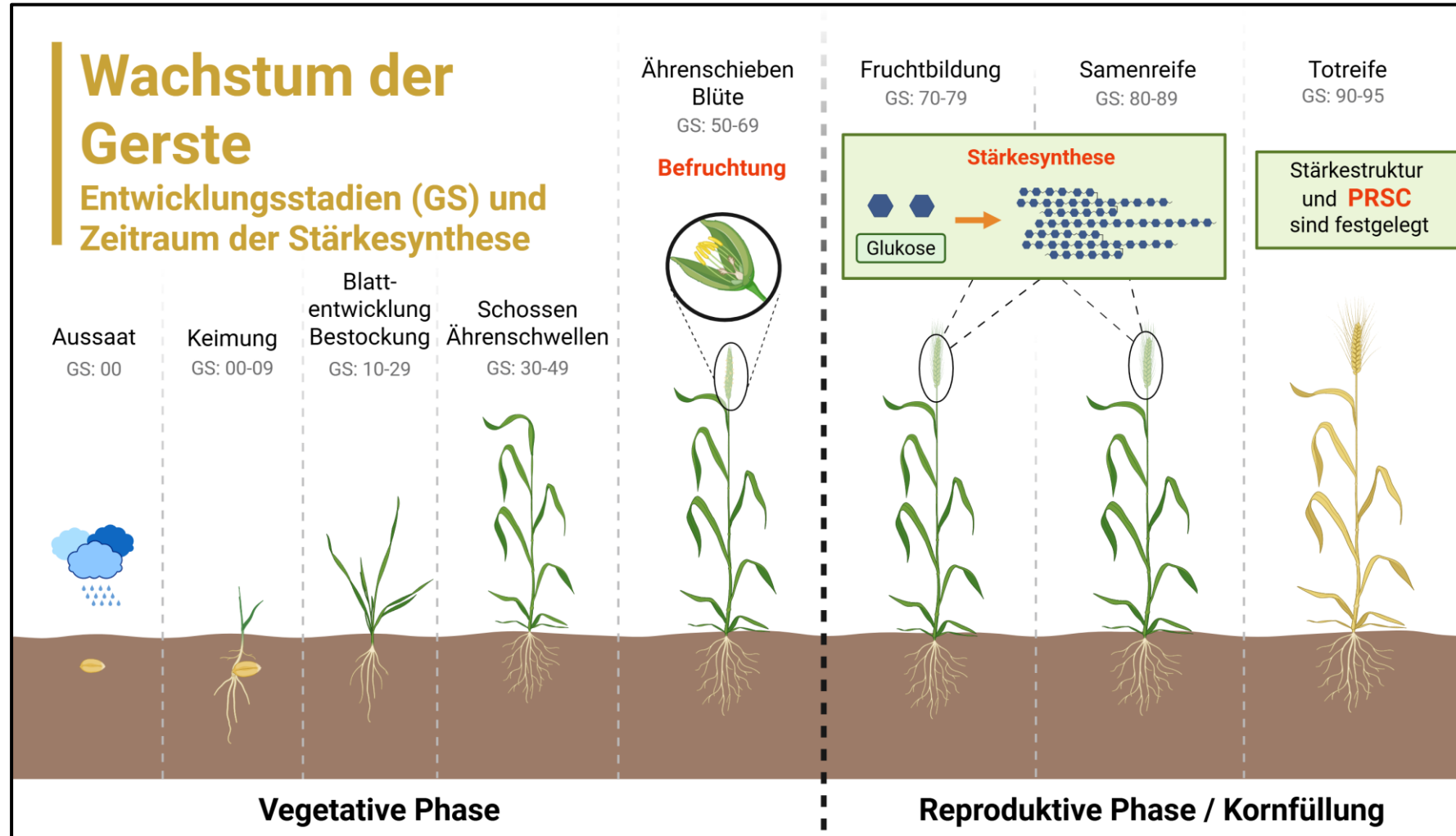
3D Anordnung

Morphologie

Stärkesynthese im Rahmen des Gerstenwachstums



FORSCHUNGSZENTRUM
WEIHENSTEPHAN
für Brau- und Lebensmittelqualität



Quelle: S. Hör, BioRender.com

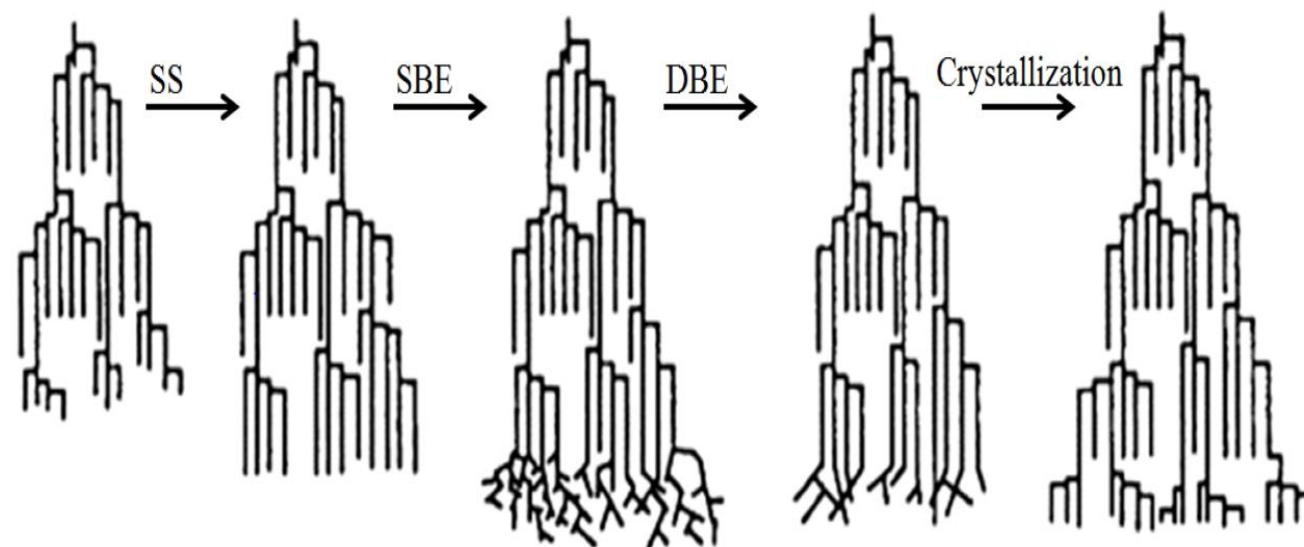
Stärkestruktur hängt vom Ablauf der Stärkesynthese ab

SS (Stärkesynthasen)

- Hauptsächlich für Amylopektinsynthese verantwortlich
- Temperaturoptimum: 20–25 °C
- Verlängerung bestehender Glukoseketten

SBE (Starch Branching Enzyme)

- Verzweigung des Amylopektins durch Hydrolyse bestehender α -(1-4)-Verbindungen
- Anbringung an α -(1-6)-Verbindungen



Quelle: Zaher, A.: The Regulation of Starch Biosynthesis in Barley (*Hordeum vulgare*), 2014

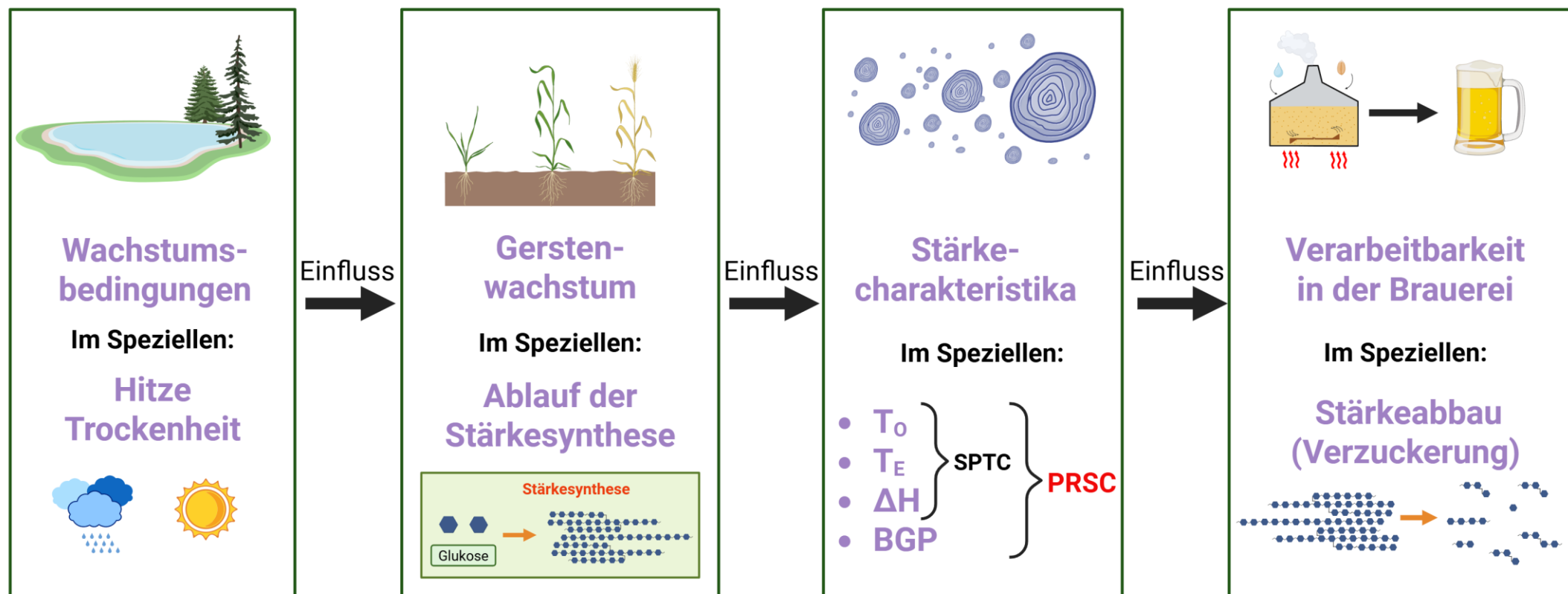
DBE (Starch Debranching Enzyme)

- Entscheidend für den Grad der Kristallinität des Amylopektin
- Trennung von α -1,6-Bindungen, um eine geordnete Verzweigungsstruktur herzustellen

! Ablauf der Stärkesynthese bestimmt die Stärkestruktur und damit die „Abbaubarkeit“

Zusammenhang zwischen Wachstumsbedingungen und Stärkeverarbeitbarkeit im Sudhaus

Stress beim Pflanzenwachstum beeinflusst den Brauprozess



Quelle: S. Hör, BioRender.com

Forschungsfragen



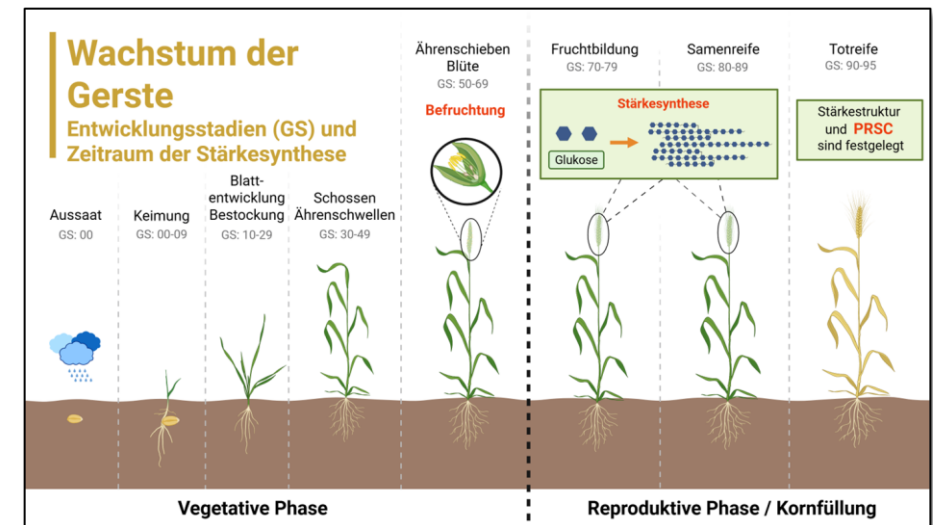
1. Welchen Einfluss hat **Trockenheit** während der Kornfüllung auf die PRSC?
2. Welchen Einfluss hat **Hitze** während der Kornfüllung auf die PRSC?
3. Beeinflusst Hitze in der **vegetativen Phase** (vor der Kornfüllung) die PRSC?
4. Inwiefern sind die stressbedingten Veränderungen der PRSC **sortenabhängig**?



Hitze



Trockenheit



Quelle: S. Hör, BioRender.com

Methodisches Konzept



FORSCHUNGSZENTRUM
WEIHENSTEPHAN
für Brau- und Lebensmittelqualität



Versuche unter kontrollierten Umweltbedingungen

Publikation 1: Hypothesengenerierende Untersuchungen

Genereller Einfluss von Hitze und
Trockenheit auf PRSC

9 aktuelle
Braugerstensorten

Publikation 2: Hypothesenbasierte Untersuchungen

Spezifischer Einfluss des Zeitpunktes
von Hitze und Trockenheit und Einfluss
der Gerstensorte

Drei ausgewählte
Sorten

Ergebnisse beantworten Forschungsfragen 1-4



© Tom Freudenberg/pict-images



© Stefan Hör

Forschungsfragen der Doktorarbeit



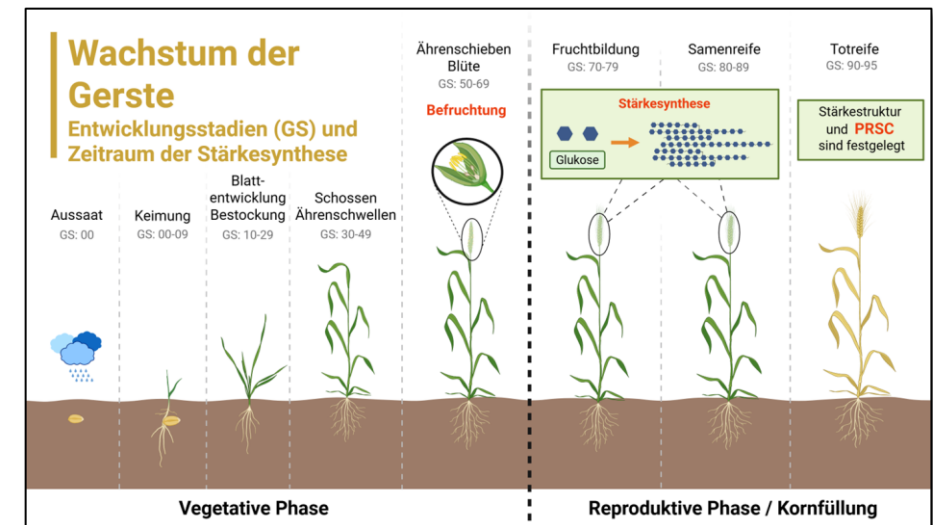
1. Welchen Einfluss hat **Trockenheit** während der Kornfüllung auf die PRSC?
2. Welchen Einfluss hat **Hitze** während der Kornfüllung auf die PRSC?
3. Beeinflusst Hitze in der **vegetativen Phase** (vor der Kornfüllung) die PRSC?
4. Inwiefern sind die stressbedingten Veränderungen der PRSC **sortenabhängig**?
5. Inwiefern sind die Erkenntnisse aus den kontrollierten Umweltbedingungen (Gewächshaus/Klimakammer) auf **reale Feldbedingungen** übertragbar?



Hitze



Trockenheit



Quelle: S. Hör, BioRender.com

Methodisches Konzept



FORSCHUNGSZENTRUM
WEIHENSTEPHAN
für Brau- und Lebensmittelqualität



Versuche unter kontrollierten Umweltbedingungen

Publikation 1: Hypothesengenerierende Untersuchungen

Genereller Einfluss von Hitze und
Trockenheit auf PRSC

9 aktuelle
Braugerstensorten

Publikation 2: Hypothesenbasierte Untersuchungen

Spezifischer Einfluss des Zeitpunktes
von Hitze und Trockenheit und Einfluss
der Gerstensorte

Drei ausgewählte
Sorten

Ergebnisse beantworten Forschungsfragen 1-4



© Tom Freudenberg/pict-images



© Stefan Hör



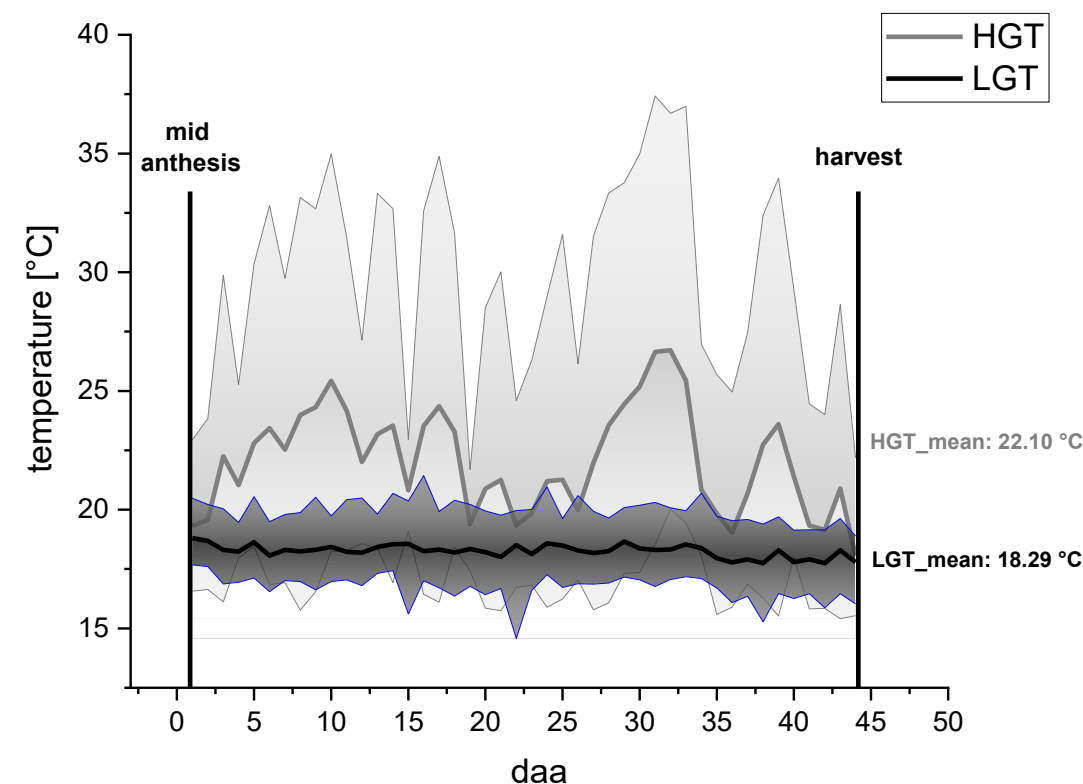
© Tom Freudenberg/pict-images

Publikation 1 – Experimental design

- 9 aktuelle Braugerstensorten
- Definierter Trockenstress von Blüte bis Abreife
- Durchgehend bewässerte Referenzgruppen
- 2 Temperaturszenarien: **HGT** und **LGT**



© Stefan Hör

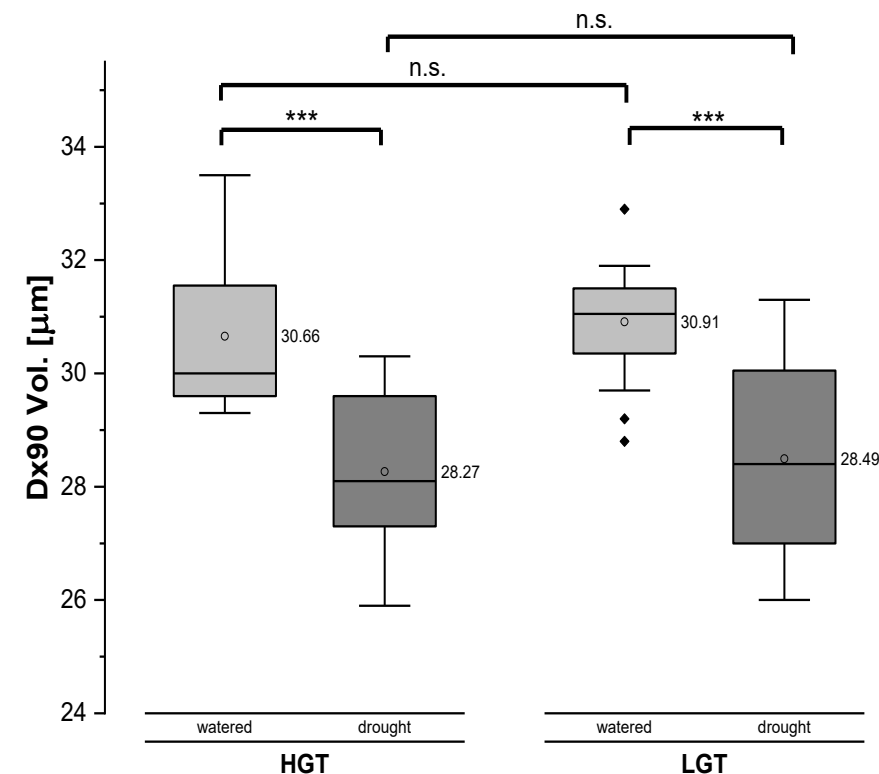
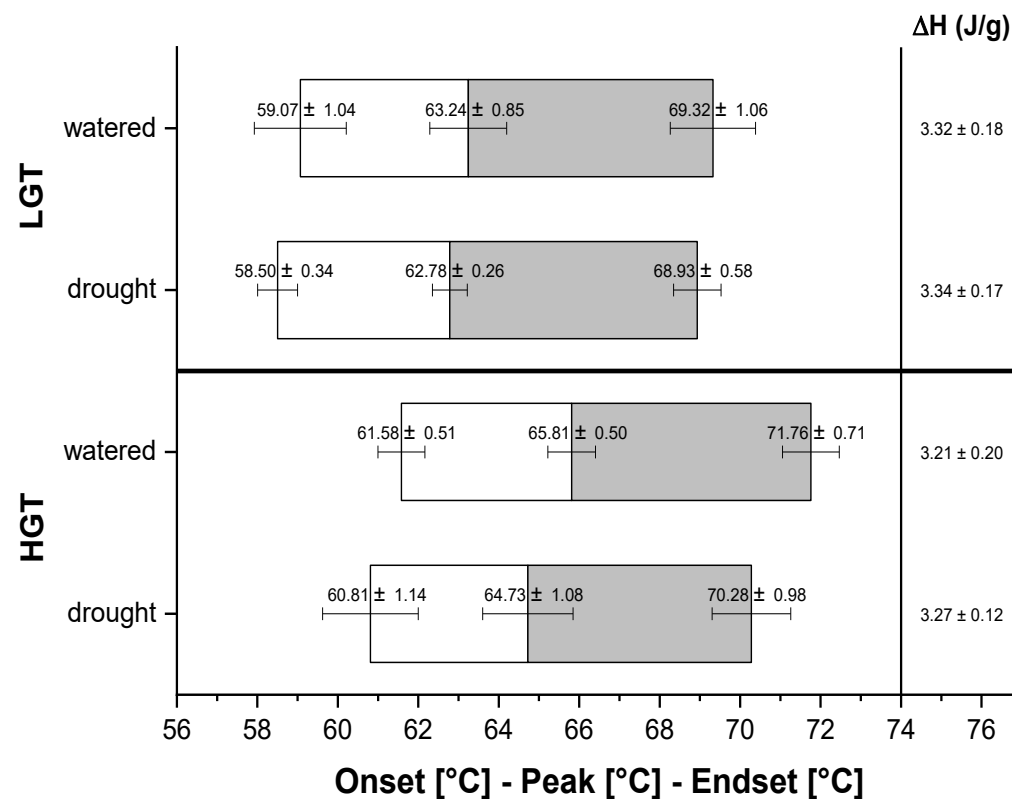


HGT = high growing temperature

LGT = low growing temperature

daa = days after anthesis

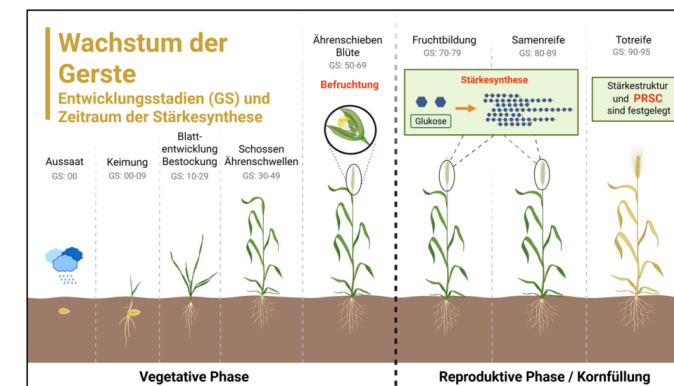
Publikation 1 – Kernergebnisse



Hitze beeinflusst T_O und T_E , Trockenheit hingegen die Stärkekorngrößen (BPG)

Publikation 2 – Faktorielles Design der Versuche

Sorte	Temperatur in veg. Phase	Bodenfeuchten während KF	Temperatur während KF
Morex	Ø 16 °C	3–5 % (Trockenstress)	Durchgehend heiß (Ø 26.75 °C)
Scarlett	Ø 21 °C	15–25 % (Bewässert)	Durchgehend moderat (Ø 19.92 °C)
Avalon			Hitze zu Beginn der KF (GS 61–75)
			Hitze am Ende der KF (GS 75–95)



Quelle: S. Hör, BioRender.com



© Veronika Franz



© Veronika Franz



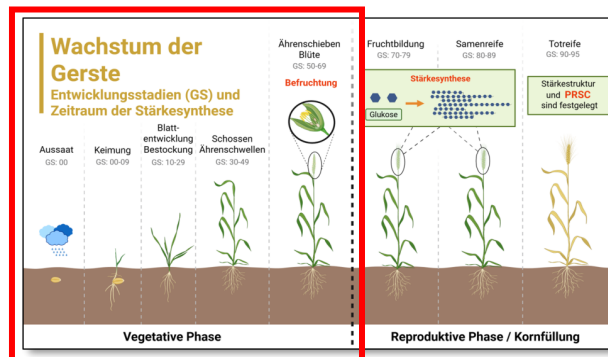
© Veronika Franz



© Veronika Franz

Publikation 2 – Kernergebnisse

- Erkenntnisse aus Publikation 1 bestätigen sich!
➔ Trockenheit reduziert BGP
➔ Hitze erhöht T_O - und T_E -Werte
- Hitze während KF ist hauptverantwortlich für hohe T_O - und T_E -Werte
- **Temperaturen vor KF** haben ebenso einen signifikanten Einfluss!
- Sorten zeigen unterschiedliches Verhalten



Quelle: S. Hör, BioRender.com

Stress factor	Timepoint	T_O [°C]	T_E [°C]	ΔH [J/g]	BGP [%]
Control-group		61.06	71.36	2.96	8.90
Drought	During KD	60.72 (-0.56 %)	71.09 (-0.38 %)	3.02 (+1.80 %)	4.98 (-44.02 %)
	Before KD	59.16 (-3.11 %)	69.84 (-2.12 %)	3.01 (+1.69 %)	8.32 (-6.41 %)
Heat	Constantly during KD	64.23 (+5.19 %)	74.43 (+4.31 %)	2.83 (-4.39 %)	4.14 (-53.50 %)
	End of KD*	61.53 (+0.77 %)	74.72 (+4.72 %)	2.95 (-0.45 %)	4.59 (-48.41 %)
	Begin of KD**	62.13 (+1.76 %)	73.30 (+2.82 %)	2.94 (-0.56 %)	4.67 (-47.51 %)
	Before KD	59.19 (-3.06 %)	69.52 (+2.57 %)	3.13 (+5.63 %)	1.49 (-83.25 %)
Combined	Constantly during KD	63.67 (+4.27 %)	74.36 (+4.22 %)	2.95 (+0.45 %)	2.22 (-75.05 %)
	End of KD*	61.74 (+1.11 %)	74.27 (+4.08 %)	3.05 (+3.04 %)	2.87 (-67.74 %)
	Begin of KD**	62.48 (+2.32 %)	73.61 (+3.16 %)	2.94 (-0.56 %)	0.20 (-97.76 %)
	Before KD	59.19 (-3.06 %)	69.52 (+2.57 %)	3.13 (+5.63 %)	1.49 (-83.25 %)

Zusammenfassung

1. Welchen Einfluss hat **Trockenheit** während der Kornfüllung (KF) auf die PRSC?

➡ Sie senkt signifikant BGP und hat nur einen kleinen Effekt auf T_0 , T_E und ΔH

2. Welchen Einfluss hat **Hitze** während der Kornfüllung auf die PRSC?

➡ Sie erhöht T_0 und T_E , wobei durchgängige Hitze den größten Effekt zeigt

3. Beeinflusst Hitze in der **vegetativen Phase** (vor der KF) die PRSC?

➡ Ja, aber deutlich geringer, als während der KF

4. Inwiefern sind die stressbedingten Veränderungen der PRSC **sortenabhängig**?

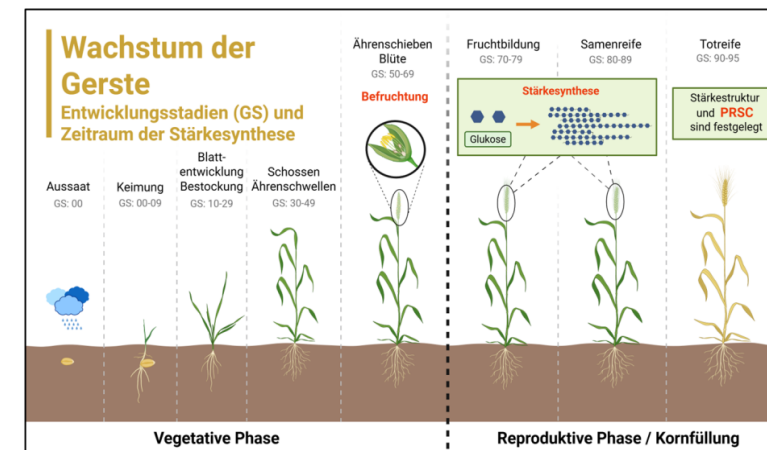
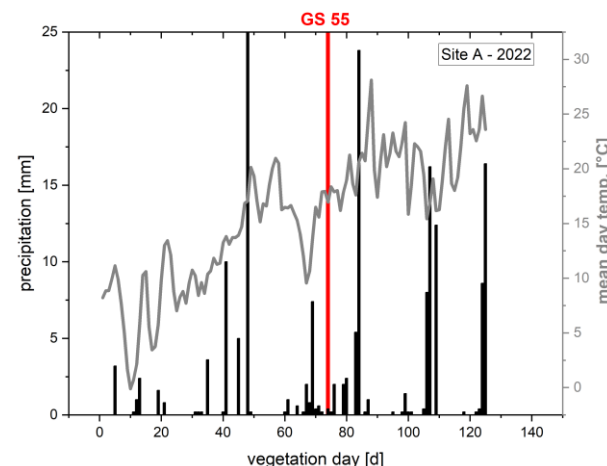
➡ Aktuelle Sorten verhalten sich sehr ähnlich

5. Inwiefern sind die Erkenntnisse aus den kontrollierten Umweltbedingungen (Gewächshaus/Klimakammer) auf **reale Feldbedingungen** übertragbar?

Publikation 3 – Experimentelles Design



© Tom Freudenberg/pict-images



Quelle: S. Hör, BioRender.com

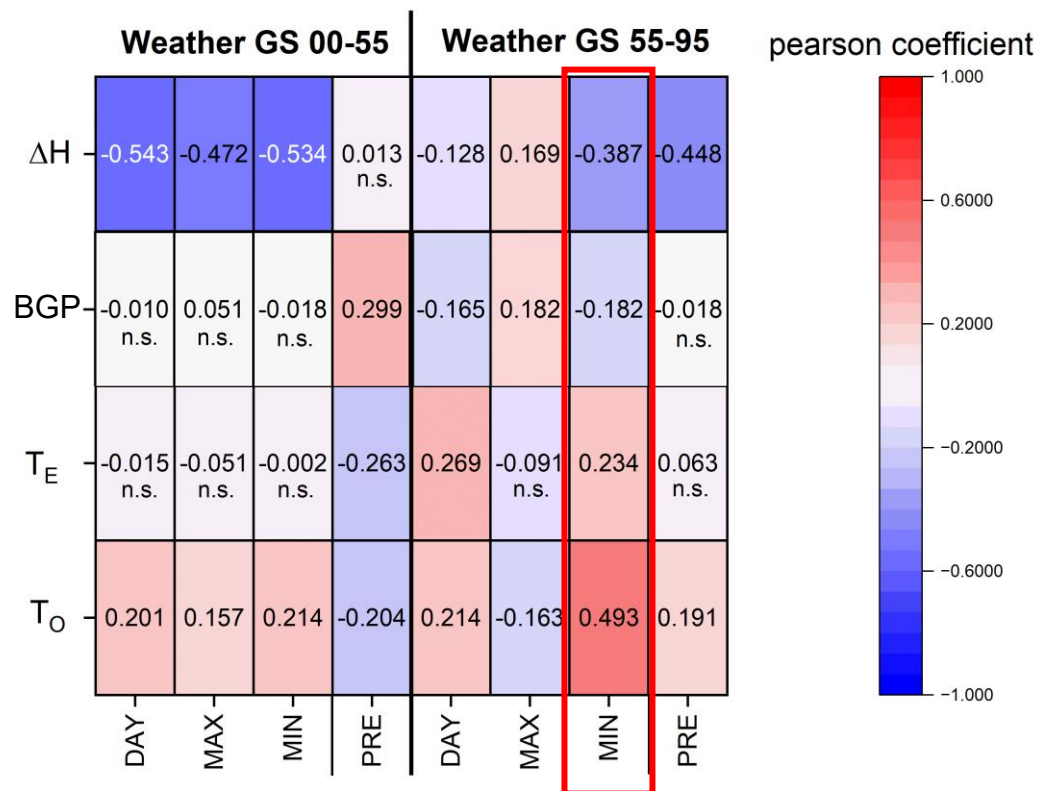


© Tom Freudenberg/pict-images

site	plots	data recording	Weather GS 00–55				Weather GS 55–95			
			DAY °C	MAX °C	MIN °C	PRE mm	DAY °C	MAX °C	MIN °C	PRE mm
A - 2022	2	on site	11,87	19,69	4,74	87,80	20,66	29,93	11,58	102,00
A - 2023	2	on site	15,48	23,57	7,56	58,20	20,25	28,58	12,86	195,80
B - 2022	2	on site	11,57	19,30	4,60	86,60	19,77	28,56	12,51	24,00
C - 2022	2	on site	10,92	18,97	3,54	87,40	19,40	29,78	10,75	48,80
D - 2022	2	14 km away	11,85	19,21	4,83	91,09	19,63	28,49	11,63	122,15
E - 2022	1	on site	10,67	15,68	4,57	98,73	18,77	24,73	11,53	42,76
F - 2023	2	4 km away	17,14	25,51	9,72	124,80	20,22	28,64	12,76	38,80

DAY = average day temperature; MAX = average maximum temperature;
MIN = average minimum temperature; PRE = precipitation

Publikation 3 – Kernergebnisse



Kernergebnisse:

- Bestätigung des Einflusses von **Hitze** während der Kornfüllung auf T_O und T_E
- Der Einfluss von Hitze auf ΔH and BGP konnte tendenziell bestätigt werden (Korrelationen relativ klein)
- Die Effekte von Trockenheit konnten nicht klar gezeigt werden
- Die **Nachttemperaturen** waren deutlich stärker mit den PRSC-Veränderungen assoziiert als die Tagesdurchschnitts-Temperaturen
- Aktuell auf dem deutschen Markt befindliche Sorten verhalten sich sehr ähnlich

Zusammenfassung

1. Welchen Einfluss hat **Trockenheit** während der Kornfüllung (KF) auf die PRSC?

➡ Sie senkt signifikant BGP und hat nur einen kleinen Effekt auf T_0 , T_E und ΔH

2. Welchen Einfluss hat **Hitze** während der Kornfüllung auf die PRSC?

➡ Sie erhöht T_0 und T_E , wobei durchgängige Hitze den größten Effekt zeigt

3. Beeinflusst Hitze in der **vegetativen Phase** (vor der KF) die PRSC?

➡ Ja, aber deutlich geringer, als während der KF

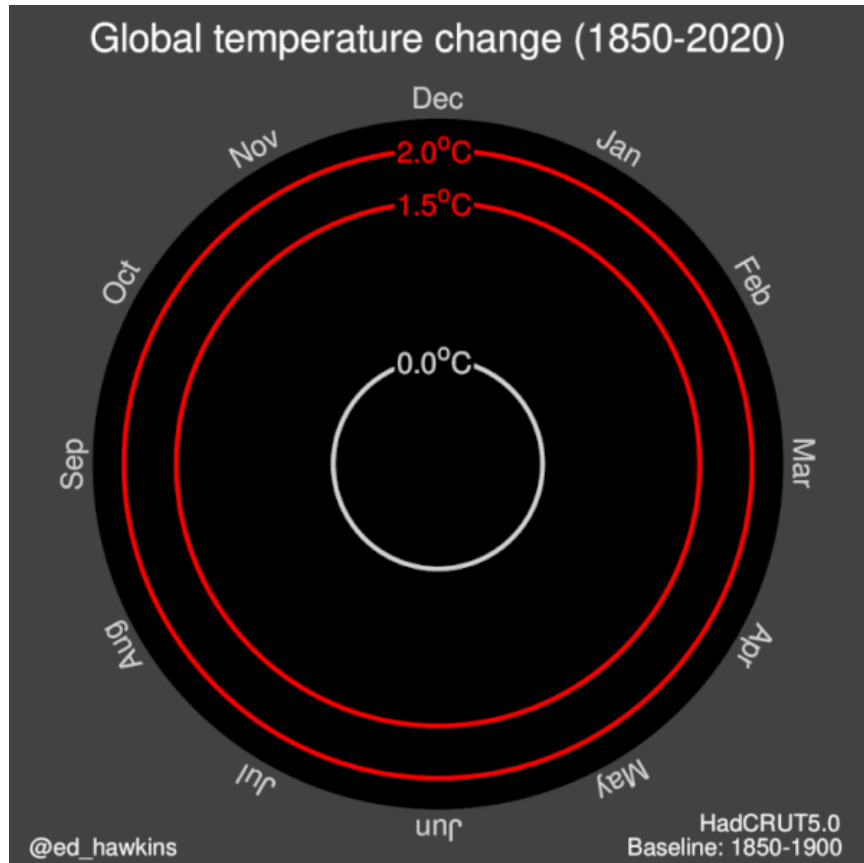
4. Inwiefern sind die stressbedingten Veränderungen der PRSC **sortenabhängig**?

➡ Aktuelle Sorten verhalten sich sehr ähnlich

5. Inwiefern sind die Erkenntnisse aus den kontrollierten Umweltbedingungen (Gewächshaus/Klimakammer) auf **reale Feldbedingungen** übertragbar?

➡ Insbesondere die Einflüsse durch **Hitze** bestätigen sich

Im Angesicht des Klimawandels



1. Die Zusammensetzung der Stärke von Braugerste und damit ihre PRSC werden stark von den Umweltbedingungen, insbesondere der **Temperatur**, beeinflusst
2. Der Klimawandel wird laut Prognosen zu einer Erhöhung der Durchschnittstemperaturen in Mitteleuropa bis 2100 um bis zu **5,5 °C** führen*
3. Diese Veränderungen erfordern **eine Anpassung** der gesamten Wertschöpfungskette

*Giorgetta, M.; Jungclaus, J.; Reick, C.; Legutke, S.; Bader, J.; Böttinger, M. et al. (2013): Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. In: J. Adv. Model. Earth Syst. 5 (3), S. 572–597. DOI: 10.1002/jame.20038.

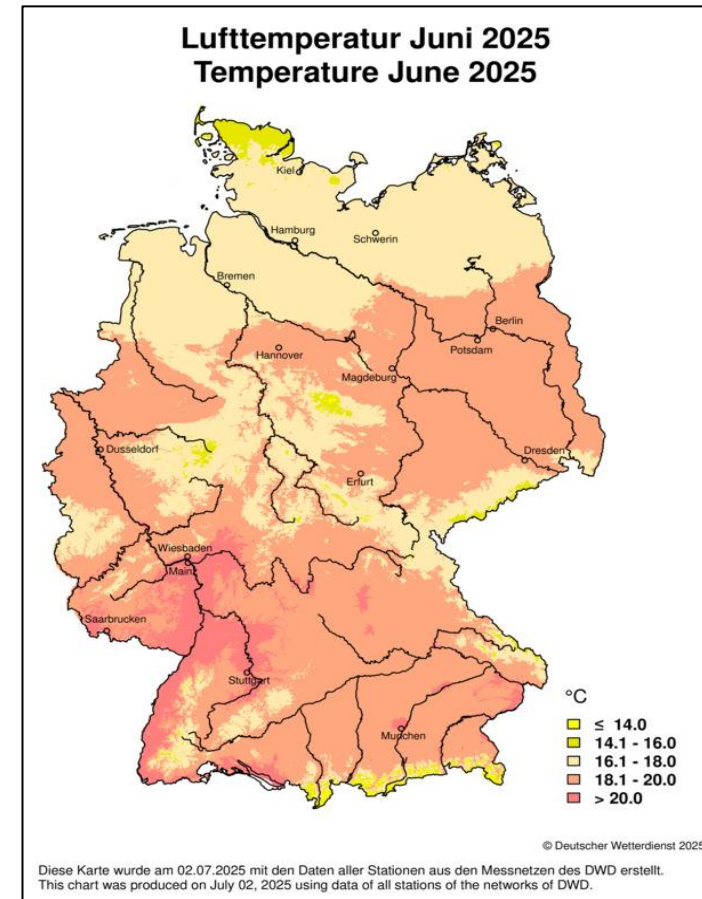
Darstellung: Ed Hawkins, University of Reading, UK

Quelle: [Morice, C. P., J. J. Kennedy, N. A. Rayner, and P. D. Jones \(2012\), Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 dataset, J. Geophys. Res., 117, D08101, doi:10.1029/2011JD017187.](#)

Praxistransfer 1 – Anpassung von Anbauort- und zeit

- Wetterveränderungen global im Blick haben
- Deutscher Wetterdienst (DWD) zeichnet bspw. Akkurat auf und stellt Daten kostenfrei zur Verfügung
- Aussaatzeitpunkt verändern?
Bsp.: Herbstaussaat und Winterbraugerste
- Klimawandel erfordert Anpassung aller Akteure, so auch der Landwirtschaft

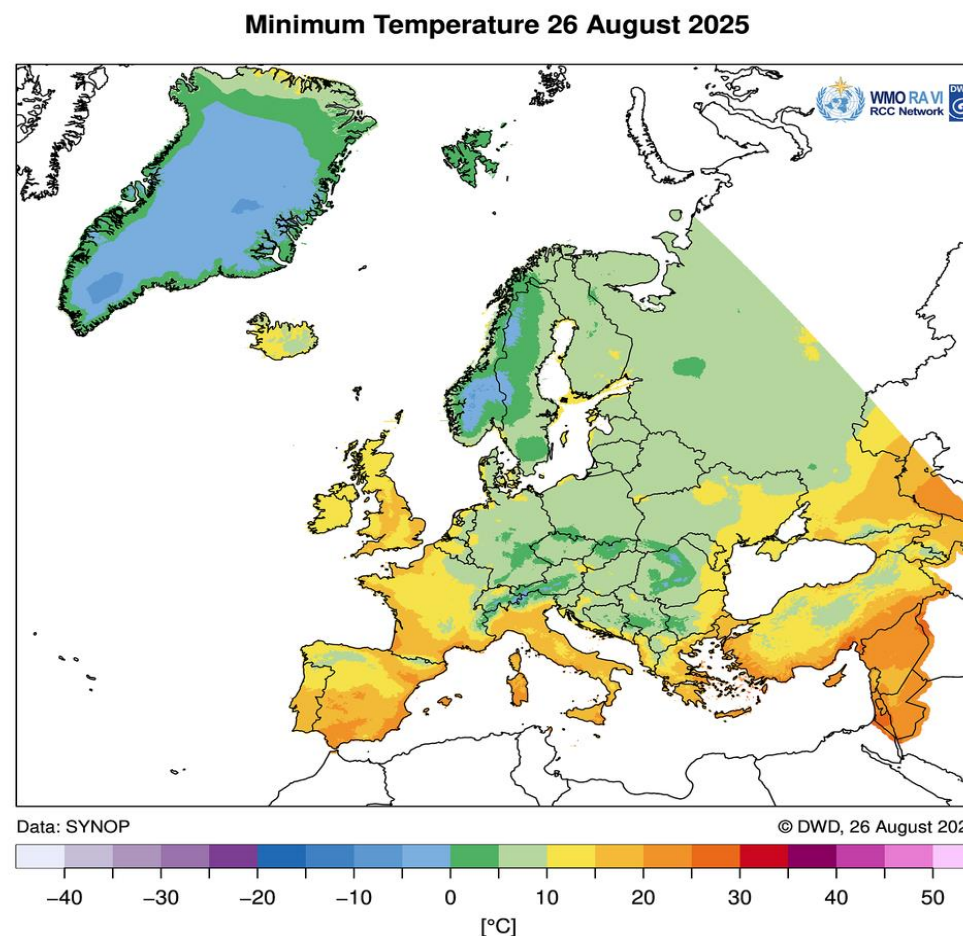
Braugerste in Regionen anbauen, an denen statistisch gesehen die Wahrscheinlichkeit **warmer Nächte** zwischen **BBCH 60 und 80** gering ist!



Quelle: Deutscher Wetterdienst;
<https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimakartendeutschland/klimakartendeutschland.html>

Praxistransfer 2 – Wetterdaten zur Vorhersage

- Exakte Zusammenhänge zwischen Temperaturverlauf und PRSC sind komplex
- Publikation 3 zeigt, dass näherungsweise die Durchschnittswerte (insbes. **Nachttemperaturen**) gute Korrelationen liefern
- Auch eine stark vereinfachte Datenaufbereitung kann gute Anhaltspunkte liefern
- Vorhersagemodelle verwenden?
- Geschickter Einkauf und gezieltes Blending in Mälzerei?



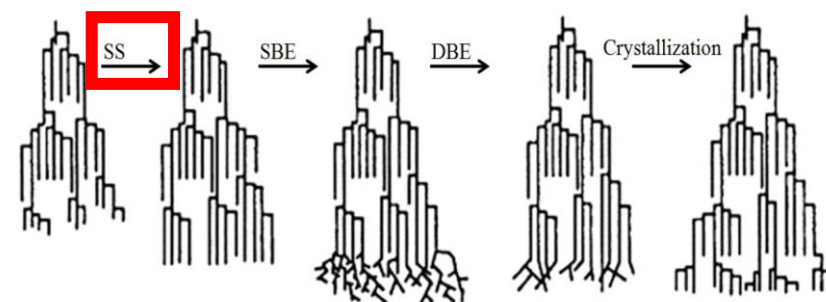
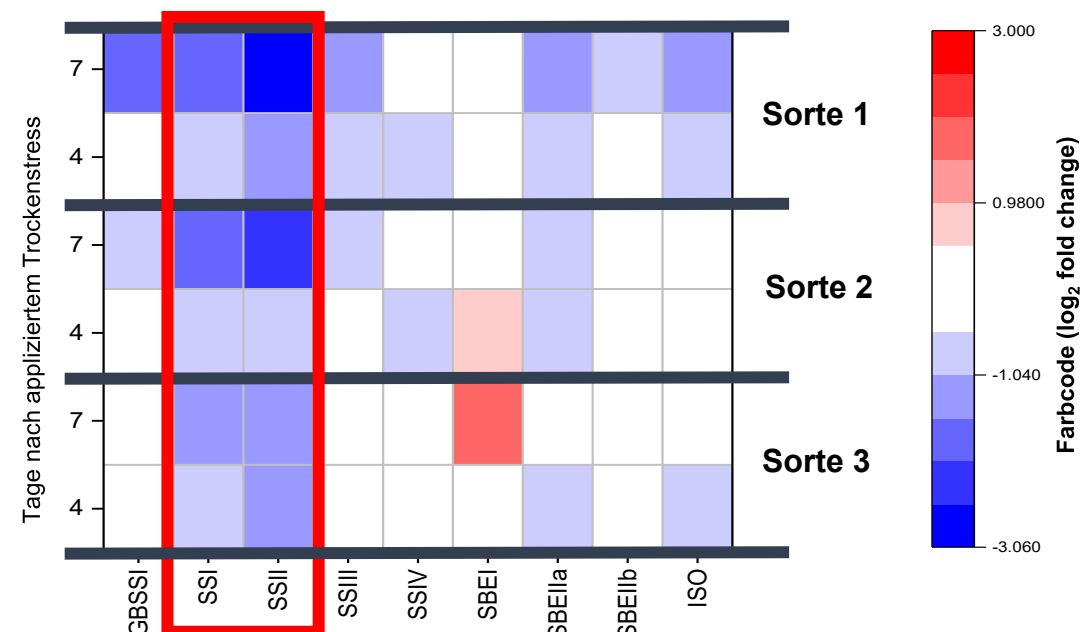
Quelle: Deutscher Wetterdienst; <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimakartendeutschland/klimakartendeutschland.html>

Praxistransfer 3 – Züchtung

- Weiterführende Untersuchungen zeigten, welche Stärkesynthese-Enzyme bspw. von Trockenheit beeinflusst werden
- Dieses Wissen kann in der markergestützten Züchtung verwendet werden
- Angepasste Zukunftssorten bieten eine langfristige Lösungsmöglichkeit



© Tom Freudenberg/pict-images



Quelle: Zaher, A.: The Regulation of Starch Biosynthesis in Barley (*Hordeum vulgare*), 2014.

Publikationen

Hör, S., Beer, T., Hoheneder, F., Becker, T., Gastl, M. (2024). **Influence of drought stress and growth temperature during kernel development on physical and chemical starch characteristics of malting barley.** *Cereal Chemistry*, 1-13.

<https://doi.org/10.1002/cche.10793>

Franz, V. and Hör, S., Petermeier, H., Neugrodda, C., Becker, T., Gastl, M. (2025). **The influence of systematic heat and drought applications at defined growth stages on malting barley starch properties.** *Journal of the Science of Food and Agriculture*.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.14183>

Hör, S., Gastl, M. (2025). **Starch properties of field-grown malting barley under variable weather: Interpreting results in light of controlled-environment studies.** *Journal of Cereal Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2025.104261>

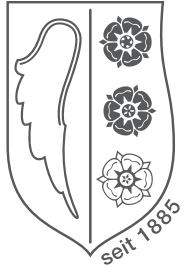
Hör, S. (2025). **Impact of heat and drought during plant growth on processing-relevant starch characteristics of malting barley in the context of climate change challenges for the brewing industry.** *Dissertation, Technische Universität München*.

<https://mediatum.ub.tum.de/1780049>



FORSCHUNGSZENTRUM
WEIHENSTEPHAN
für Brau- und Lebensmittelqualität



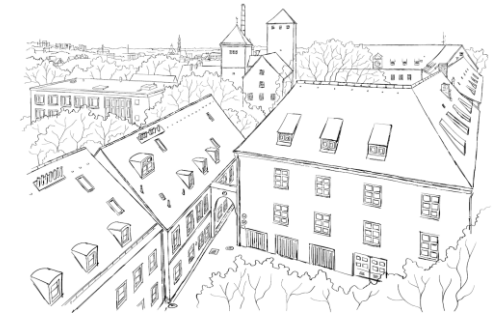


FORSCHUNGSZENTRUM
WEIHENSTEPHAN
für Brau- und Lebensmittelqualität



Herzlichen Dank an alle, die diese Forschung möglich gemacht haben!

- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
- Prof. Dr-Ing. Martina Gastl, Prof. Dr. Senthold Asseng
- Thomas Beer, Veronika Franz, Dr. Bertram Sacher, Tanja Wintzer und Christina Müller
- Dr. Susanne Steger, Roman Meier, Florian Steinbacher, Leonardo Teixeira
- Sabine Zuber, Kai Steinmetz, Laura Schönherr und Co.
- Felix Hoheneder, Dr. Christina Steidele, Prof. Hückelhoven
- Kerstin Holtz, Labore BGT und BLQ
- Bayerische Braugerstenzüchter: Saatzucht Breun, Streng-Engelen, Ackermann
- **Und so vielen anderen!**



Technische Universität München
Forschungszentrum Weihenstephan
für Brau- und Lebensmittelqualität
Alte Akademie 3
D-85634 Freising

Tel: +49 8161 71 5170
Fax: +49 8161 71 4181
E-Mail: martina.gastl@tum.de
www.blq-weihenstephan.de



Lehrstuhl für
Phytopathologie
Prof. Dr. Ralph Hückelhoven



BAY
KLIMAFIT 2

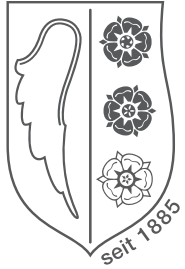
Projektverbund · Starke Pflanzen im Klimawandel

Project-ID: TEW01C02P-77738



finanziert durch
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz





FORSCHUNGSZENTRUM
WEIHENSTEPHAN
für Brau- und Lebensmittelqualität



Herzlichen Dank für die Anerkennung durch den Dr. Sarx-Gedächtnispreis 2026!



Technische Universität München
Forschungszentrum Weihenstephan
für Brau- und Lebensmittelqualität
Alte Akademie 3
D-85634 Freising

Tel: +49 8161 71 3333
Fax: +49 8161 71 4181
E-Mail: blq@tum.de
www.blq-weihenstephan.de

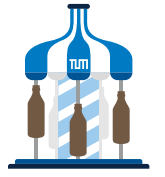
Kennen Sie schon unsere Bierpakete?



DIE BIERAMPEL®



DER BIERPASS



DAS BIERKARUSSELL®



Einfach QR-Code scannen
und informieren!