



69. RHEINGAUER WEINBAUWOCHE



Klimawandel und mögliche Veränderungen des Inhaltsstoffprofils des Rieslings

Dr. Andrii Tarasov

Prof. Dr. Doris Rauhut

Prof. Dr. Hans Reiner Schultz

Eltville, 14 Januar 2026

- **Einleitung: Riesling-Traubenparameter**
- **Klimawandels weltweit und im Rheingau**
- **Auswirkungen des Klimawandels auf Riesling**
 - **Zucker- und Säuregehalte**
 - **Aromastoffe**
- **Fazit: Anpassung an den Klimawandel im Weinbau**

Klimawandelfaktoren:



Temperatur



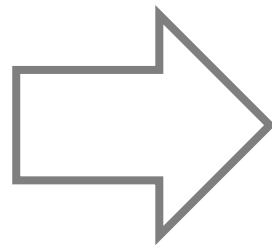
Sonneneinstrahlung



Niederschlagsmuster



Erhöhte CO₂-Konzentration



Die Rebphenologie und der Gehalt der Trauben bei der Lese werden stark verändert

Verschiedene Konzepte der "Traubenreife":

- Physiologische Reife
- Technologische Reife
 - Phenolische Reife
- Zelluläre (Zellwand-)Reife
 - Aromatische Reife
 - Sensorische Reife



Wichtige Traubenparameter für die Weinbereitung

Zuckergehalt

Säuregehalt

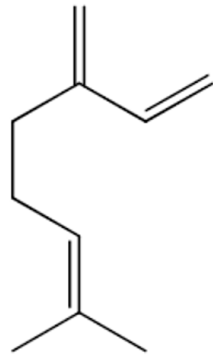
Aromaprofil

Phenolgehalt



FACE - HGU

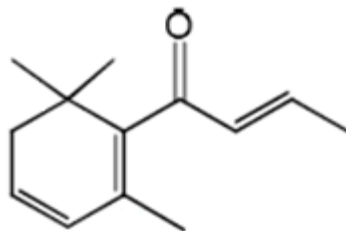
Terpene



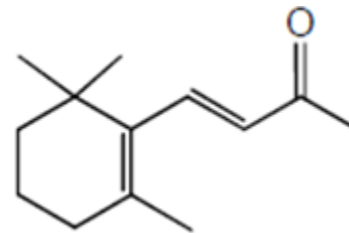
Linalool
Geraniol
Nerol
Citronellol
 α -Terpineol
...

**Blumig,
fruchtig**

C_{13} - Norisoprenoide

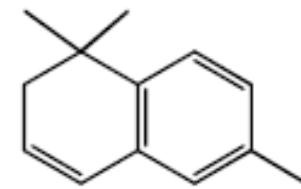


β -Damascenon

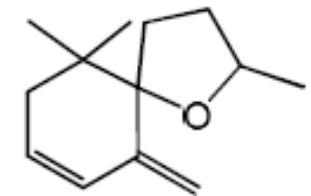


β -Ionon

Junge Weine: **blumig, fruchtig**



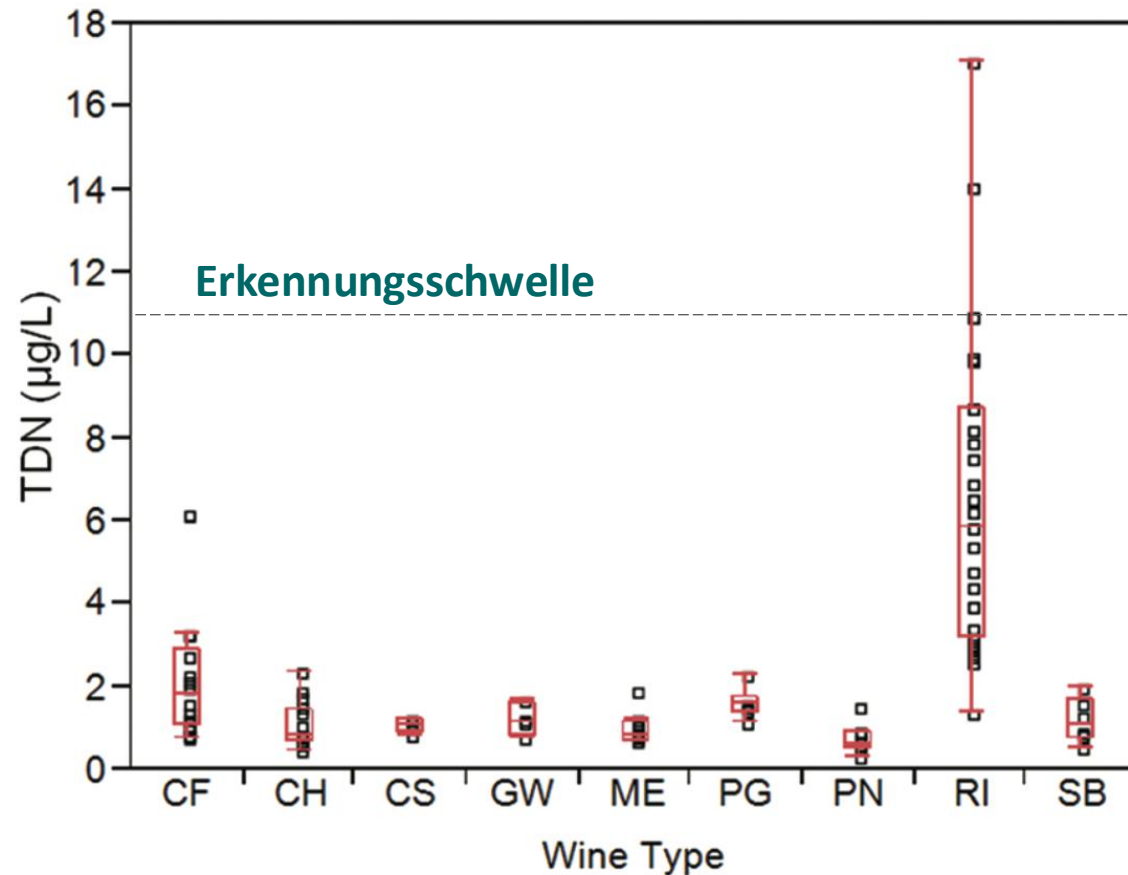
TDN
Kerosin, Diesel



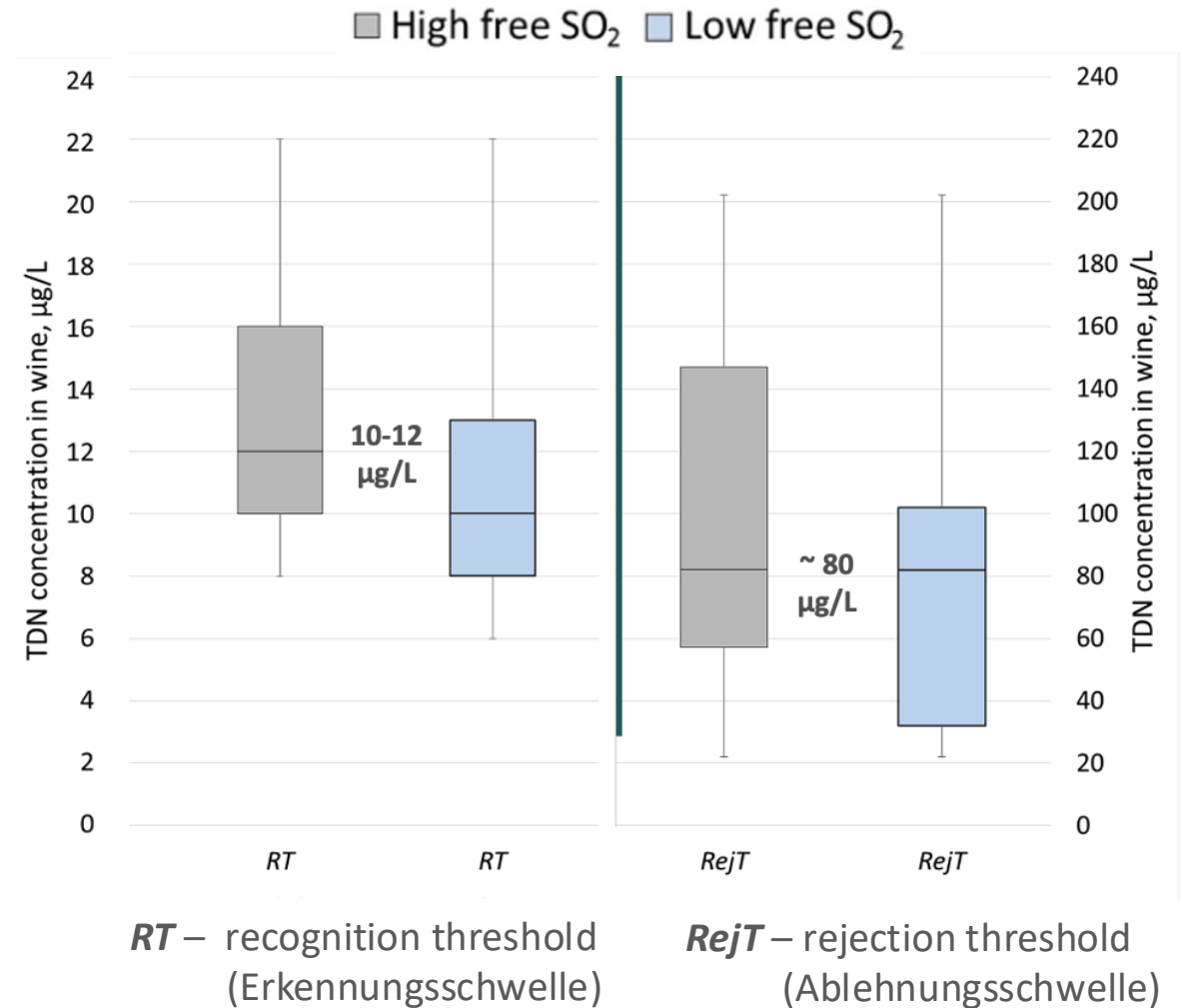
Vitispiran
Kampfer, Balsamico

Gereifte Weine

- TDN ist **nicht einzigartig** für Riesling
- Der **TDN-Gehalt im Riesling** ist jedoch **höher als in anderen Weinen** und kann die Erkennungsschwelle überschreiten

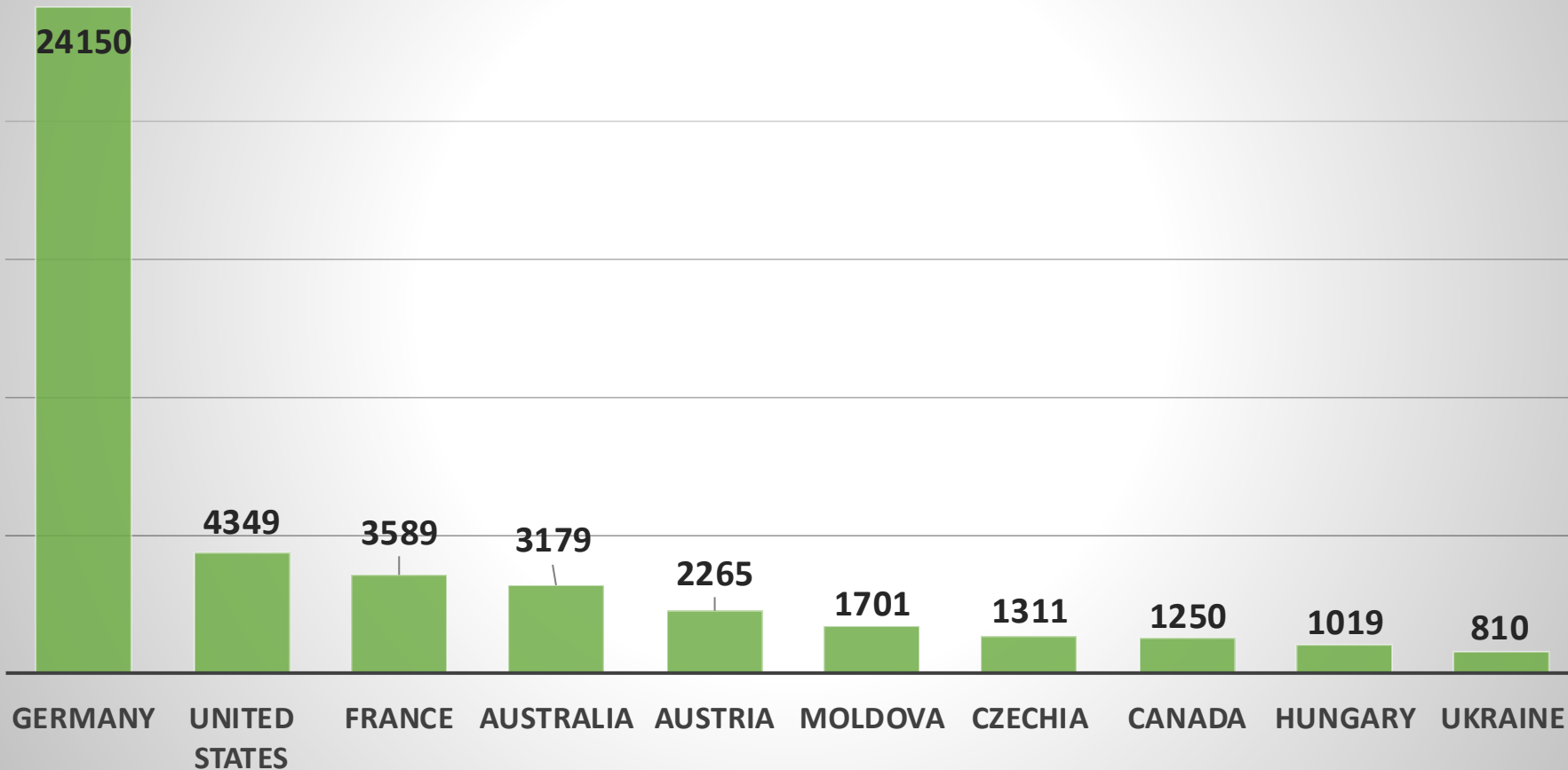


- TDN verleiht den **Weinaromen Komplexität**, kann aber in **hoher Konzentration negativ** wahrgenommen werden



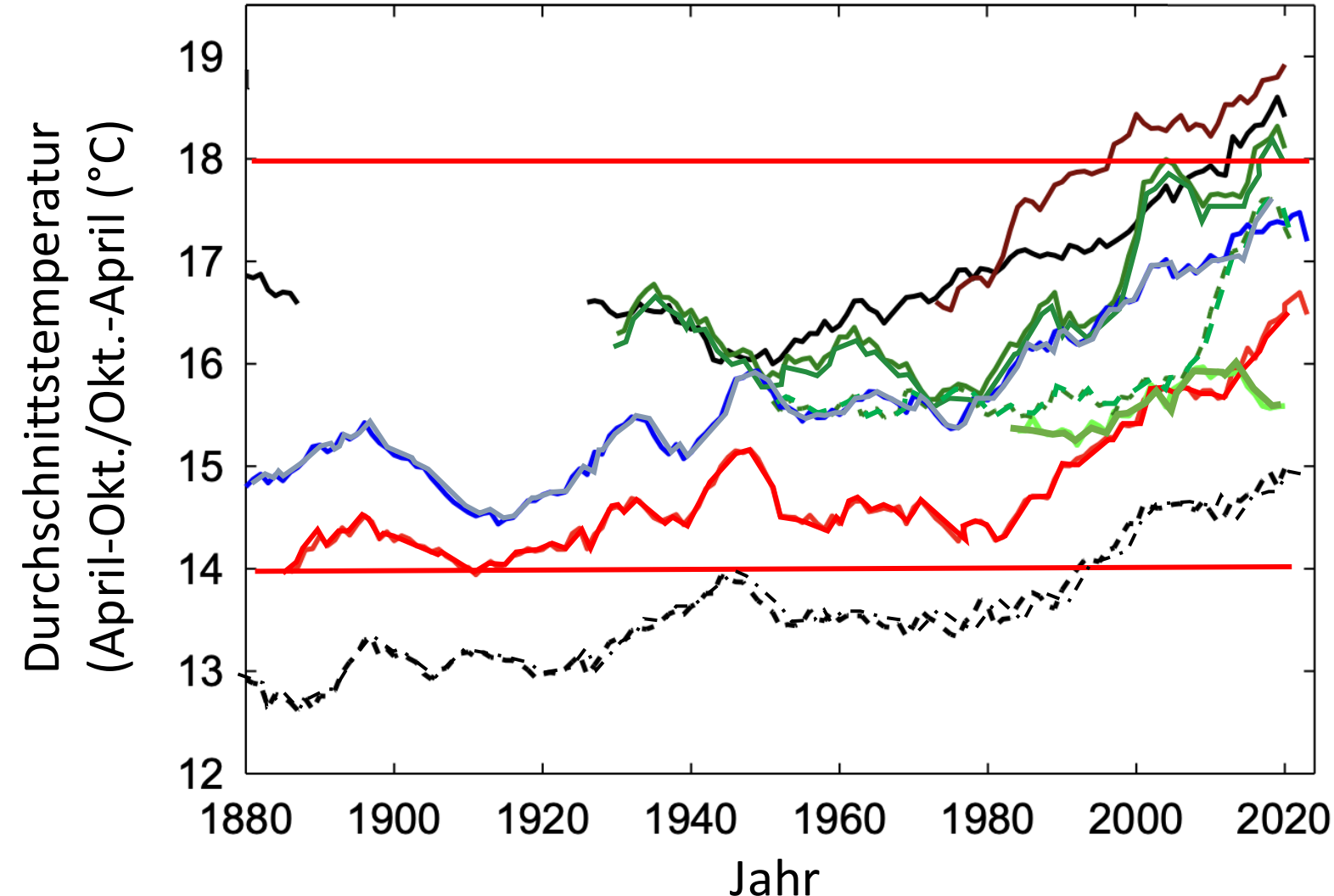
- **Einleitung: Riesling-Traubenparameter**
- **Klimawandels weltweit und im Rheingau**
- **Auswirkungen des Klimawandels auf Riesling**
 - **Zucker- und Säuregehalte**
 - **Aromastoffe**
- **Fazit: Anpassung an den Klimawandel im Weinbau**

RIESLING Weinbergsfläche im Jahr 2023, ha



Die Erfahrungen **anderer Länder**, in denen **Riesling traditionell** angebaut wird, können auch in Deutschland genutzt werden

Beobachtete Klimatrends in wichtigen Ländern für Riesling



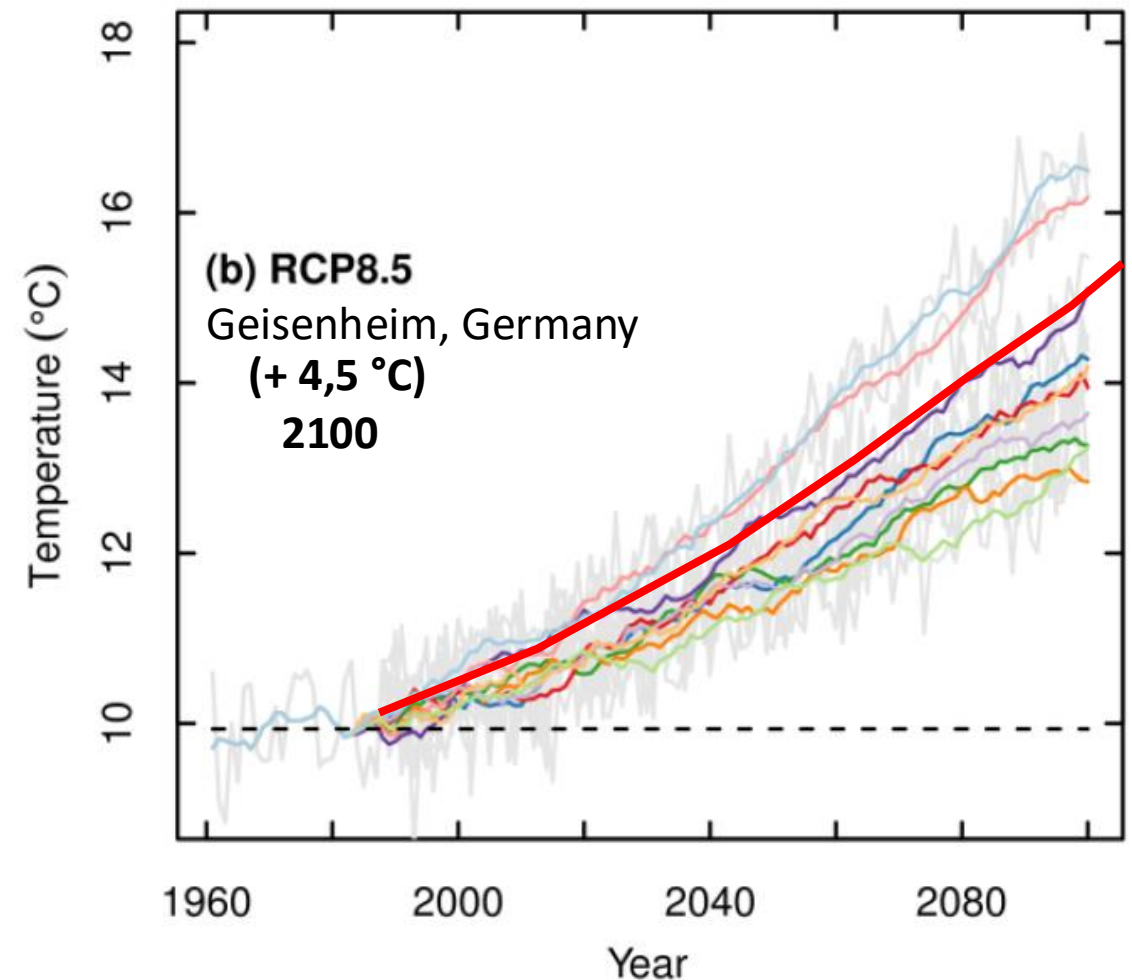
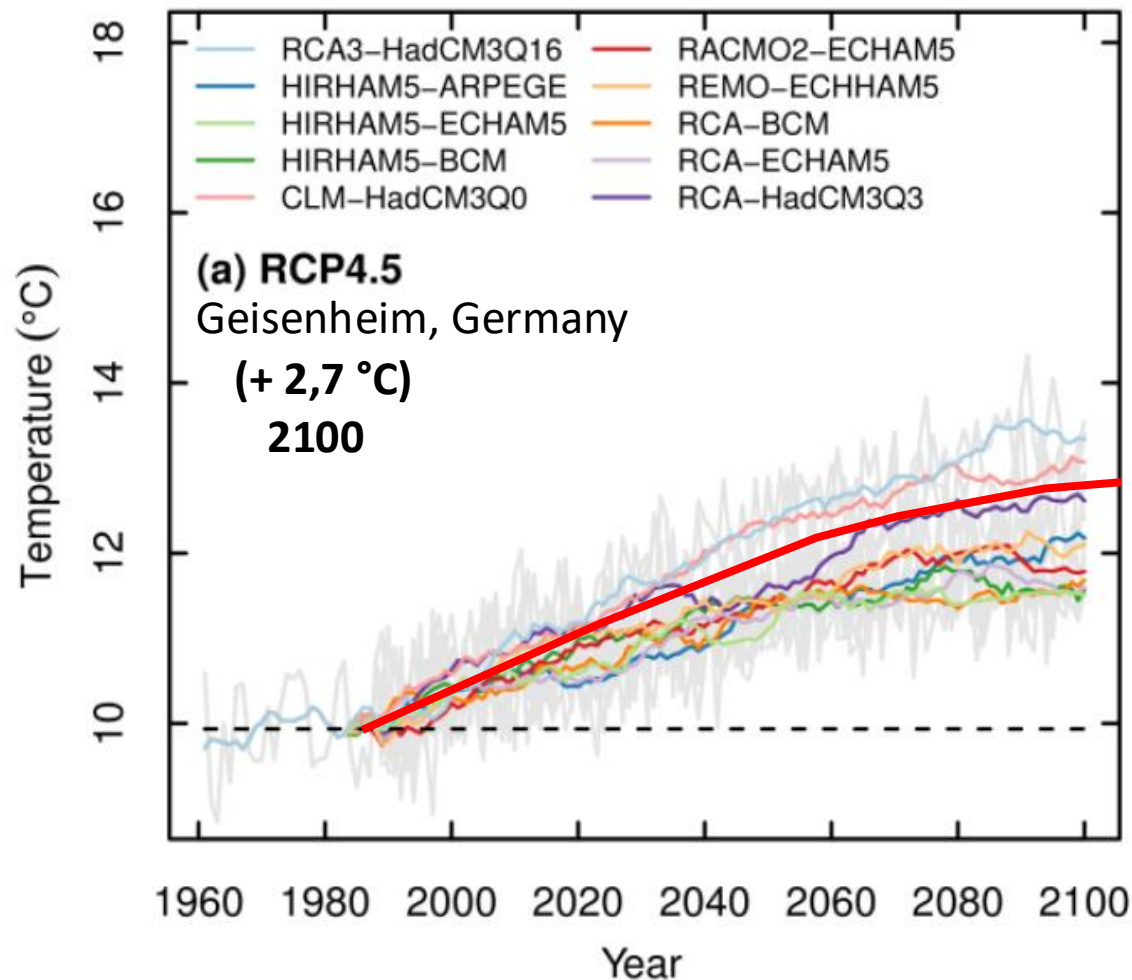
Bordeaux, Frankreich, 44.8 °N
Adelaide Hills (MB), Australien, 34.7 °S
Prosser, Washington, USA, 46.2 °N

Wien, Österreich, 48.2 °N
Yakima, Washington, USA, 46.6 °N
Geisenheim, Deutschland, 50.0 °N
Finger Lakes, Geneva, USA, 42.5 °N
Oxford, England, 51.7 °N

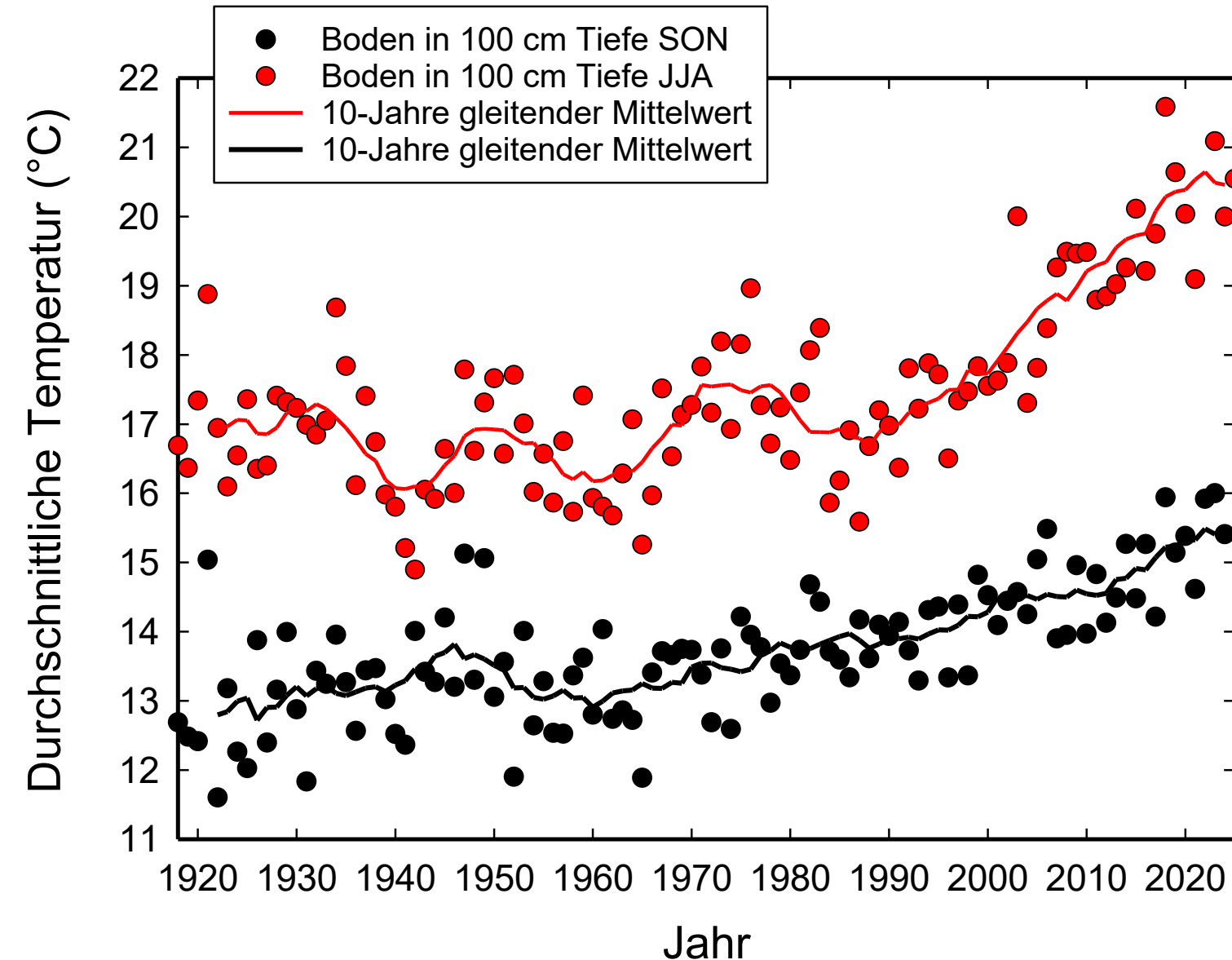
**Riesling
Regionen**

Zusammengestellt (H.R.Schultz) French data:
DB, CLIMATIK, Agroclim, INRA, German data:
Deutscher Wetterdienst, Australian data:
Governm. Bureau Meteorology, UK data
Meteorol. Office, US and other data: NOAA

Verschiedene regionale Klimamodelle und Klimaszenarien für Geisenheim z.B.



Veränderungen der Bodentemperatur



Sommer

+ 4,0 –
4,5 °C

Herbst

+ 2,0 –
2,2 °C

Bodentemperatur im
Sommer
(Juni, Juli, August; JJA)

gegenüber dem
Herbst
(September, Oktober,
November; SON)

1 m Bodentiefe

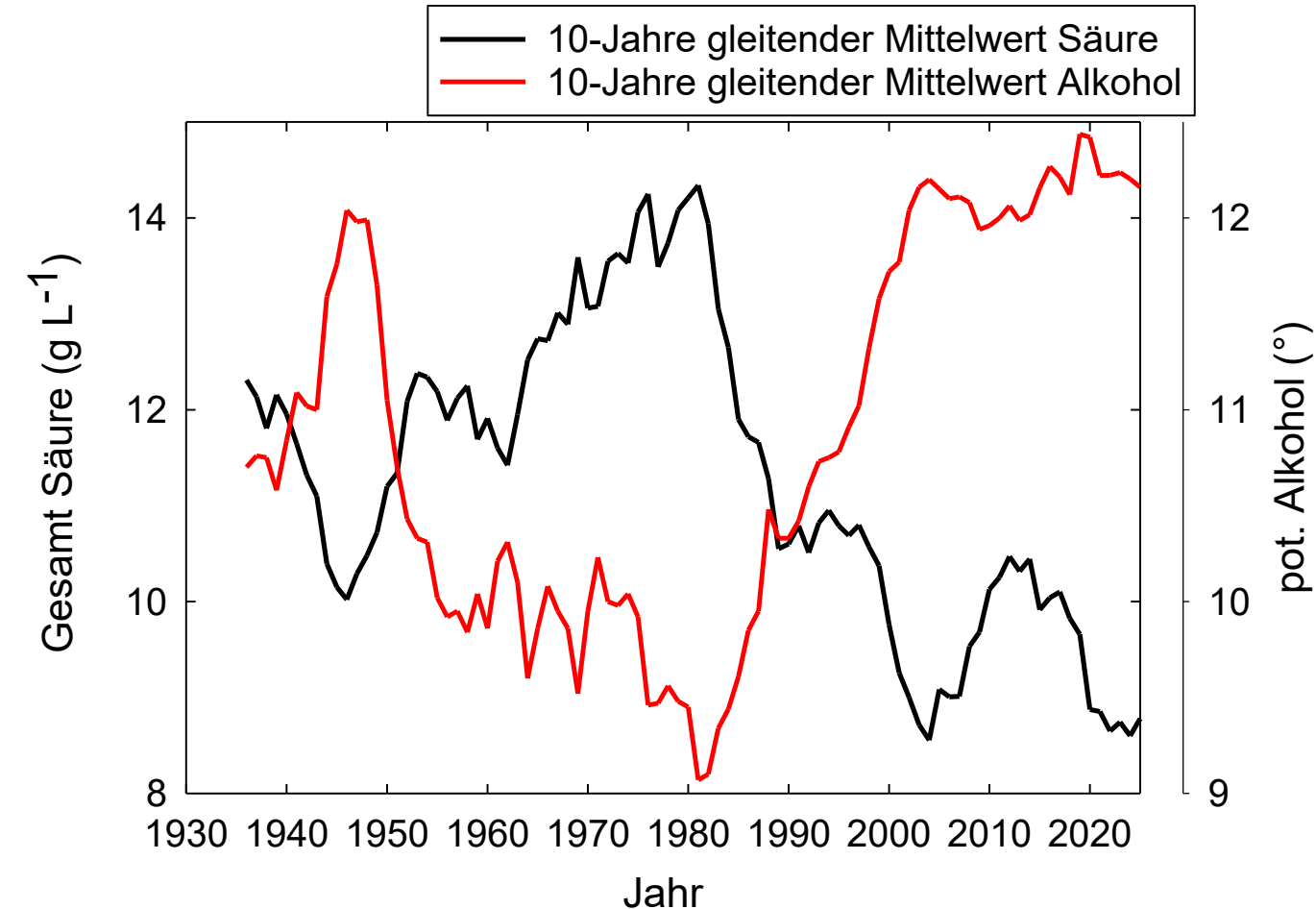
Daten: Deutscher Wetterdienst (Hochschule),
Geisenheim

Aktualisiert nach Schultz, H.R. (2022)

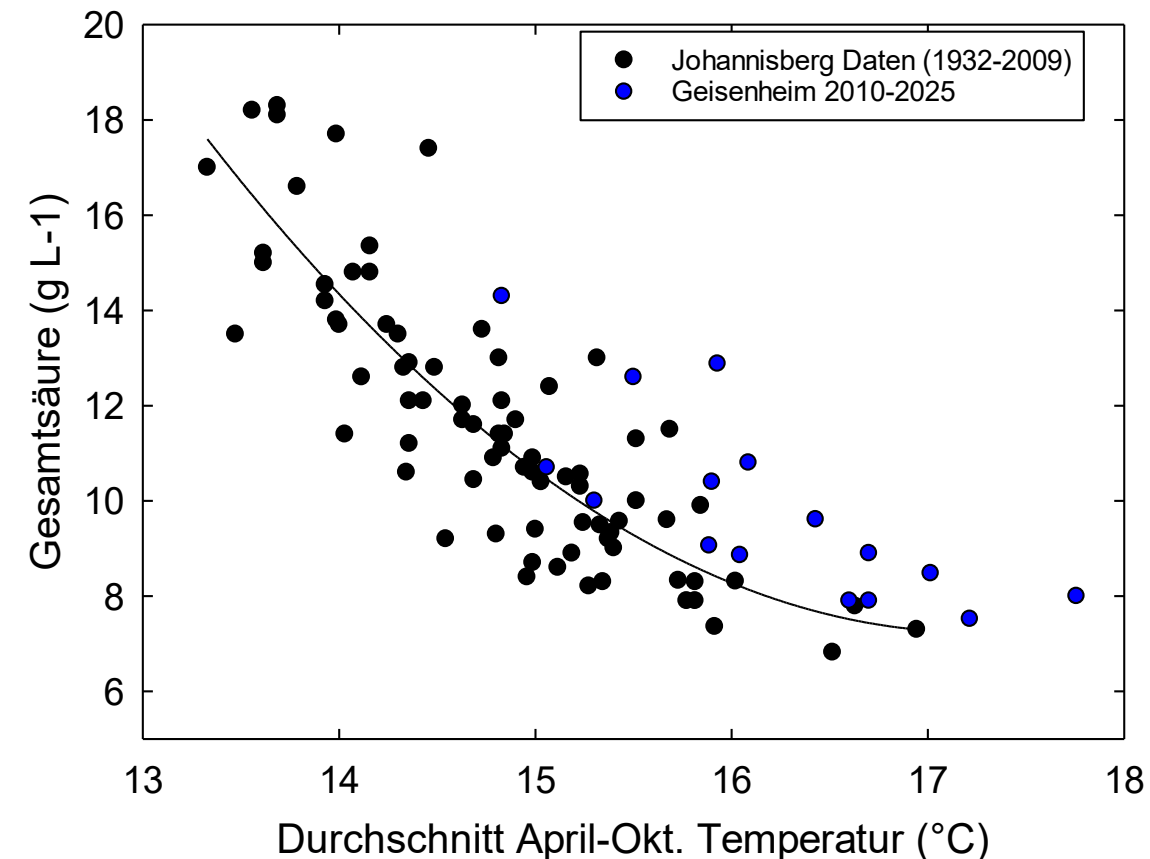
OenoOne Vol. 56, 2: 251-263

- **Einleitung: Riesling-Traubenparameter**
- **Klimawandels weltweit und im Rheingau**
- **Auswirkungen des Klimawandels auf Riesling**
 - **Zucker- und Säuregehalte**
 - **Aromastoffe**
- **Fazit: Anpassung an den Klimawandel im Weinbau**

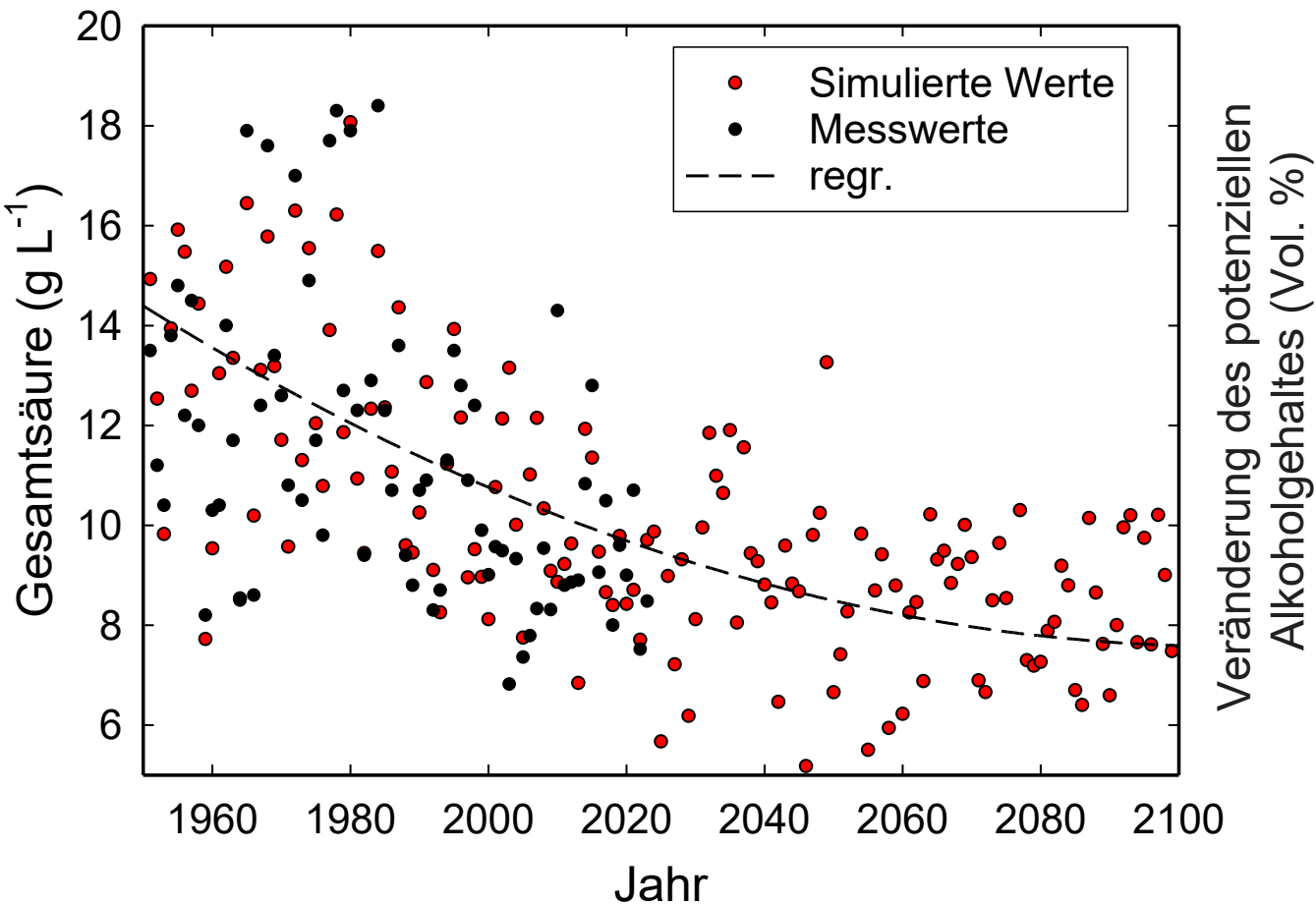
Entwicklung der Gesamtsäure seit 1930



Abhängigkeit von Säure zu Temperatur (als Teil der Gesamtsäure reagiert nur die Äpfelsäure)



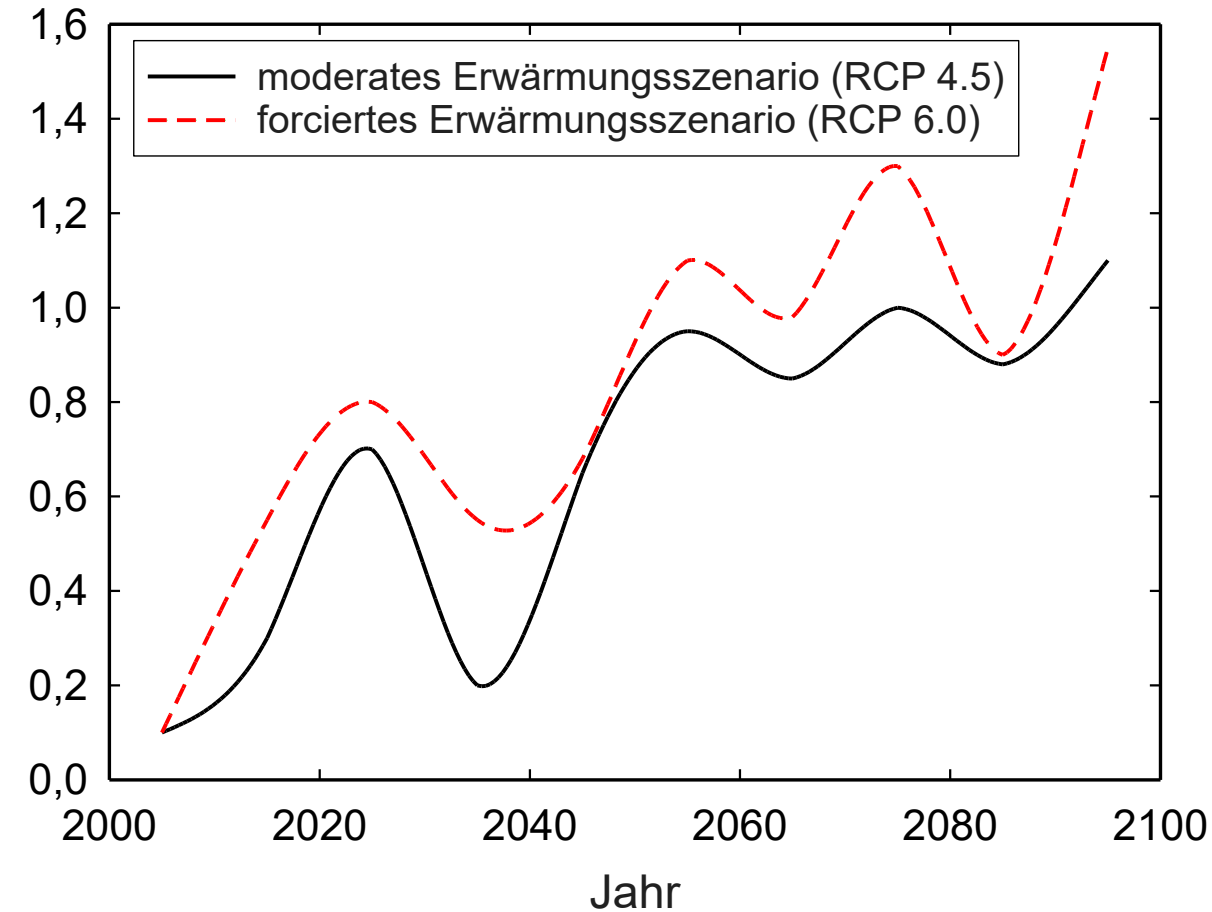
Simulation von Gesamtsäure



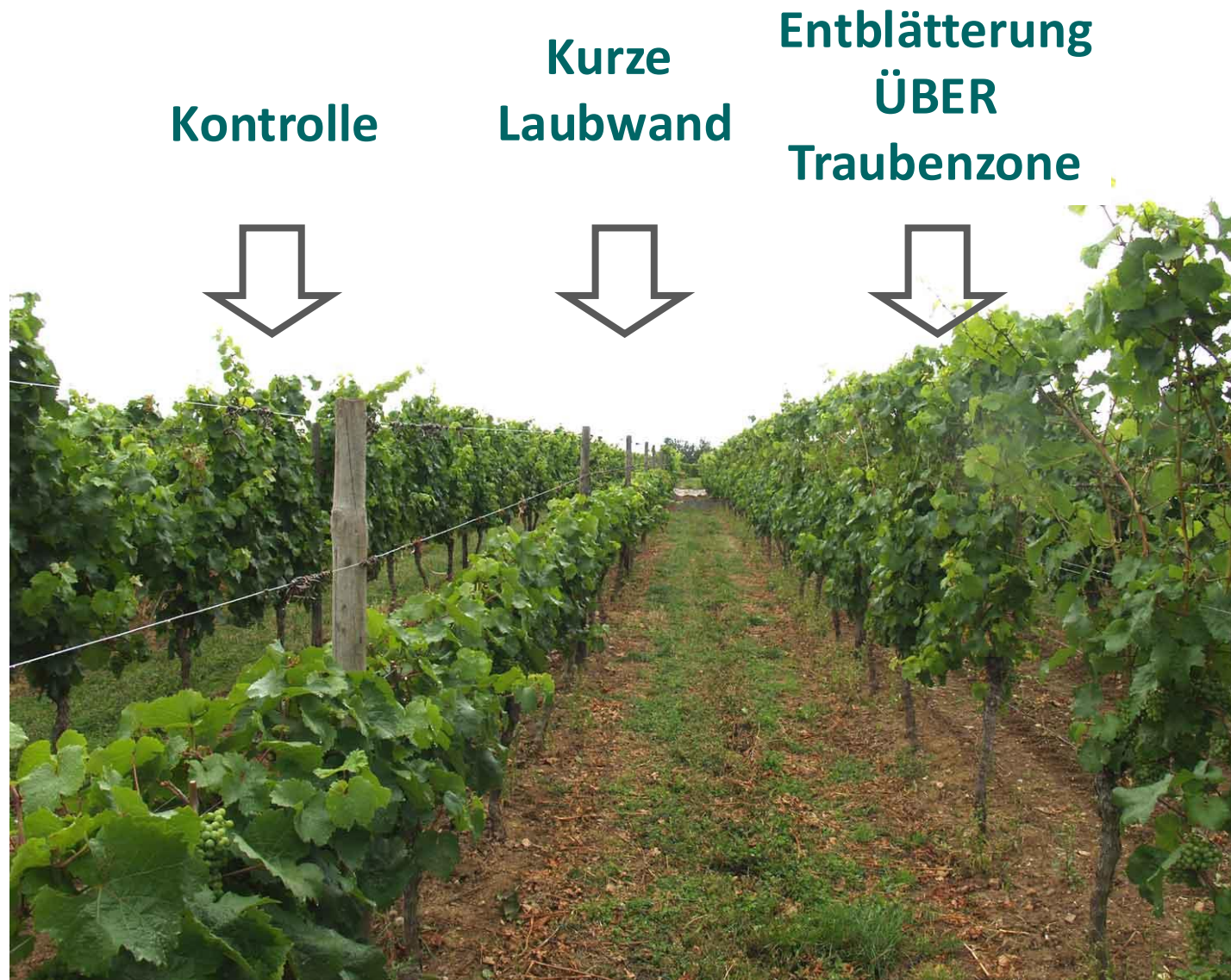
Hoppmann, Hofmann, Schultz (2005) INKLIM II-Projekt

Verschiedener Klimaszenarien

(Mostgewicht als potenzieller Alkoholgehalt)



Hofmann, Schultz (2007) INKLIM II-Projekt

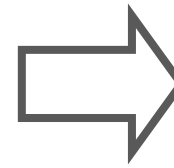


**Variation der
Blattfläche**

**Erster Rückschnitt
BBCH 73
(21.6.2007)**



**Zweiter Rückschnitt
BBCH 83
(24.08.2007)**

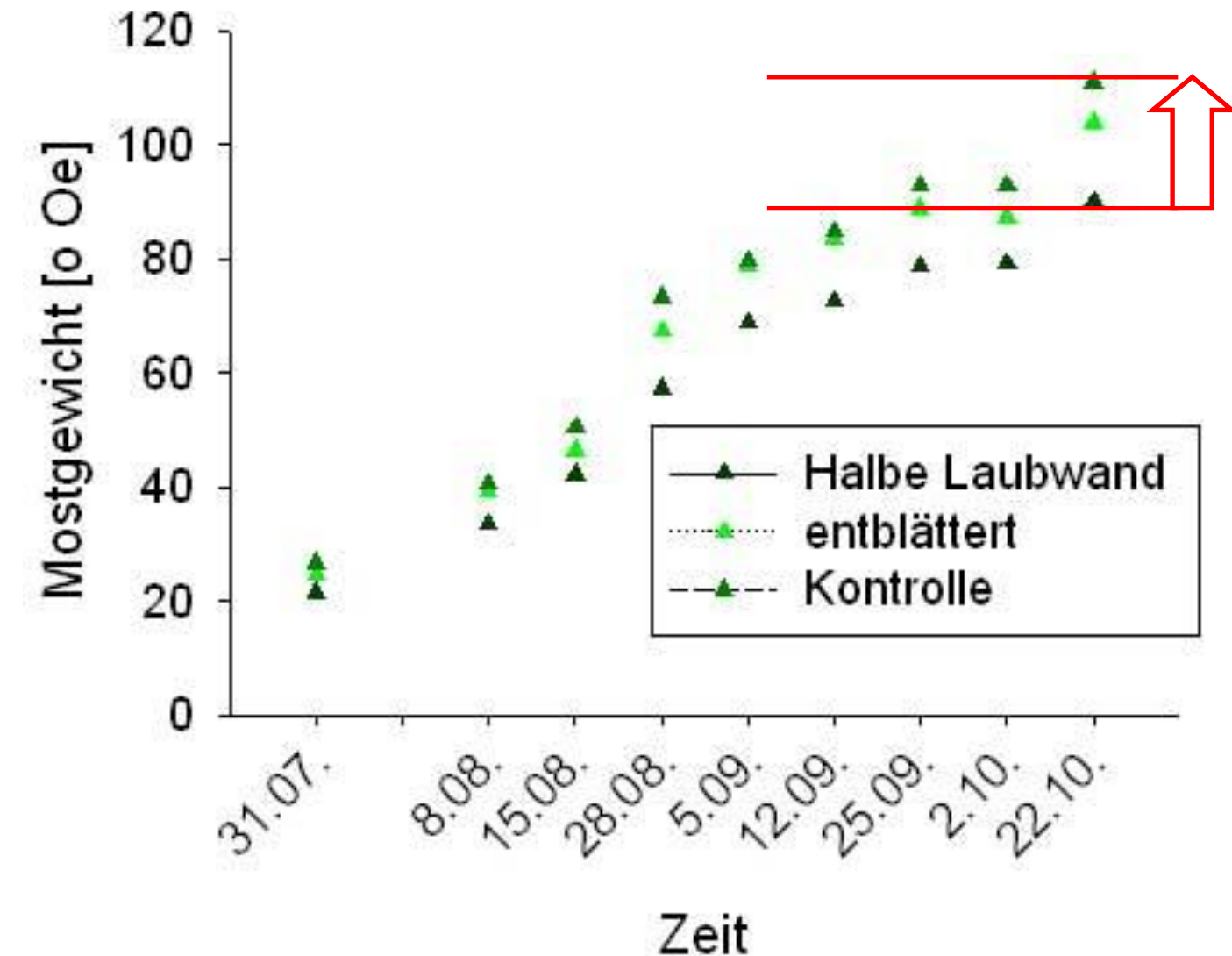


Kurze Laubwand





Maschinelle Entblätterung **ÜBER** der Traubenzone



Reifeverlauf

+21° Oe

Entblätterung über der Traubenzone
(einmalig) reduziert ca. 5-10 °Oe
(je nach dem wie häufig man das
einsetzt kann das auch mehr sein)

Einfluss der Blattflächenänderung auf Mostgewicht und pH

	Kontrolle (frühe Lese)	Kontrolle	Halbe Laubwand	Entblätterung
Lesedatum	9.10.07	22.10.07	22.10.07	22.10.07
Ertrag (kg/ar)	141.2	122.2	119.9	122.2
Mostgewicht (°Oe)	89	111	90	104
Sre (gL⁻¹)	10.7	8.2	8.6	8.4
pH	3.15	3.24	3.24	3.20
NOPA (mgL⁻¹)	172	259	207	241

**Ernte-
Reifeparameter**

- **Einleitung: Riesling-Traubenparameter**
- **Klimawandels weltweit und im Rheingau**
- **Auswirkungen des Klimawandels auf Riesling**
 - **Zucker- und Säuregehalte**
 - **Aromastoffe**
- **Fazit: Anpassung an den Klimawandel im Weinbau**

Ges. Terpenalkohole

Vintage	treatment		total terpenols* [µg/L]
2008	Kontrolle	C	162 (5) ^a
		I	143 (8) ^b
2009	Kontrolle	C	511 (29) ^a
		I	224 (6) ^b
		IdB	303 (25) ^c
		IdV	195 (6) ^b
2010	Kontrolle	C	227 (5) ^a
		I	226 (13) ^a
		IdB	195 (30) ^a

*Total terpenols: sum of free and acid hydrolysed terpenols including geraniol, α -terpineol, linalool, *cis*-linalool oxide, *trans*-linalool oxide; n = 3; standard deviation is indicated in parenthesis; differing letters indicate statistical significance within a vintage (Holm-Sidak method; $p < 0.05$)

Nicht bewässert

Bewässert

Nicht bewässert

Bewässert

Bewässert, entblättert zur Blütezeit

Bewässert, entblättert zur Véraison

Nicht bewässert

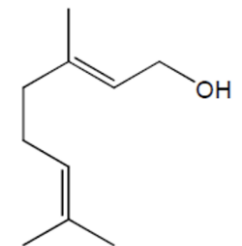
Bewässert

Bewässert, entblättert zur Blütezeit

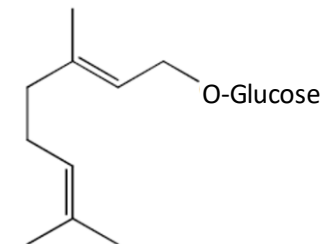
Wassermangel führt zu etwas **höheren Terpengehalten**, Riesling

Terpene: Einfluss von Wassermangel und Entblätterung

Terpene



Freie Form (flüchtige)

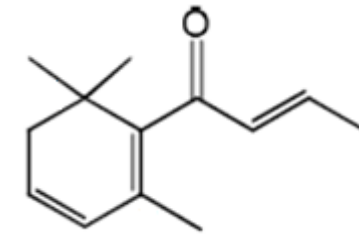


Gebundene Form (nichtflüchtige)

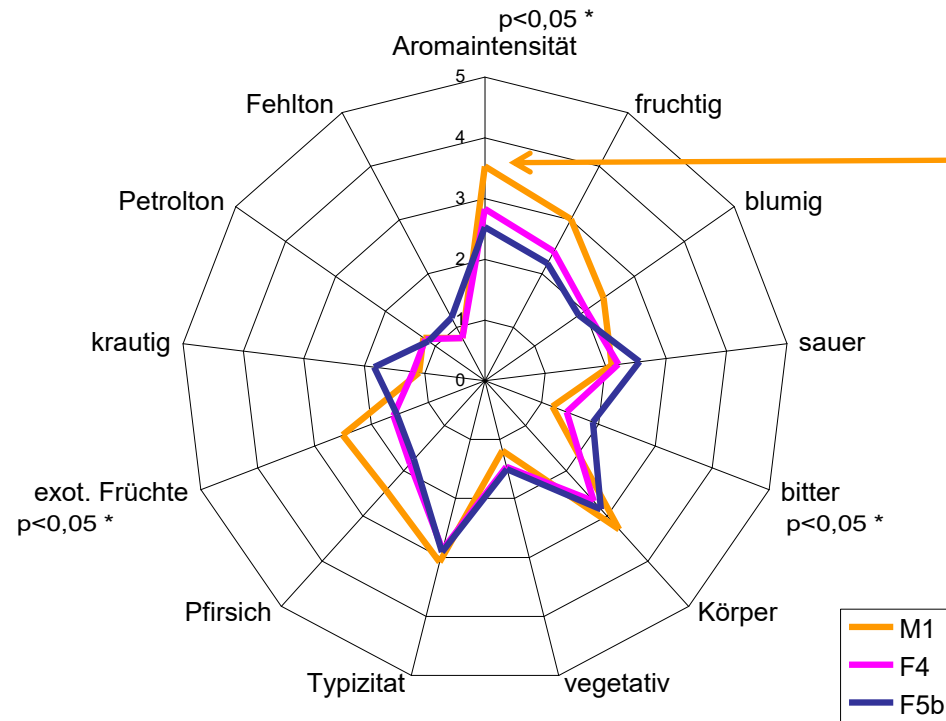
	Kontrolle (bewässert)	Frühes Wasserdefizit (bis Veraison)	Spätes Wasserdefizit (ab Veraison)	Kontinuierliches Wasserdefizit			
Bound Terpenes at Harvest							
α phellandrene	32.69 ± 12.60	15.11 ± 6.63	19.98 ± 8.72	33.52 ± 15.54	n.s.	***	n.s.
α terpinene	4.47 ± 2.05	3.55 ± 1.57	3.72 ± 1.63	6.11 ± 2.85	n.s.	***	n.s.
α terpinol	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.			
α terpinolene	2.64 ± 1.23	0.46 ± 0.46	1.76 ± 0.88	2.92 ± 1.37	*	***	**
β phellandrene	30.32 ± 13.90	21.56 ± 7.92	20.37 ± 8.89	37.94 ± 17.63	n.s.	***	n.s.
citral	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.			
citronellol	242.72 ± 46.51	253.50 ± 62.95	266.96 ± 55.75	342.99 ± 77.80	n.s.	***	**
farnesene-a	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.			
farnesene-b	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.			
γ terpinene	0.43 ± 0.19	0.28 ± 0.13	0.35 ± 0.16	0.49 ± 0.21	*	***	**
geranic acid	1107.65 ± 260.13	1270.90 ± 295.23	1170.15 ± 303.24	1329.76 ± 313.40	n.s.	***	n.s.
geraniol	2217.95 ± 364.34	3224.03 ± 567.93	3079.70 ± 570.91	3632.40 ± 536.57	n.s.	***	n.s.
hydroxylinalool	771.15 ± 133.25	740.17 ± 169.53	859.64 ± 156.73	817.95 ± 142.78	n.s.	***	n.s.
limonene	8.54 ± 2.73	9.65 ± 3.51	4.17 ± 1.83	6.96 ± 3.29	n.s.	***	*
linalool	67.99 ± 11.20	66.09 ± 15.62	62.96 ± 15.48	82.99 ± 16.30	n.s.	***	n.s.
methyl geranate	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.			
myrcene	2.63 ± 0.86	3.38 ± 0.95	1.56 ± 0.69	2.77 ± 1.26	n.s.	***	*
nerol	634.98 ± 129.58	808.14 ± 217.25	758.37 ± 190.56	928.65 ± 196.89	n.s.	***	n.s.
ocimene-a	8.29 ± 3.77	5.39 ± 2.34	6.26 ± 2.74	10.86 ± 4.99	*	***	**
ocimene-b	12.48 ± 5.67	11.14 ± 4.31	8.97 ± 4.04	13.70 ± 6.32	n.s.	***	n.s.
rose oxide	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.			
Total	5144.92 ± 517.86	6433.35 ± 799.19	6264.91 ± 824.25	7250.01 ± 828.65	n.s.	***	n.s.

Wassermangel führt zu viel **höheren Terpengehalten**, Gewürztraminer
 (Beispiel Okanagan Valley, Kanada)

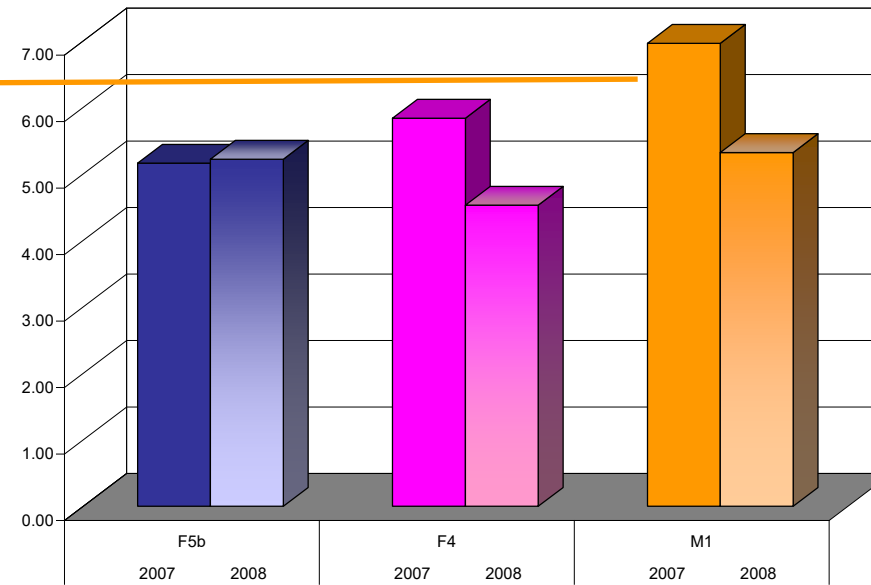
C₁₃-Nor- isoprenoide



β-Damascenon



β-Damascenon in wine, µg/L



Weinbergslagen

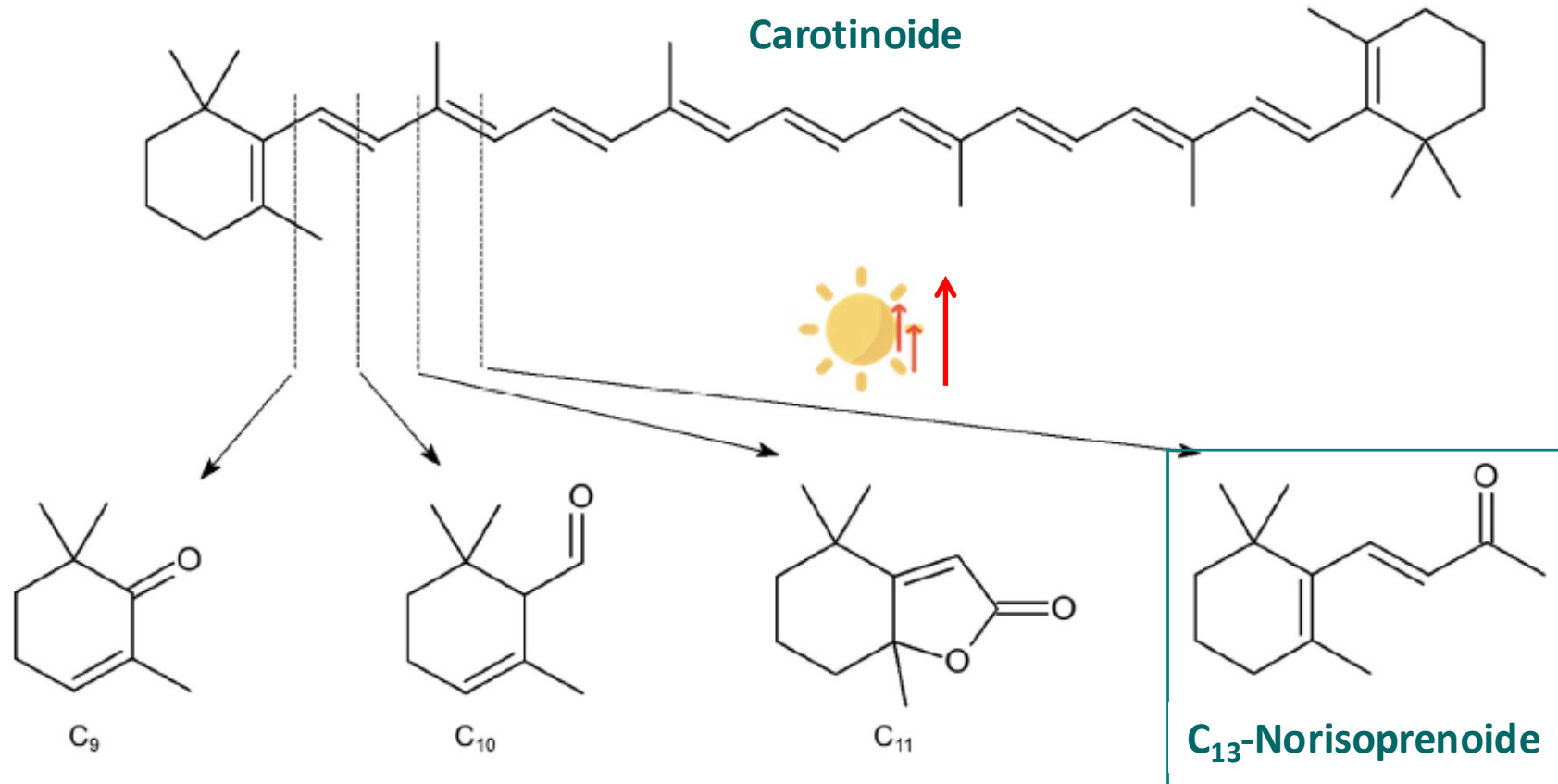
Empfehlungen zur Steigerung des β-Damascenon-Gehalts:

- Nach der Véraison → gute Stickstoff- und Wasserversorgung (tiefgründige Böden)
→ Moderate Besonnung nach der Véraison
- Vor der Véraison → mehr Licht (erforderlich für die Bildung von Carotinoiden)

C₁₃-Norisoprenoide: Bildung in Weintrauben

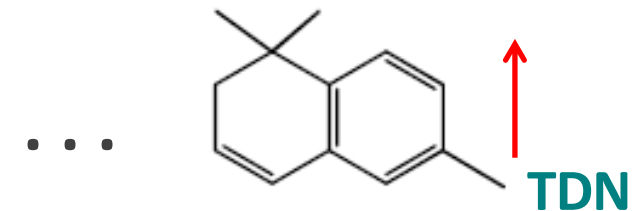
C₁₃-Norisoprenoide

- **Biosynthese** und **Akkumulation von Carotinoiden** findet meistens **vor der Veraison** statt
- **C₁₃-Norisoprenoide** sind **biologische Abbauprodukte** von Carotinoiden



- **Carotinoide** spielen in Weintrauben eine „**sonnenschützende**“ Rolle

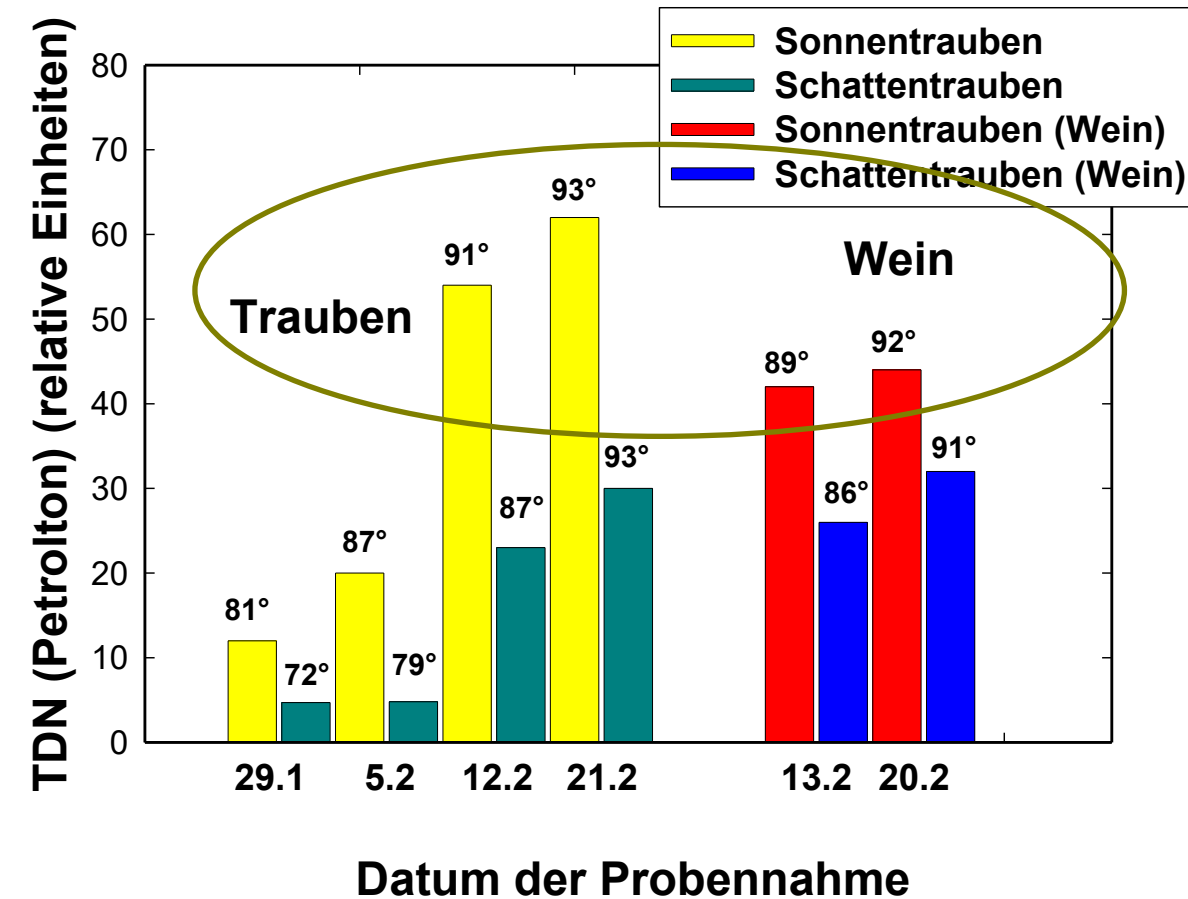
- **Lichtexposition** erhöht die Synthese von **Carotinoiden** und ihre nachfolgenden Abbauprozesse und **die Bildung von Norisoprenoiden**



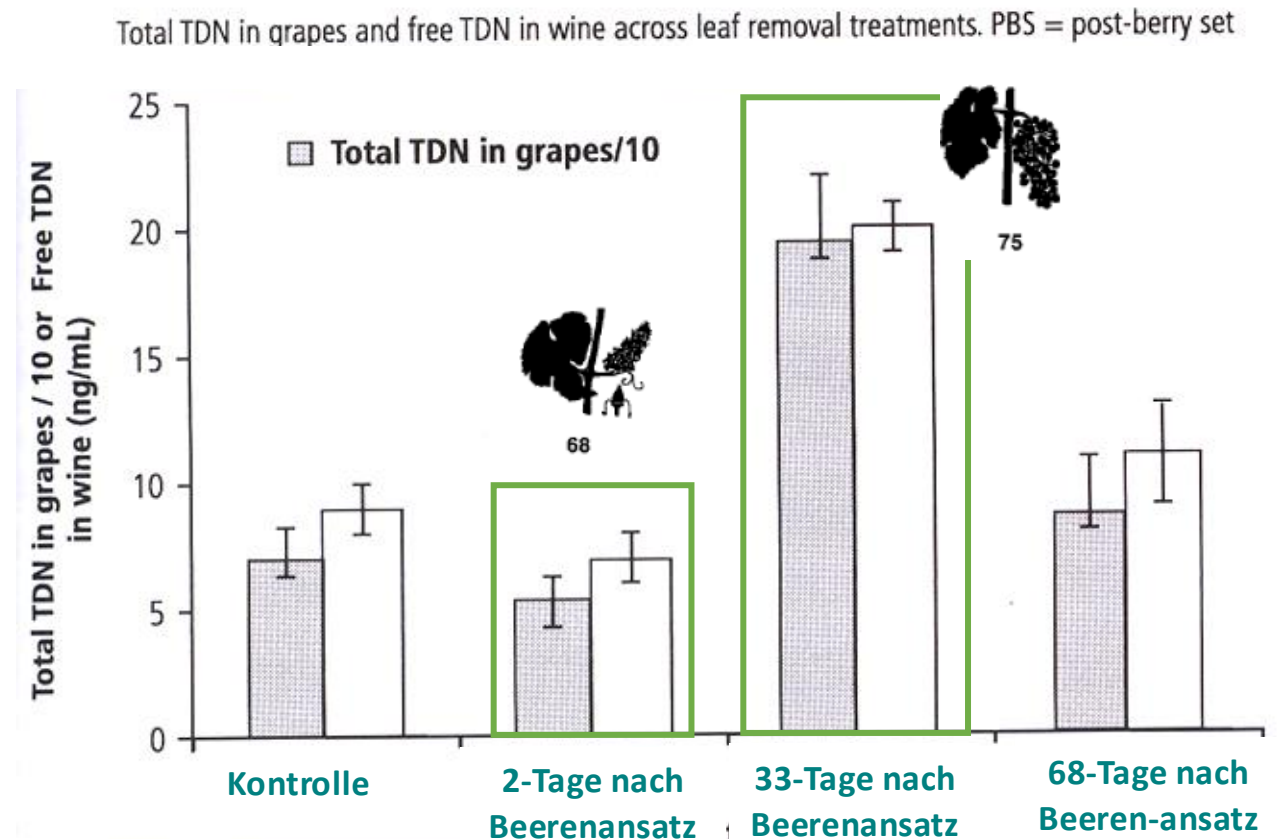
- **Entblätterung** → **bessere Sonneneinstrahlung** → **erhöhte** Konzentration von **C₁₃-Norisoprenoiden** in Trauben → mehr TDN später in Wine

(Hernández-Orte et al. 2015)

TDN reagiert auf Licht und Temperatur



Aber es scheint auf den Zeitpunkt anzukommen!



Riesling, Finger Lakes, USA

Table 3.13 Total vitispirane* and total TDN concentrations in grape musts [µg/L] obtained from the viticulture experiments, as sum of from free and acid hydrolysed vitispiranes and TDN; with C: non-irrigated control; I: irrigated; IdB: irrigated, defoliated at flowering and defoliated at veraison; IdV: irrigated and defoliated at veraison**

vintage	treatment	total vitispirane	total TDN
2008	C	42.5 (0.2) ^a	4.5 (0.6) ^a
	I	40.0 (0.3) ^b	1.9 (0.8) ^b
2009	C	125.3 (1.7) ^a	1.1 (0.2) ^a
	I	46.5 (0.5) ^b	9.3 (0.6) ^b
	IdB	48.7 (3.3) ^b	6.5 (2.5) ^b
	IdV	42.0 (0.7) ^c	26.6 (2.4) ^c
2010	C	67.0 (1.9) ^a	1.0 (0.4) ^a
	I	70.8 (2.6) ^a	1.0 (0.1) ^a
	IdB	64.9 (2.8) ^a	0.7 (0.3) ^a

**Ähnliche Ergebnisse
auch im Rheingau**

Nicht bewässert

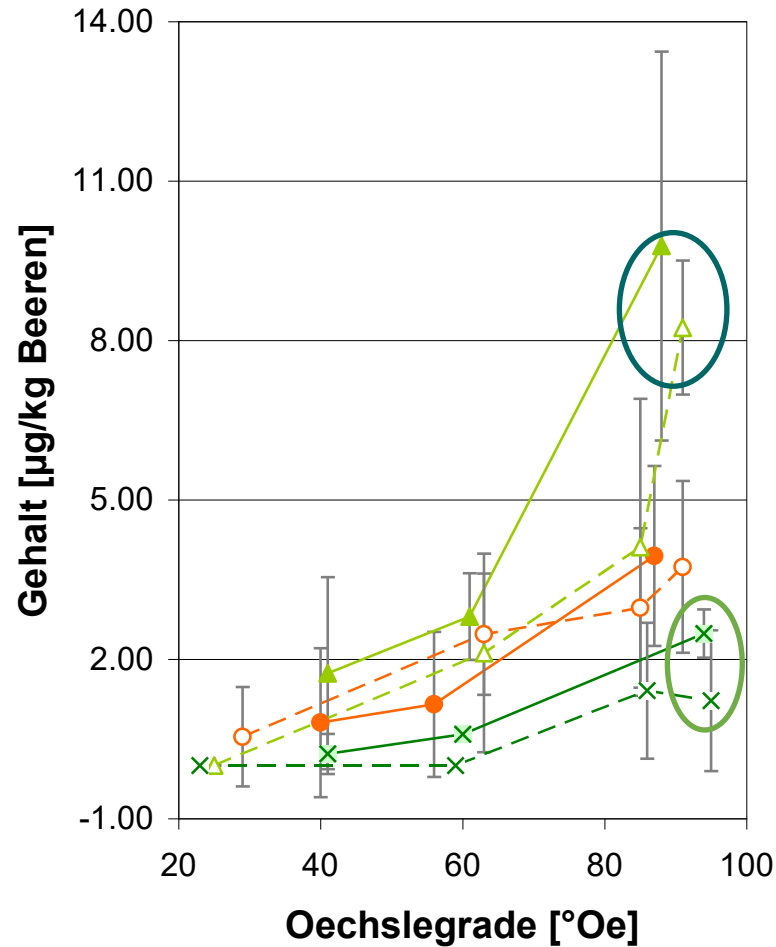
Bewässert

Bewässert, entblättert zur Blütezeit

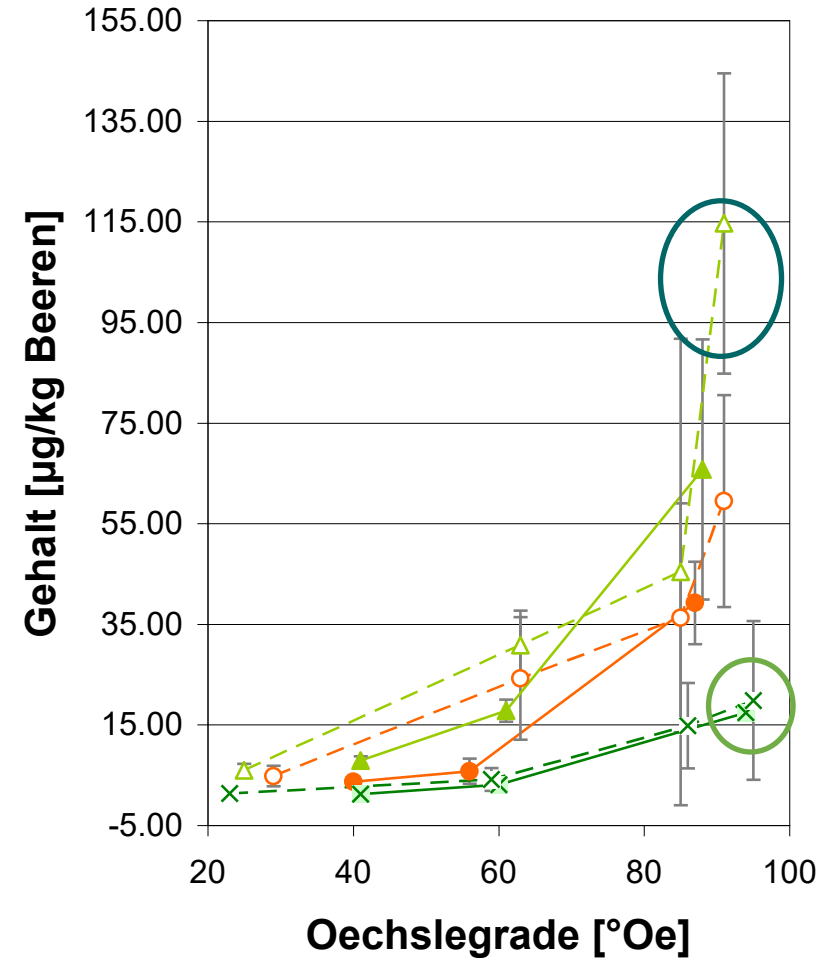
Bewässert, entblättert zur Véraison

n = 3; standard deviation is indicated in parenthesis; differing letters indicate statistical significance within a vintage (Holm-Sidak method; p<0.05); *total vitispirane include free and acid hydrolysed vitispirane isomers; **total TDN include free and acid hydrolysed TDN

Vitispiran A




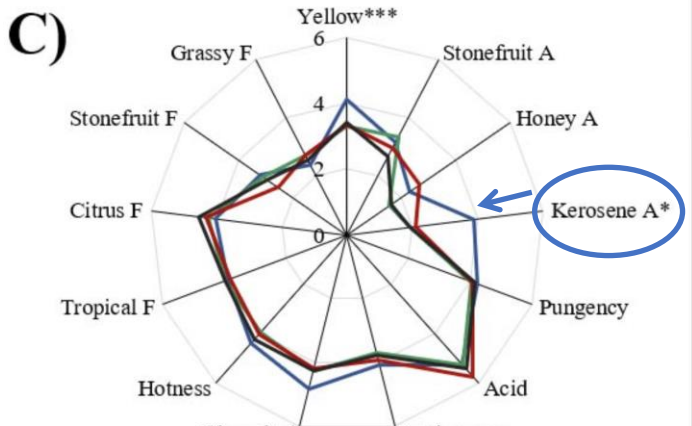


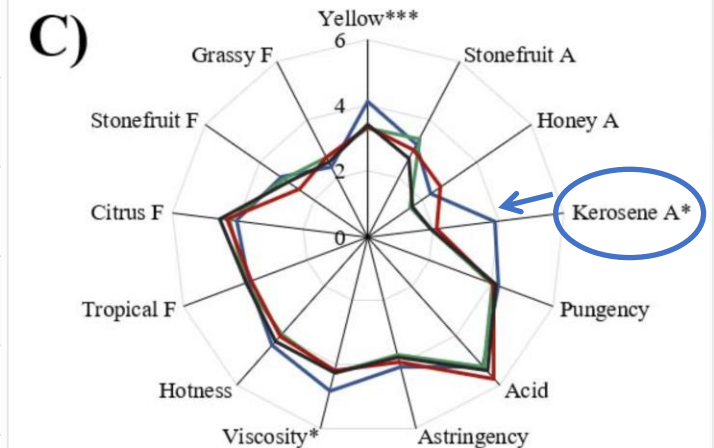
TDN



- Entblätterung provoziert die Bildung von TDN
- Abschattung reduziert TDN
- Der niedrigste TDN-Wert mit dem Netz

TDN, andere Aromastoffe: Einfluss von Schattierungsnetze

Analyte		2018 vintage					2019 vintage			
one-year-old	Control	Green	Red	Black	Control	Green	Red	Black		
Linalool	22.2 ± 4.2 ^a ↑	10.4 ± 2.9 ^{b,c}	6.6 ± 1.5 ^c	9.0 ± 1.2 ^{b,c}	23.2 ± 1.2 ^A →	18.6 ± 2.5 ^A	10.9 ± 1.4 ^B	19.2 ± 1.7 ^A		
α-Terpineol	37.2 ± 5.9 ^a ↑	12.8 ± 2.2 ^b	14.5 ± 1.3 ^b	13.1 ± 1.0 ^b	41.0 ± 2.2 ^A ↑	17.5 ± 1.9 ^B	20.4 ± 2.0 ^B	14.8 ± 1.2 ^B		
β-Damascenone	13.1 ± 4.1 →	10.0 ± 1.3	13.7 ± 3.2	16.5 ± 4.8	19.9 ± 1.9	23.8 ± 4.1	13.2 ± 3.0	24.2 ± 2.8 ↑		
TDN	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	9.6 ± 1.1 ^A ↑	n.d.	5.7 ± 0.5 ^B	n.d.		
two-years-old	Control	Green	Red	Black						
Linalool	6.0 ± 2.8 ^a	6.0 ± 0.2 ^a	n.d.	n.d.						
α-Terpineol	39.3 ± 7.4 ^a	18.6 ± 0.3 ^b	13.2 ± 1.1 ^b	15.6 ± 0.7 ^b						
β-Damascenone	8.4 ± 7.0 ^a	n.d.	n.d.	5.1 ± 0.7 ^a						
TDN	16.5 ± 0.3 ^a ↑	n.d.	8.6 ± 1.1 ^b	n.d.						

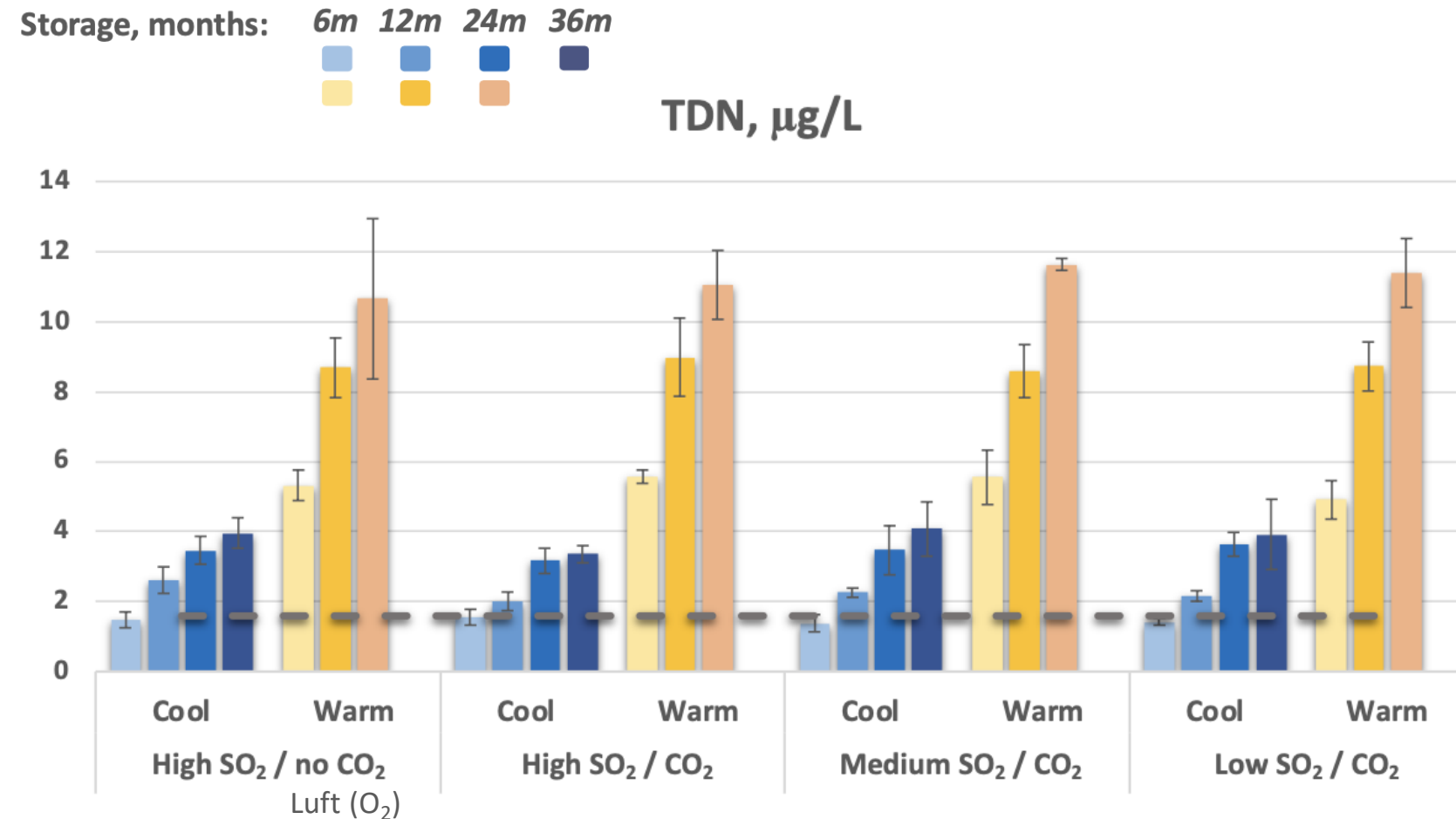


Schattierungsnetze: grün, rot und schwarz;

alle inert, locker gewebt, mit einer nominellen Lichtdurchlässigkeit von 70 %

- **Unterschiede im TDN-Gehalt zwischen Klonen:**
 - **Roter Riesling** und **Neustadt 90** → eher **niedriger TDN**-Gehalt
 - **B 1091** (Elsaß) → eher **hoher TDN**-Gehalt (gebundenes TDN fast immer > 100µg/L)
 - die **Geisenheimer Klone** → **mittlere TDN**-Gehalte

Freies TDN meist über der Geruchsschwelle (Elsass-Klone je nach Jahrgang auch niedriger)
- **Unterlagen:**
 - **Wüchsige Unterlagen** → höhere TDN-Gehalte
 - **SO4** und **3309** → eher geringere TDN-Gehalte
- **Kompakte Trauben haben weniger TDN** (z.B. Neustadt 90), das kann allerdings keine richtige Option sein.
- **Lesezeitpunkt: späte Lese** → **höherer TDN**-Gehalt
- **Hefen** haben **unterschiedliche** Freisetzungsaktivitäten von gebundenem **TDN**:
 - **Oenoferm Riesling** → **höhere TDN**-Freisetzung
 - **EC1118** → **geringere TDN**-Freisetzung
 - Spontanvergärung?
- **pH: niedrigere pH-Werte** → tendenziell **höhere TDN**-Gehalte

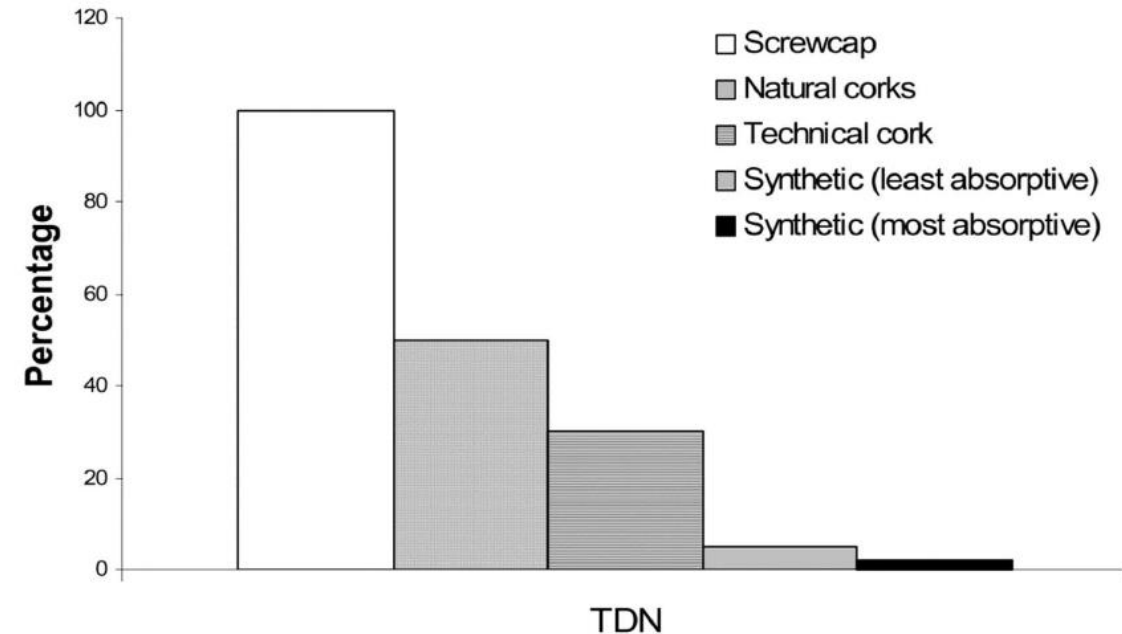
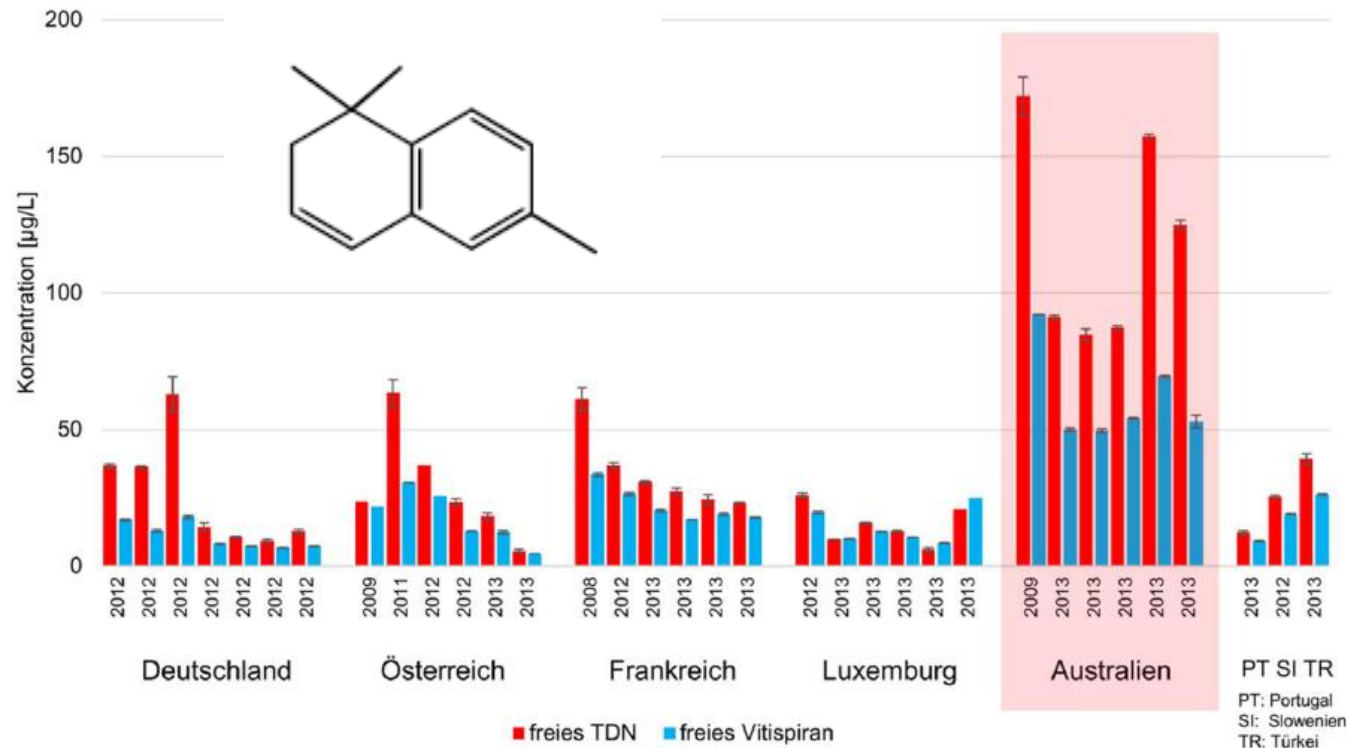


Faktoren, die TDN beeinflussen :

- Lagerzeit Ja
- Lagertemperatur Ja
- O₂ im Kopfraum Nein
- SO₂-Gehalt im Wein Nein

Faktoren der Weinlagerung: Auswirkungen auf den TDN

Concentrations of TDN in Riesling wine from different countries (Winterhalter 2015)



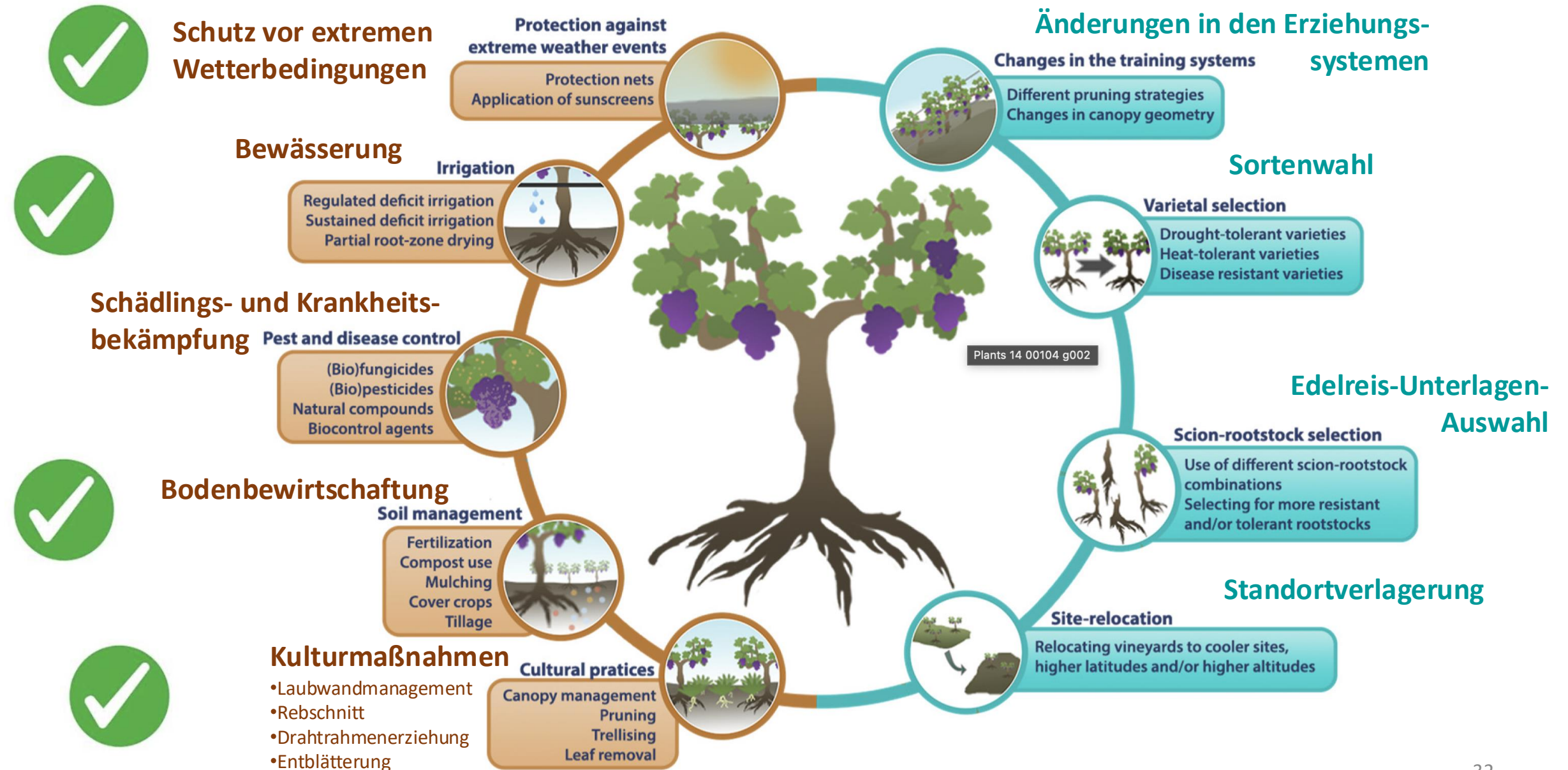
TDN remaining (%) after two years storage in a horizontal position (Capone et al. 2003)

- **Heißes und sonniges Klima erhöht die Bildung von TDN** Vorstufen (Kwasniewski et al. 2010)
- **Entblätterung** → erhöht den TDN-Wert im Wein
- **Das erklärt aber nicht den großen Unterschied im TDN-Gehalt** zwischen australischen und europäischen Rieslingweinen

- **TDN ist eine hydrophobe Verbindung** (im Gegensatz zu vielen anderen Aromamolekülen im Wein)
- Da es hydrophob ist, **kann TDN durch hydrophobes Material** von Weinverschlüssen aus dem Wein **absorbiert (skalpiert)** werden

- **Einleitung: Riesling-Traubenparameter**
- **Klimawandels weltweit und im Rheingau**
- **Auswirkungen des Klimawandels auf Riesling**
 - **Zucker- und Säuregehalte**
 - **Aromastoffe**
- **Fazit: Anpassung an den Klimawandel im Weinbau**

Fazit: Anpassung an den Klimawandel im Weinbau



TDN-Projekte in Hochschule Geisenheim



The Australian Wine
Research Institute



Sowie viele weitere
Kolleg:innen



Dr. Andrii
Tarasov



Prof. Dr.
Doris Rauhut



Prof. Dr.
Hans R. Schultz



Dr. Yevgeniya
Grebneva



Prof. Dr.
Manfred Stoll



Mr. Christoph
Schuessler



Prof. Dr.
Rainer Jung³³

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit :)**



**Dr. Andrii
Tarasov**



**Prof. Dr.
Doris Rauhut**



**Prof. Dr.
Hans R. Schultz**