

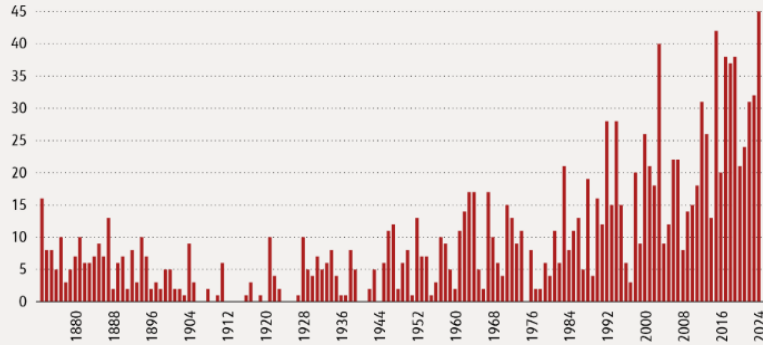
Wie beeinflusst der Klimawandel unsere Weine?

Wottle Tagung am 7. Mai

Dr. Christian Philipp
HBLA für Wein- und Obstbau, Klosterneuburg
Abteilung Chemie und Qualitätskontrolle

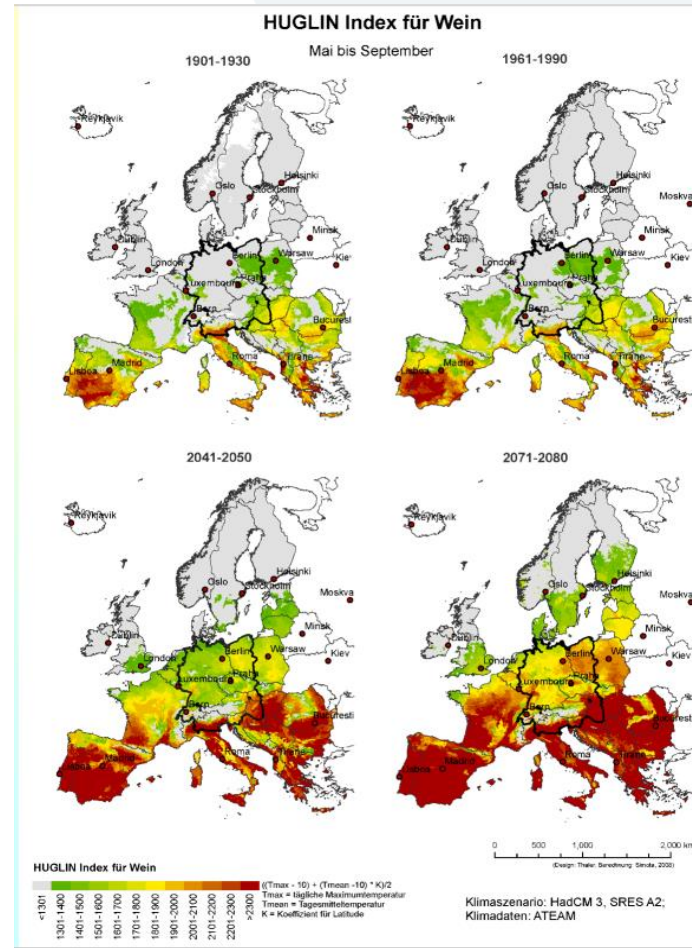
**Jährliche Hitzetage in Wien
seit 1873**

Anzahl der Tage, an denen die Höchsttemperatur mindestens 30 °C betrug, Station Wien-Hohe Warte



Datenquelle: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

**Eitzinger, 2009:
Landwirtschaft im
Klimawandel**

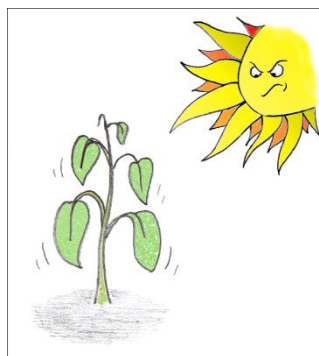


AUSWIRKUNG VON KLIMAWANDEL AUF WEINQUALITÄT

PHENOLE

Veränderung des
REDOXPOTENTIAL

AMINOSÄUREN



<http://www.lancaster.ac.uk/staff/robertmr/abiotic.html>

AROMASTOFFE

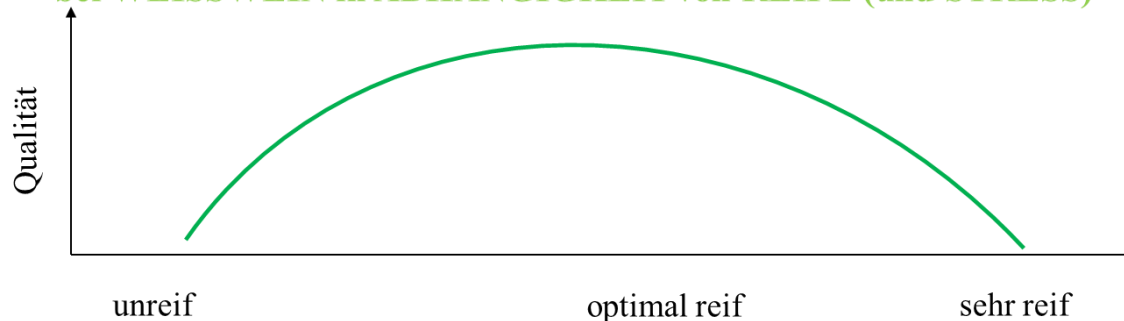
MINERALSTOFFE

ZUCKER, SÄUREN

Phenole

- ↑ **Gesamtphenole (teilweise)** durch stärkere Sonneneinstrahlung und UV-Stress
- **Anthocyane**: oft ↓ **bei sehr hohen Temperaturen**, da deren Synthese hitzesensitiv ist → Farbverlust bei Rotweinen möglich
- **Tannine**: tendenziell ↑ **Reifegrad**, aber oft **unbalanciert** (mehr polymerisiert, weniger „frisch“)
- **Flavonole**: ↑ durch UV-Strahlung (Schutzfunktion)
- 🙌 Ergebnis: häufig „reifere“, aber manchmal weniger stabile Phenolik

VEREINFACHTE DARSTELLUNG: PHENOLISCHE QUALITÄT bei WEISSWEIN in ABHÄNGIGKEIT von REIFE (und STRESS)




- => Unreife Beeren → grün, kratzig, hart evtl. infolge von Sauerfäule
- => Reife Beeren → harmonischer, duftiger Weißwein
- => Überreife Beeren → breit, herb, rauchig evtl. faulig


Redoxpotential

- Klimawandel führt indirekt zu:
 - ↓ **antioxidative Kapazität** (z. B. weniger stabile Phenolprofile)
 - ↑ **Oxidationsanfälligkeit** bei Mosten
- Höhere Temperaturen → schnellere enzymatische Reaktionen (Polyphenoloxidase)
- 🙌 Ergebnis: Moste und Weine können **oxidationsempfindlicher** werden


Aminosäuren (YAN – yeast assimilable nitrogen)

- Häufig ↓ **Gesamtstickstoff (YAN)** durch:
 - Trockenstress
 - veränderte N-Mobilisierung
- Verschiebung im Profil:
 - weniger Arginin/Prolin-Gleichgewicht stabil
- Konsequenzen:
 - Gärprobleme ↑
 - Aromaentwicklung (höhere Alkohole, Ester) verändert
-  Ergebnis: **kritischer für Gärführung**

Mineralstoffe

- Effekte stark standortabhängig:
 - **Kalium (K⁺)**: oft ↑ → pH-Anstieg
 - **Calcium/Magnesium**: variabel
- Trockenstress → geringere Aufnahme mancher Mineralstoffe
-  Ergebnis: **pH steigt**, was viele Folgeeffekte hat (Mikrobiologie, Stabilität)

Zucker

- Klarer Trend:
 - ↑ **Zuckergehalt (Glucose + Fructose)** durch:
 - höhere Photosyntheseleistung (bis zu einem Punkt)
 - frühere Reife
- Entkopplung:
 - Zuckerreife ≠ phenolische Reife
-  Ergebnis: **höherer Alkoholgehalt** im Wein

Säuren

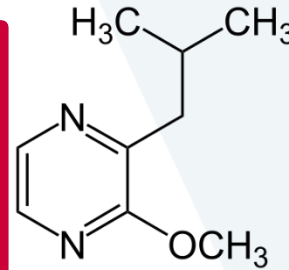
- ↓ **Gesamtsäure**
- **starker Rückgang von Apfelsäure** durch erhöhte Respiration bei Hitze
- **Weinsäure** relativ stabil, aber Verdünnungseffekte möglich
- 👉 Ergebnis:
- ↑ **pH**
- flachere, weniger frische Weine

AROMASTOFFE ÜBERBLICK

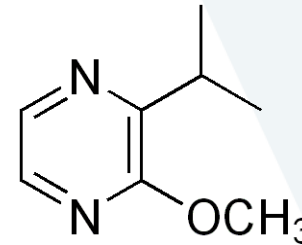
- Überblick Auswirkung von Klimaerwärmung auf Leitsubstanzen des Weinaromas
 - Methoxypyrazine (Sauvignon blanc, Cabernet sauvignon, Merlot, Cabernet franc)
 - Fruchttige Thiole (Sauvignon blanc, Sämling 88 ...)
 - Monoterpene (Muskateller, Muskat Ottonel, Traminer, Rheinriesling...)
 - Sesquiterpene – Rotundon (Syrah, Grüner Veltliner, Blaufränkisch)
 - C₁₃ Norisoprenoide (Rheinriesling, Chardonnay, Blaufränkisch...)
 - Ester (Weißburgunder, Grüner Veltliner, Zweigelt)
- Aktuelle Studie zum Thema Petrolnoten in Österreich
- Untypische Alterung
- Take Home Message

Methoxypyrazine

- Höhere Temperaturen und stärkere Lichtstrahlung führen zur Verringerung der Gehalte an IBMP, wobei die Lichtwellenlänge (UV-B vs. VIS) keine Rolle spielt (Suklje et al. 2014)
- Trockenstress wird sich indirekt auswirken, indem die Laubwand geringer wird.
- Der Einfluss ist vor der Veraison stärker, weshalb man das Laubwandmanagement einen entscheidenden Einfluss auf die finalen Konzentrationen hat (Sidhu, 2015)



2-Isobutyl-3-methoxypyrazine (IBMP): $\approx 4 \text{ ng/L}$



2-Isopropyl-3-methoxypyrazin: $1-2 \text{ ng/L}$



Fruchtige Thiole

- Lichtintensität erhöht tendenziell den Thiolgehalt (Suklje et al. 2014)
- UV-Licht begünstigt tendenziell eine höhere Konzentration von Thiolen (Suklje et al. 2014)
- Generell begünstigt ein leichter Stress (Wasser/Temperatur) einen höheren Thiolgehalt (Suklje et al. 2014)
- Aber bei zu hohem Temperatur-/Trockenstress kommt es zur Thiolreduzierung (Suklje et al. 2014)

→ mehr Thiole in Zukunft ist eventuell auch bedingt durch den Klimawandel und nicht nur durch Hefewahl?



4-methyl-4-sulfanylpentan-2-one

(4MSP): 0,8 ng/L

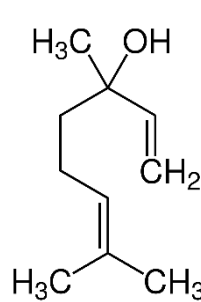
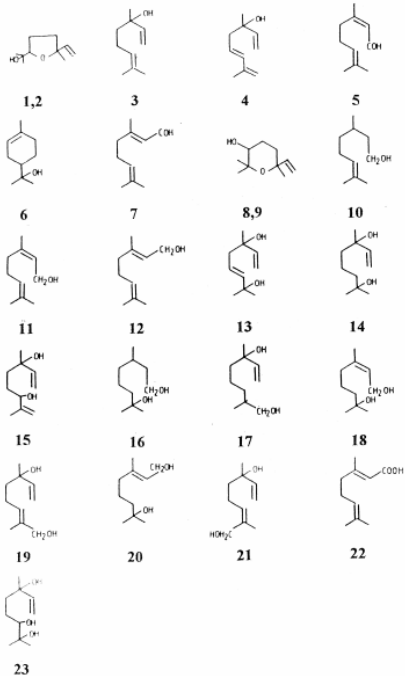
3-sulfanylhexan-1-ol (3SH): 60 ng/L

3-sulfanyl-hexalacetate (3SHA): 4 ng/L

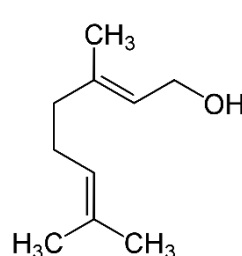
(Tominaga et al., 1998)

Monoterpene

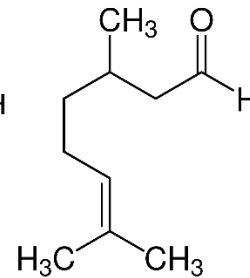
- Kühle Nächte und warme Tage fördern die Bildung von Monoterpenen? **Wird allgemein angenommen, ist aber umstritten!** (Van Leuween et al., 2020)
- Lichtintensität und UV Licht führt zur Erhöhung der Konzentrationen (Suklje et al., 2014)
- Trockenheit erhöht tendenziell den Gehalt an Monoterpenen (Savoi et al., 2016)



Linalool



Geraniol



Citronellol

20-50 µg/L

Wichtig für süßlich-blumige Aroma von aromatischen Weinsorten wie Muskateller, Muskat Ottonel; Traminer (cis-Rosenoxid), Sämling, Grüner Veltliner-Rotundon



nicht flüchtige
zuckergebundene
Vorstufen

Sesquiterpene – Rotundon

- Faktoren die tendenziell zu höheren Konzentrationen führen:
 - Kühlere Temperaturen – feuchtes Wetter
 - Schatten
 - Geringere Erträge
 - Später Lesezeitpunkt
 - Hohe Höhenlage
- (Herderich et al., 2013; Scareltt et al., 2014)

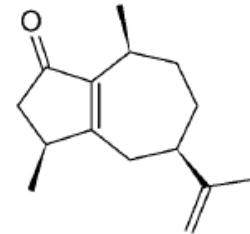


Figure 1. Chemical structure of (-)-rotundone (PubMed ID 5321003; IUPAC Name: (3S,5R,8S)-3,8-dimethyl-5-prop-1-en-2-yl-3,4,5,6,7,8-hexahydro-2H-azulen-1-one; InChIKey: NUWMTBMCSQWPDG-SDDRRHHMPA-N).



Rotwein: 16 ng/L
Weißwein: <15 ng/L

in Syrah bis zu 200 ng/l
In Grünem Veltliner: 10-90 ng/l
In Blaufränkisch über 100 ng/l möglich
Nauer et al., 2018

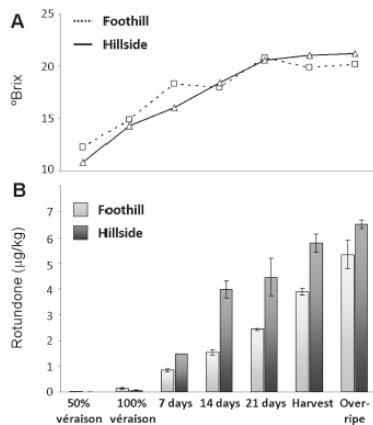
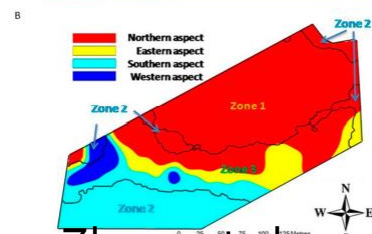


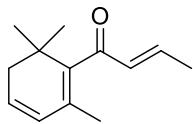
Figure 4. Comparison between grapes collected from vines growing on the hillside and at the foot of the hill during 2010.



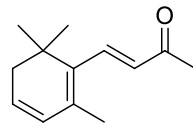
Zhang et al., 2015

C₁₃- NORISOPRENOIDE

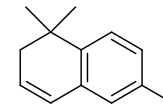
- Lichtintensität und UV Strahlung führt zu tendenziell höheren Gehalten (Kwasnewsky et al., 2010; Young et al., 2016)
- Kein Konsens in der Wissenschaft über den Einfluss von Temperatur und Trockenheit (Van Leuween et al., 2020) → Ausnahme TDN wo es bei höheren Temperaturen zu steigenden Gehalten kommt!



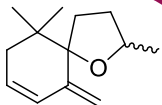
β-Damascenon
sortentypischer Aromastoff
von Chardonnay und Riesling



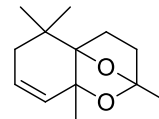
β-Jonon
Duft nach Veilchen



1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydronaphthalin (TDN)
Leitsubstanz der Petrolnote



Vitispiran
Norisoprenoid mit hoher
Geruchsschwelle typisch
für Riesling



Rieslingacetal
typisch für Riesling
Präkursor für TDN

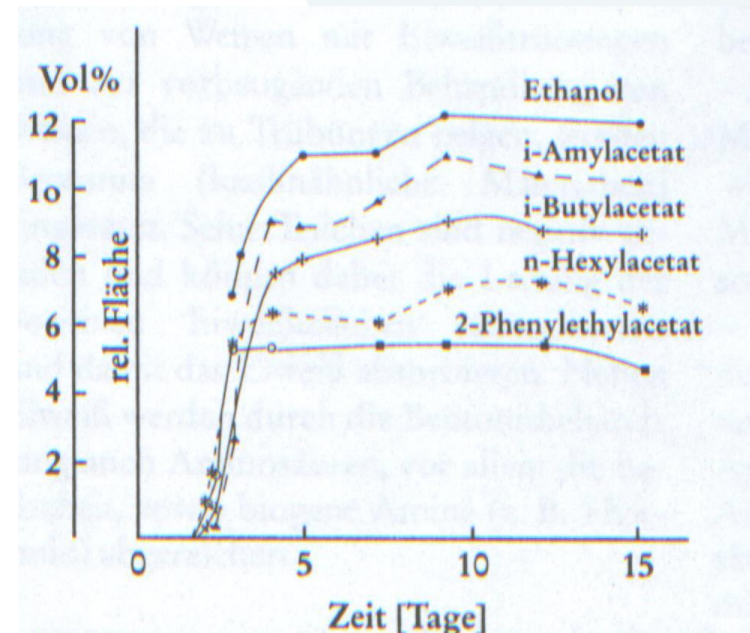
Abbauprodukte von Carotinoiden → liegen zunächst zuckergebunden vor

ESTER

Tertiäres Aroma = **GENERELLE
FRUCHTIGKEIT UND
FRISCHE VON WEINEN**

- Indirekter Einfluss durch Klimawandel über Traubenzusammensetzung (Aminosäuren, Fette)
- Wasserversorgung und Temperatur beeinflussen den Stickstoffgehalt stark
- Es scheint so als würde UV Licht den Gehalt an Estern geringgradig erhöhen (Suklje et al., 2014)

Bildung aus Säuren und Alkohol
Im Zuge der Gärung werden hpts.
Fettsäureethylester (Fettsäure + Ethanol)
sowie **ACETATE** gebildet
(höhere Alkohole und Essigsäure)



Bildung der Acetate

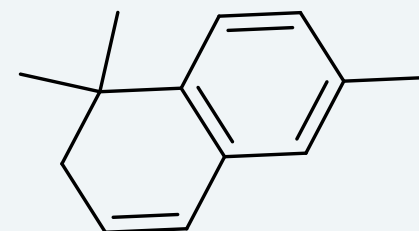
während der alkoholischen
Gärung:
Gewisser Einfluss der Hefe

PETROLNOTE

1,1,6-TRIMETHYL-1,2-DIHYDRONAPHTHALENE (TDN)

- ist ein Naphtalin-Derivat mit petrol-/kerosinartigem Geruch
- Erstmals entdeckt durch Bob Simpson 1978
- in Trauben, Traubenmost und Jungwein nur in Spuren nachweisbar
- während der Lagerung und Reifung freigesetzt wird →
Summe aller Vorstufen = **gebundenes TDN!!**
- Hauptsächlich in Flaschen gelagerten **Rheinriesling-Weinen** (5-10 Jahr)

→ **Aufgrund globaler Klimaerwärmung ist in Zukunft mit höheren TDN- Konzentrationen auch in Österreich zu rechnen, weshalb die Petrolnote in den Fokus der Wissenschaft gerückt ist.**



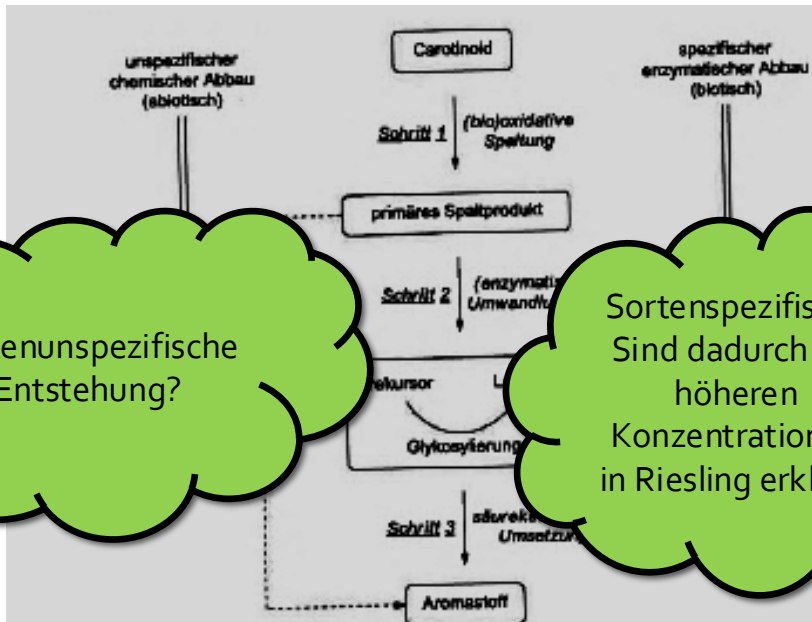
Simpson, Chem. & Ind. 37 (1978)

“kerosene/petrol like”

Geruchsschwelle:

20 µg/L (Simpson, 1978)
2 µg/L (Sacks *et al.*, 2012)
3,1 µg/L (Ziegler *et al.* 2019)
14, 7 µg/L für Konsumenten
(Ziegler *et al.* 2019)

BILDUNGSWEGE VON C₁₃ NORISOPRENOIDEN



Sortenunspezifische Entstehung?

Sortenspezifisch?
Sind dadurch die höheren Konzentrationen in Riesling erklärt?

Bildungsweg von Norisoprenoiden
Winterhalter & Rouseff, 2001
Fleischmann & Zorn, 2008
Gök, 2015

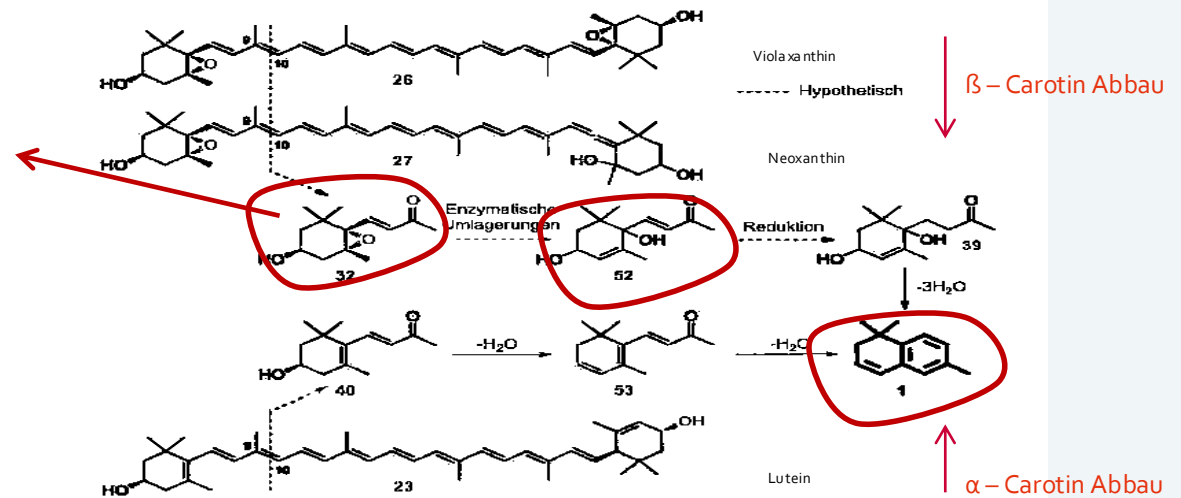
TDN BILDUNGSWEG

Aktuell wird in Deutschland zur Aufklärung des vollständigen Stoffwechsels an der Isolierung der Vorstufen gearbeitet:
Interessant für das Verständnis des „rebsortenspezifischen“ Bildungswegs von TDN ist vor allem der Abbau von Neoxanthin – hier erfolgt die Umlagerung enzymatisch!!

Hypothetischer Bildungsweg von TDN

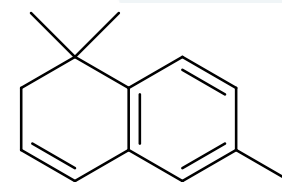
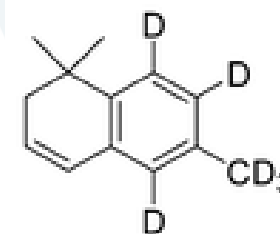
Winterhalter & Gök, 2013

Gök, 2015



ANALYTISCHE METHODE ZUR BESTIMMUNG VON FREIEN UND GEBUNDENEN TDN + VITISPIRAN NACH GÖK 2019

- Die TDN- und Vitispiran Gehalte der Weine werden nach automatisierter Headspace-Festphasenmikroextraktion (HS-SPME) mittels GC-SIM-MS bestimmt.
- Als internen Standard (ISTd) werden deuterierte Verbindungen verwendet (TDN_{d6} und Vitispiran_{d5})
- 319 österreichische Weine unterschiedlicher Herkünfte und Rebsorten
- 102 österreichische Rheinriesling-Weine der Jahrgänge 1976 bis 2015 mit sensorischer Evaluierung!!
- Sortenvergleich
- Gemessen wurde an der TU Braunschweig und an der Höheren Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein- und Obstbau in Klosterneuburg
- Gebundenes TDN und gebundenes Vitispiran wurde **nach** einer 36 h Säure-Hydrolyse bei 100 °C gemessen



ANALYTISCHE METHODE ZUR BESTIMMUNG VON FREIEN UND GEBUNDENEN TDN + VITISPIRAN NACH GÖK 2019

Sortenvergleich – Potential anderer Sorten

Jahrgang	Riesling	Grüner Veltliner	Welschriesling	Weißburgunder	Sauvignon blanc	Chardonnay	Müller Thurgau	Donauveltliner	Donauriesling	Zweigelt	Blaufränkisch	Summe
2014	5	5	5	5	5	5	1		1	5	5	42
2015	5	5	5	5	5	5	1		2	5	5	43
2016	5	5	5	5	5	5	1	1	1	5	5	43
2017	5	5	5	5	5	5	1	2	1	5	5	44
2018	5	5	5	5	5	5	2	1	2	5	5	45
Summe	25	25	25	25	25	25	6	4	7	25	25	217

Sensorisch und analytische Überprüfung alter RR Weine

Jahrgang	Kamptal	Kremstal	Wachau	Wagram	Traisental	Weinviertel	Summe
1976				1			1
1981				1			1
1984					1		1
1986					1		1
1988				1			1
1993				1	1		2
1996	1						1
1999				1			1
2000	1	1	1				3
2001				1			1
2002	1	1	1				3
2003	1	1	1	1			4
2004		1	1	1			3
2005	1	1	3	1			6
2006	1		1	2	1		5
2007	2	1		2	1		6
2008	2	1	2	2	1		8
2009	2	1	2	1	1		7
2010	1	1	1		1	1	5
2011	2		1	3	1		7
2012	2		1	3	1		7
2013	2	2	1	3	1		9
2014	2	1	1	2	1	2	9
2015	2	1	1	3	1	2	10
Summe	23	13	18	30	13	5	102

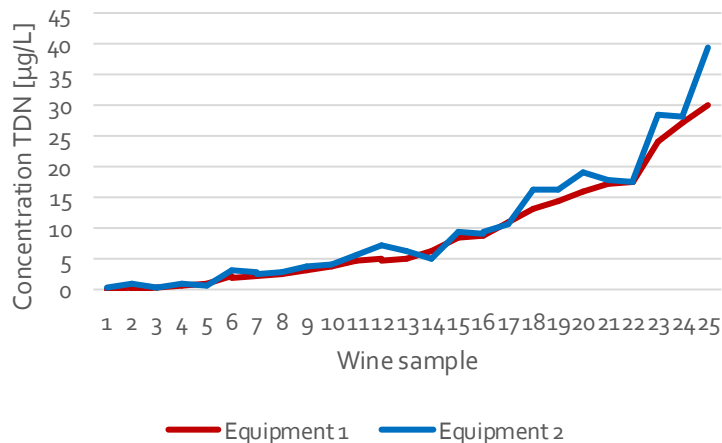
Ein herzliches Dankeschön an die vielen Winzer für die kostenlosen Spenden!!!!

ANALYTISCHE METHODE ZUR BESTIMMUNG VON FREIEN UND GEBUNDENEN TDN + VITISPIRAN NACH GÖK 2019

VALIDIERUNG DER METHODE

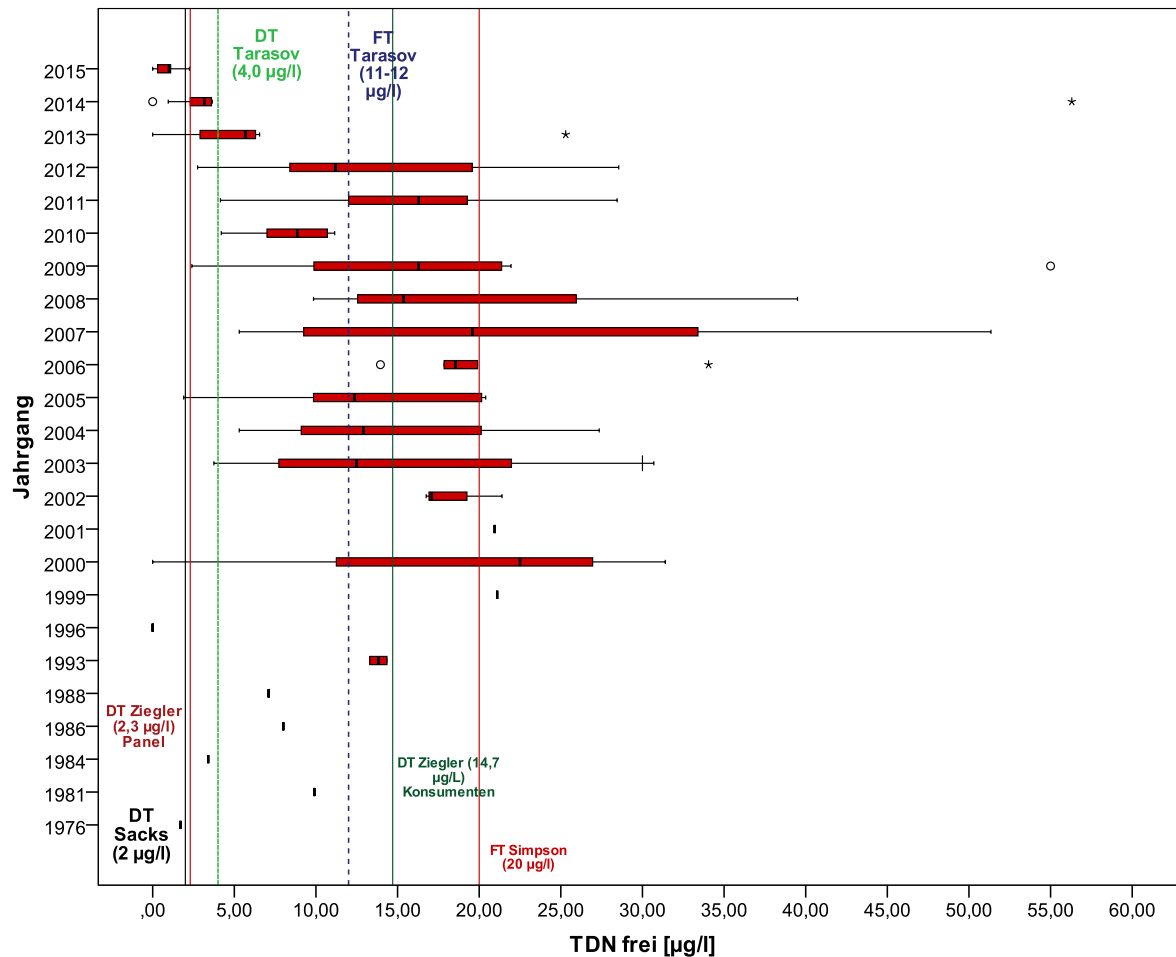
SELBE MEHTODE
AUF ZWEI
STANDORTEN

	Deutschland (Equipment 1) (nach GÖK et al. 2019)		Österreich (Equipment 2)	
	TDN	Vitispiran	TDN	Vitispiran
Kalibrationsbereich	0,04 – 4,12	0,02 – 2,09	0,05 – 5,01	0,05 -5,23
R ²	0,999	0,999	0,996	0,999
LOD (µg/L)	0,14	0,10	0,10	0,07
LOQ (µg/L)	0,48	0,33	0,38	0,27
Wiederfindung (%)	108,6 ± 9,9	105,5 ± 16,5	95,9 ± 2,0	96,9 ± 3,7
intraday Präzision (%)	2,07	3,92	4,89	1,89
interday Präzision (%)			4,99	4,12

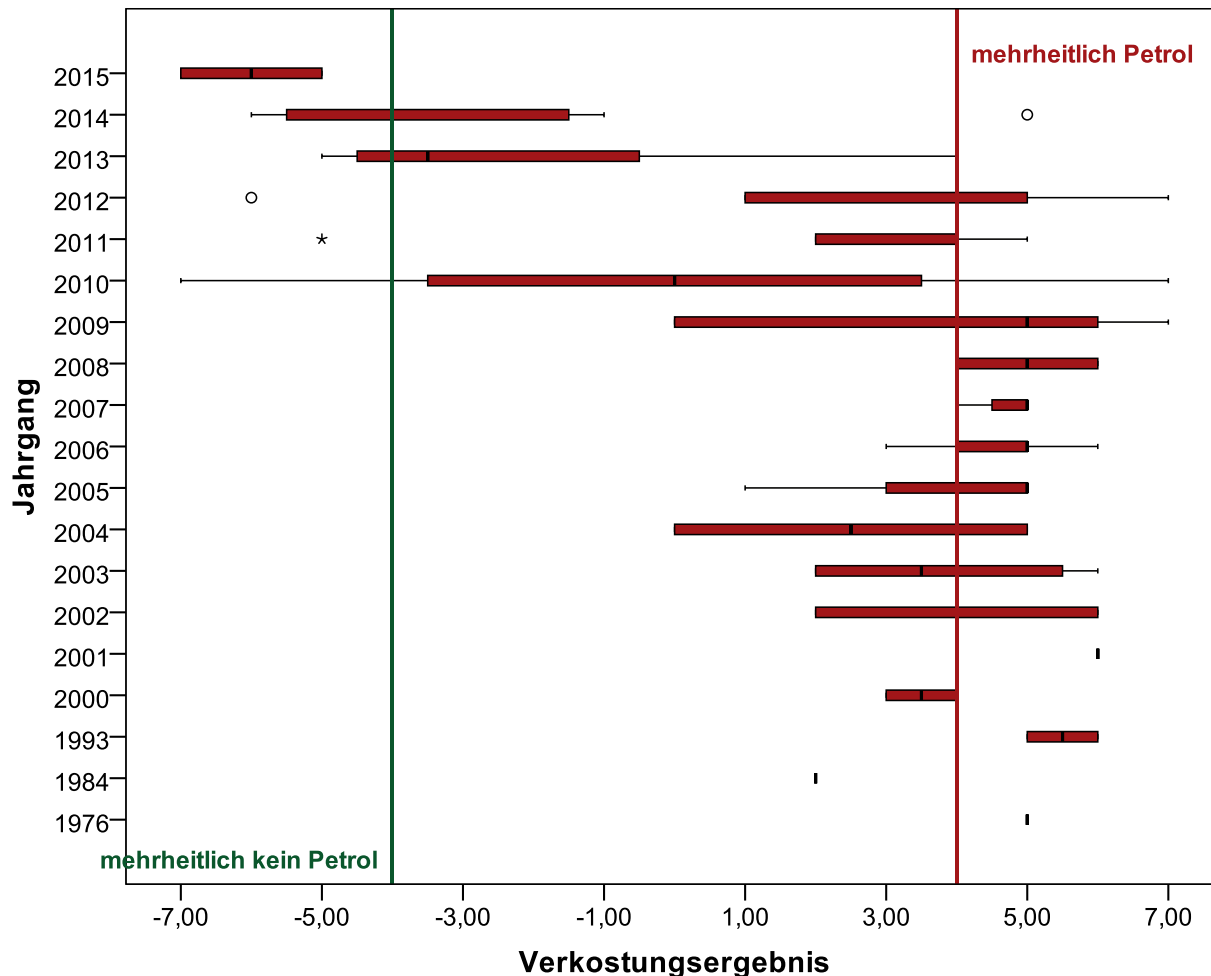


EINMAL IN DEUTSCHLAND
EINMAL IN ÖSTERREICH!!!!

SENSORISCHE UND ANALYTISCHE EVALUIERUNG VON PETROLNOTEN IN ÖSTERREICHISCHEN RR-WEINEN DER JAHRGÄNGE 1976 BIS 2015



SENSORISCHE UND ANALYTISCHE EVALUIERUNG VON PETROLNOTEN IN ÖSTERREICHISCHEN RR-WEINEN DER JAHRGÄNGE 1976 BIS 2015

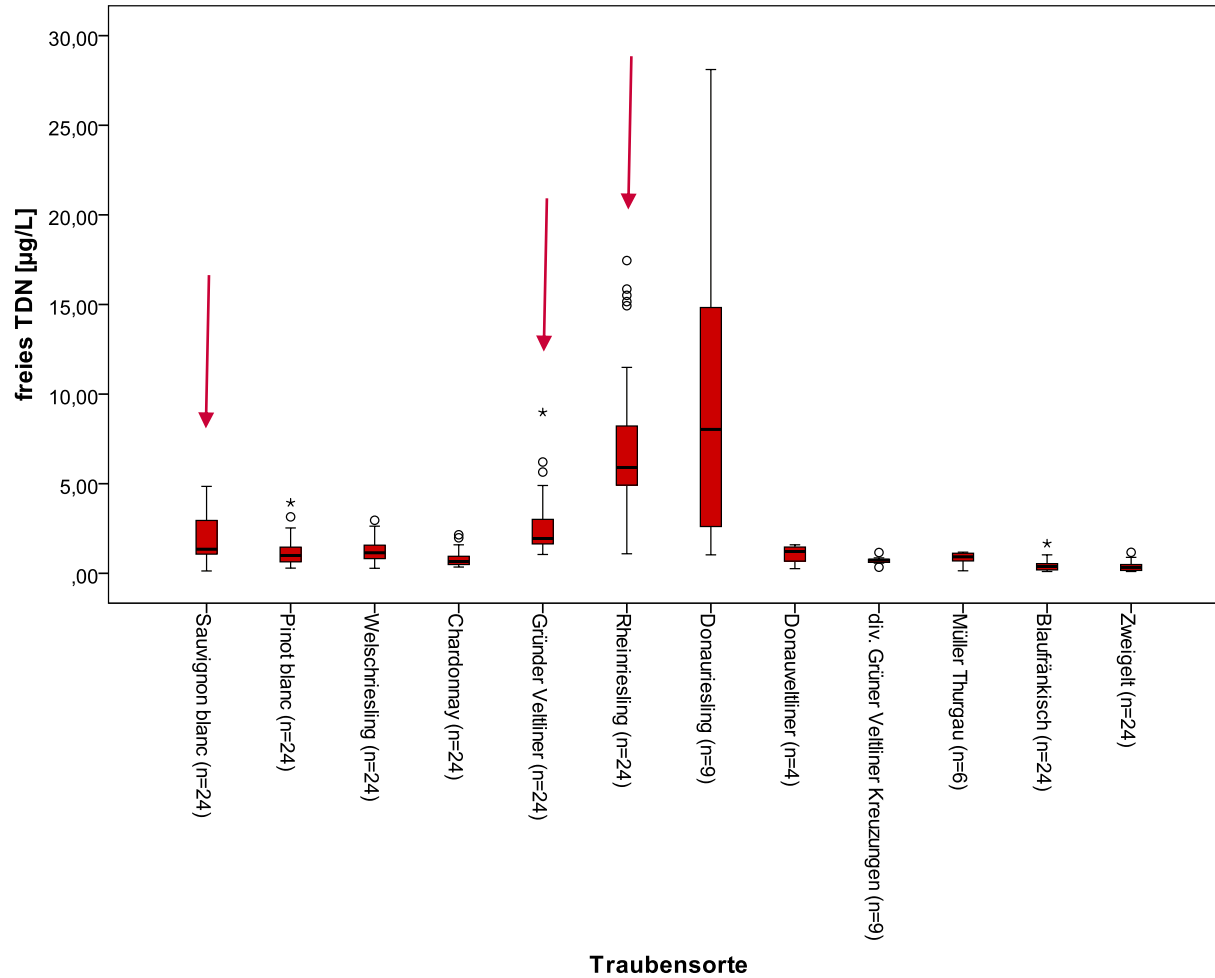


7 geschulte Koster

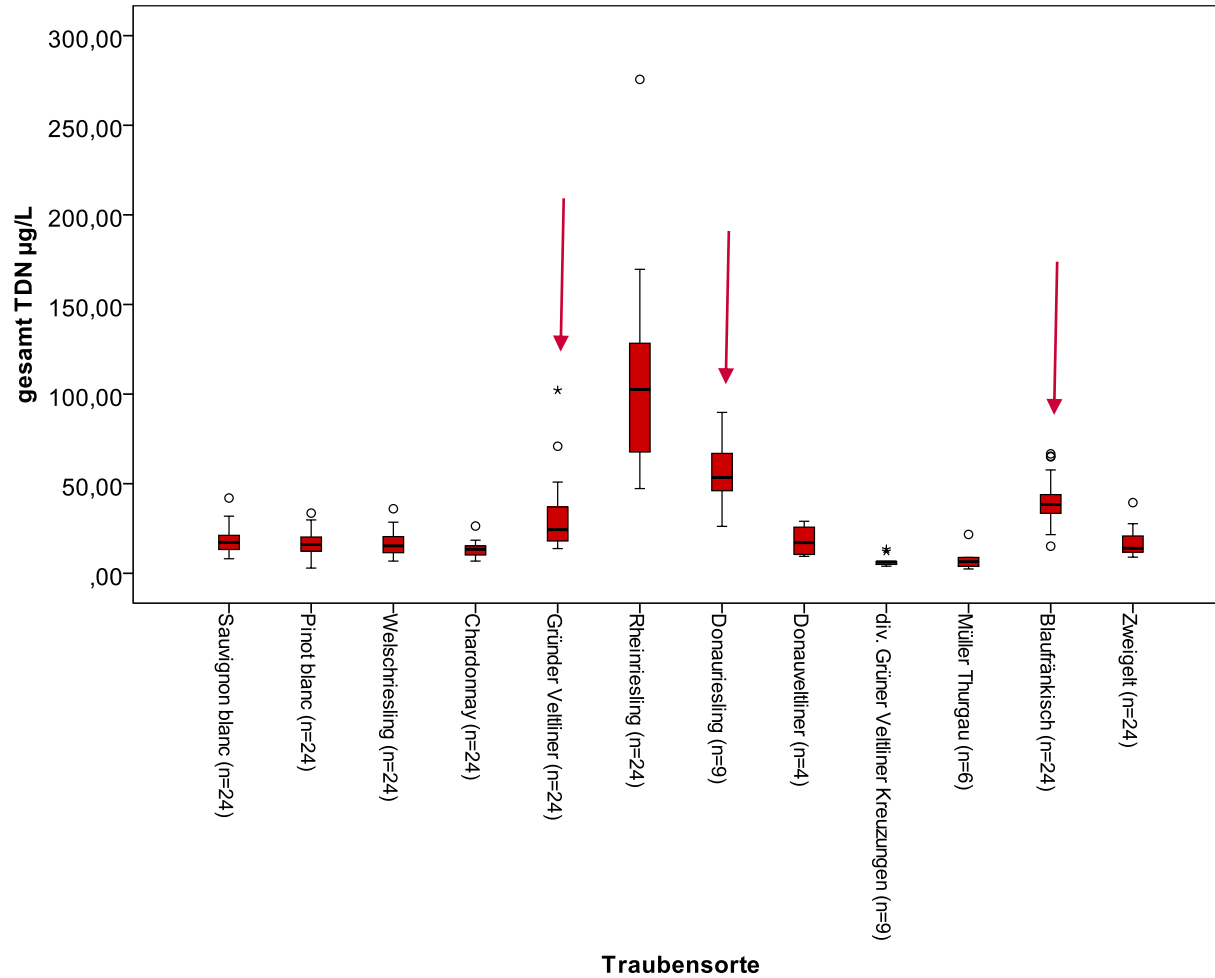
- eindeutig Petrol (+1)
- eindeutig kein Petrol (-1)
- unsicher (o)
- ab zwei Urteile Fehlerhaft (anderer Fehler) wurde der Wein eliminiert.

=SUMME aller Punkte

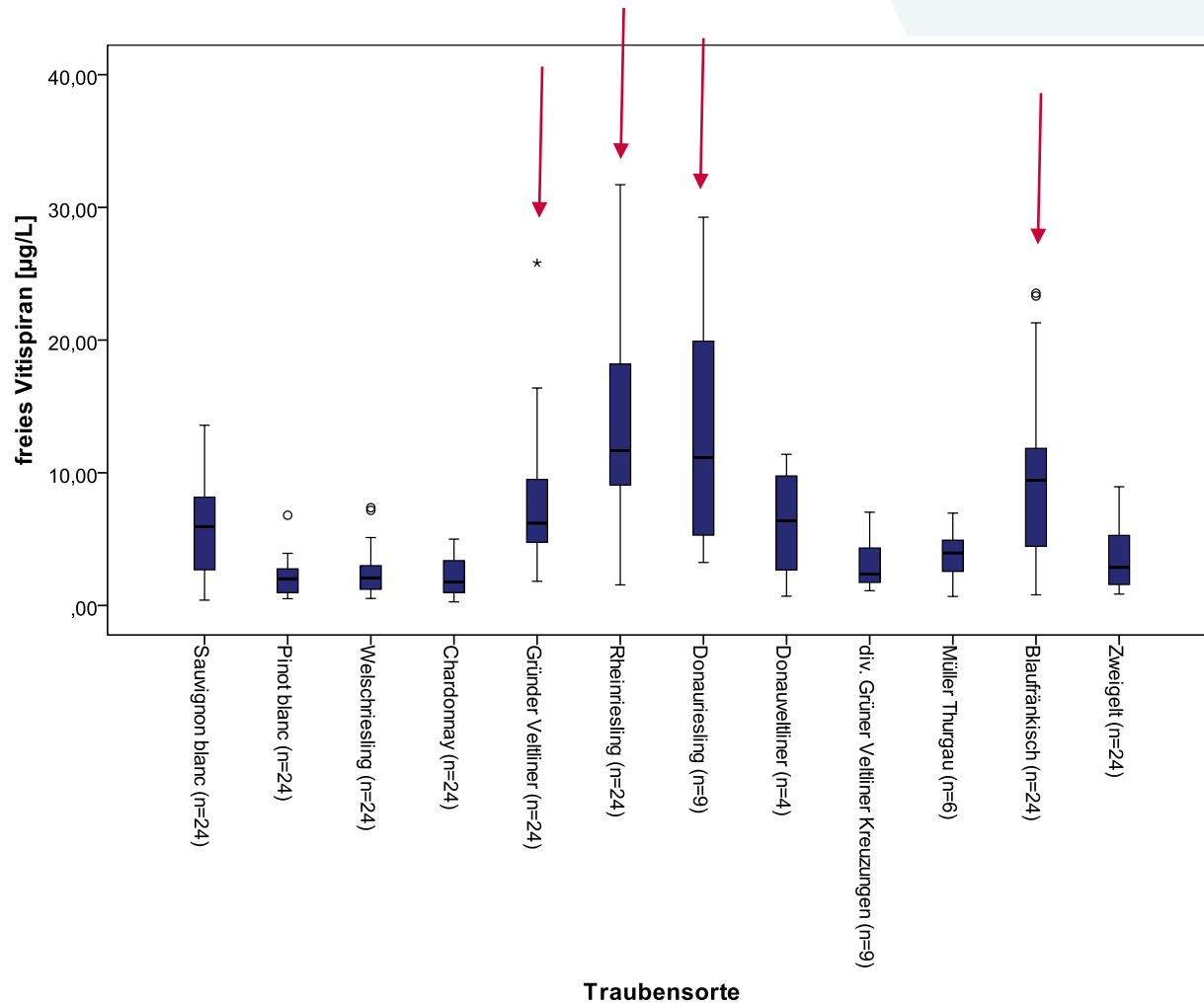
SORTENVERGLEICH



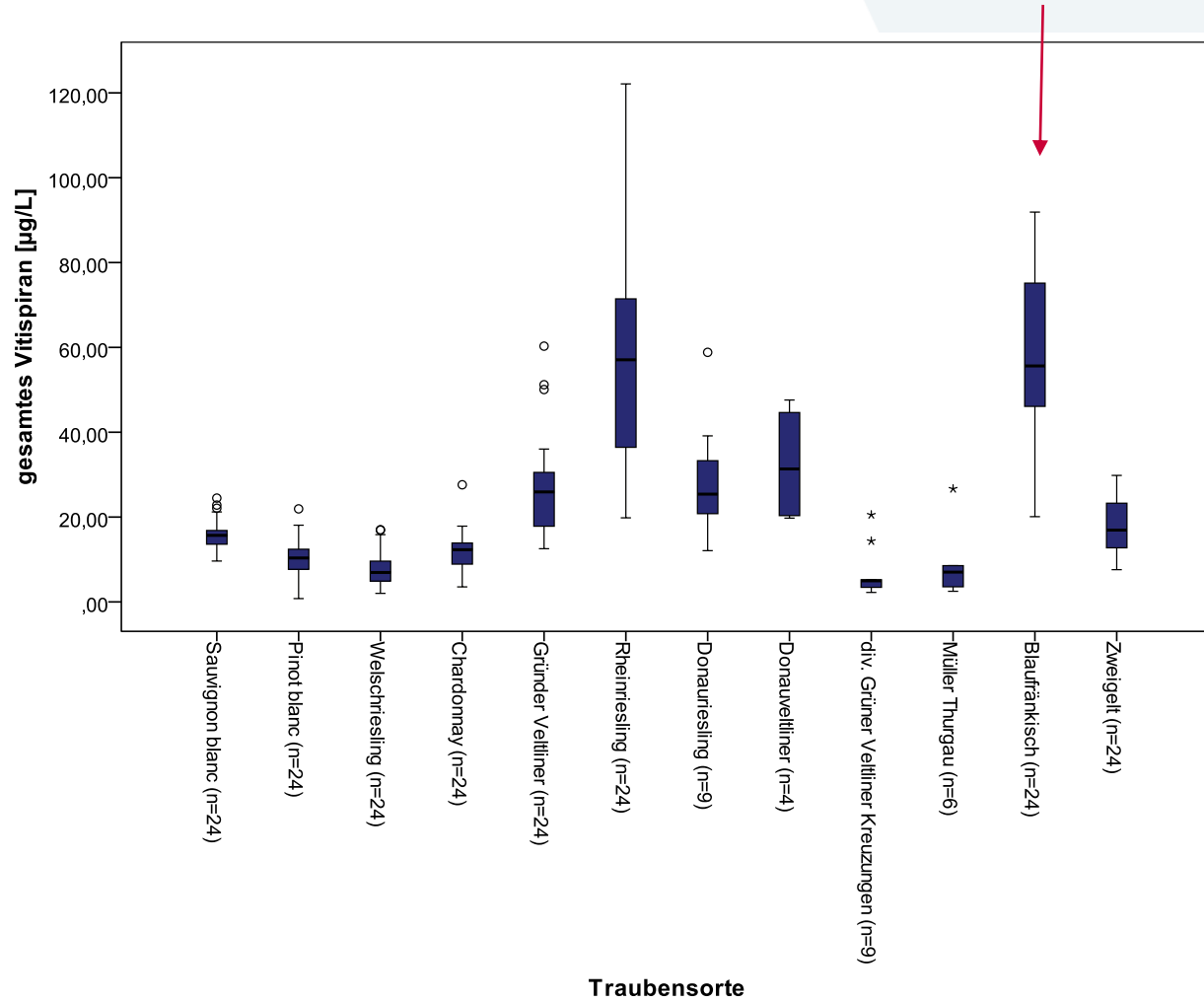
SORTENVERGLEICH



SORTENVERGLEICH

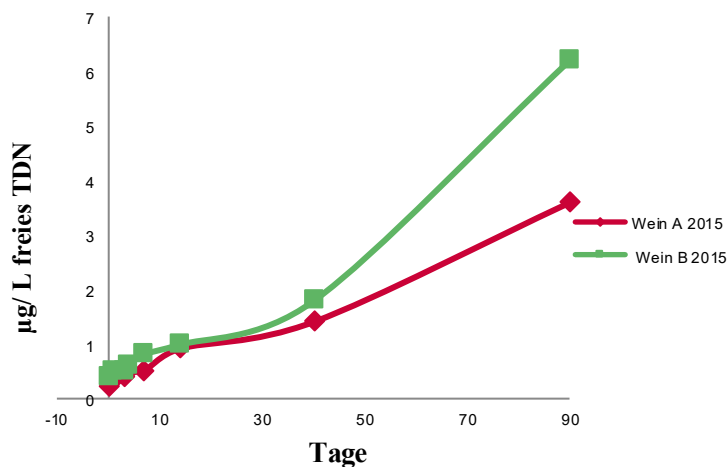


SORTENVERGLEICH

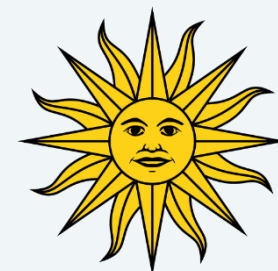
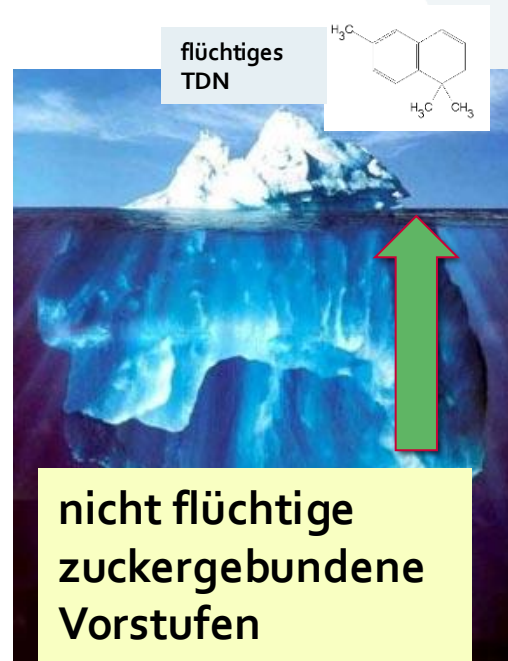


VERMEIDUNGSSTRATEGIEN IM KELLER - LAGERTEMPERATUR

- Vermeidung von hohen Konzentrationen an gebundenen TDN
- Lagerung bei erhöhter Temperatur (>15 °C) führt zu frühzeitiger Freisetzung von TDN
- Bei 40 °C pro Tag ca. 0,1 µg/L aus zuckergebundenen TDN freigesetzt
- Optimierung der Lagerung im Weinkeller
- Erziehung Handel und Konsumenten
- Verschluss!! Kork?



Philipp & Gök 2016



Höhere
Temperaturen
bringen das Eis
zum Schmelzen

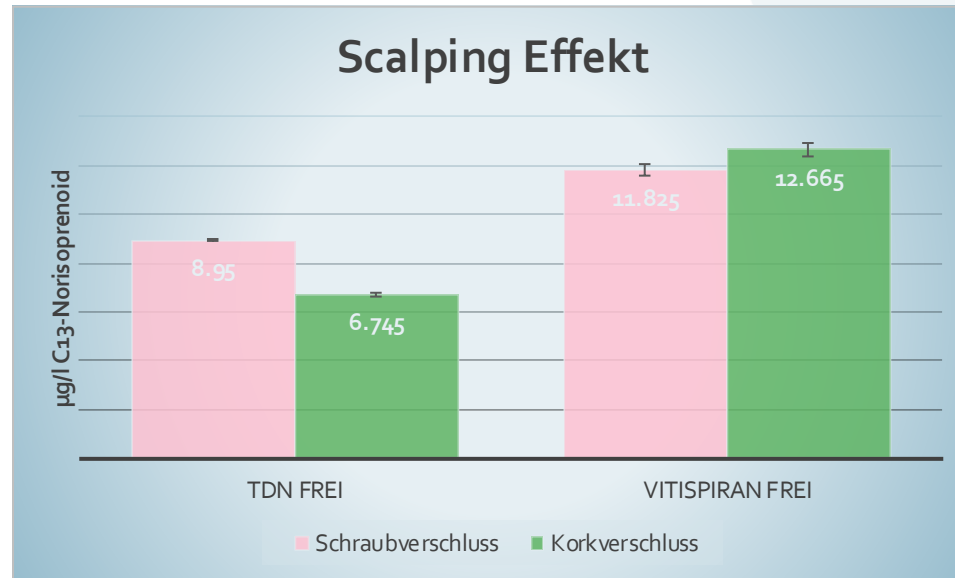
VERMEIDUNGSSTRATEGIEN - WEINGARTEN

- **Kein Entblättern**
 - Beim vorzeitigen Entblättern steigt der Gehalt an Carotinoiden in der Traube bis zum Weichwerden überdurchschnittlich stark an
 - Des Weiteren zeigt sich, dass intensive Sonneneinstrahlung bei der Reife zu vermehrter Bildung von C_{13} -Norisoprenoiden führt
 - Schwierige Diskrepanz, weil teilweise Entblätterung in der Traubenzone natürlich für den Pflanzenschutz unerlässlich ist → Botrytisproblematik etc.
- **Frühere Ernte** → weniger Vorstufen von TDN aber auch geringere Qualität
- **Stickstoff-Düngung** → schlecht versorgte Weingarten zeigen höhere Mengen an gebundenen TDN
- Wasserversorgung? → noch nicht vollständig geklärt



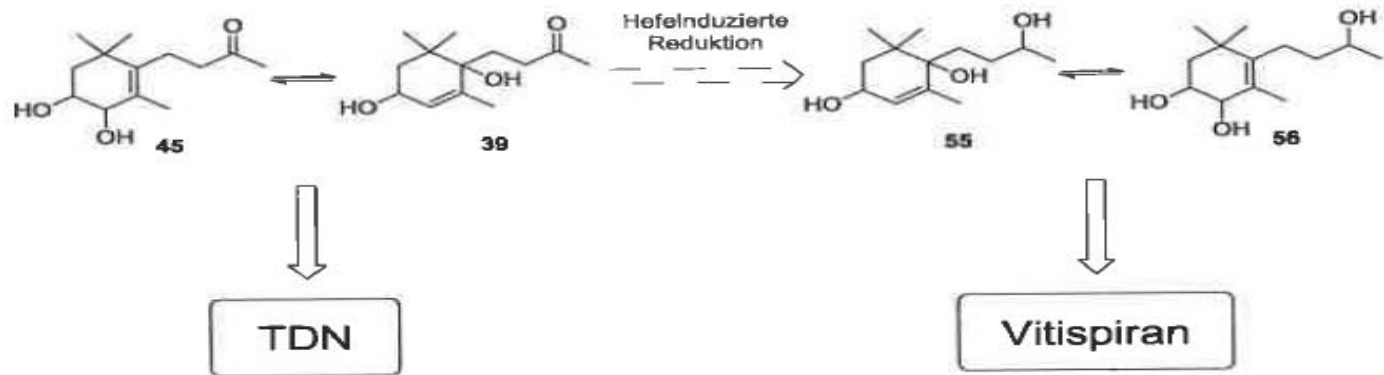
SCALPING EFFEKT

- Schraubverschluss vs. Korkverschluss bei einem Riesling Wein (Herkunft Wien: Weingut Mayer am Pfarrplatz nach 3 Jahren Lagerung)



MIKROBIOLOGISCHER EINFLUSS AUF DIE VORSTUFEN

- Einfluss durch die Hefe (Reduzierung von TDN Vorstufen) wurde von Gök 2015 bestätigt
- Einfluss durch „Biologischen Milchsäureabbau“ vermutet (Reduzierung von TDN Vorstufen)
- Einfluss durch Botrytis wird untersucht



Gök, 2015

BILDUNG DER UNTYPISCHEN ALTERUNGSNOTE (UTA)

BILDUNG DES WEINFEHLERS

“UNTYPISCHE ALTERUNGSNOTE – UTA” DURCH STRESS (WASSERMANGEL, UV-STRAHLUNG)

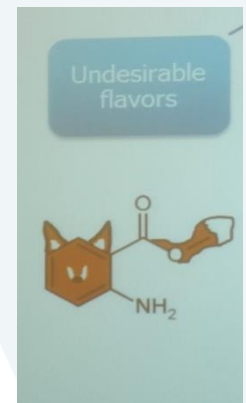
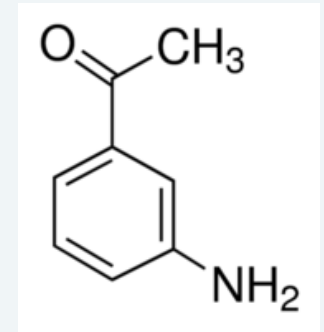
Aussehen: überwiegend hellgelb, auch blass gelb,
strohgelb, hell, klar

Geruch: muffig, Honig, süßlich, dumpf, Alterston,
Akazienhonig, wachsig, stechend, scharf,
reife Früchte, fruchtig, Botrytis,

Geschmack: überwiegend säuerlich und sauer,
auch unsauber, süßlich, halbtrocken, kurz, ausdruckslos,
unharmonisch, schweißig

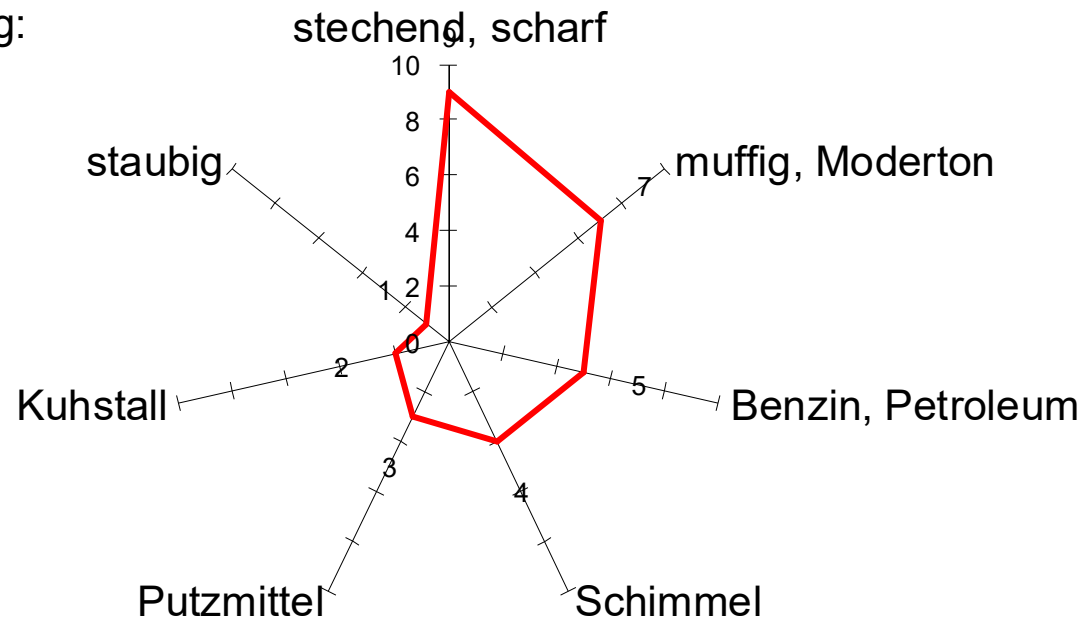
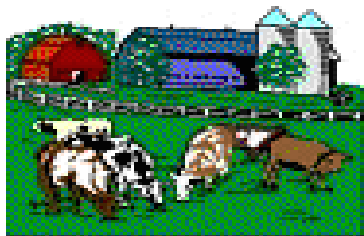
2 AMINOACETOPHENON IN WEIN

- Geruch: Naphtalin, Mottenkugeln
- Geruchschwelle: 0,5- 1,5 µg/l
- Konzentrationen im Wein: <0,1 bis 10 µg/l
- Hauptsächlich in Weißwein, etwas auch in Rosé dokumentiert
- Die Wahrnehmung schwankt sehr stark, abhängig von Weinmatrix



BESCHREIBUNG UNTYPISCHE ALTERUNGSNOTE (UTA)

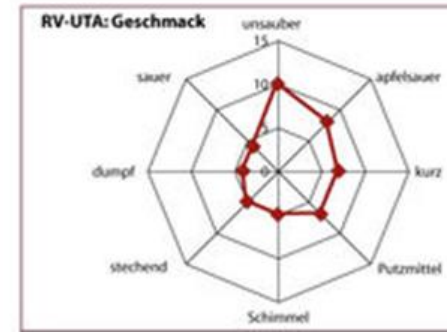
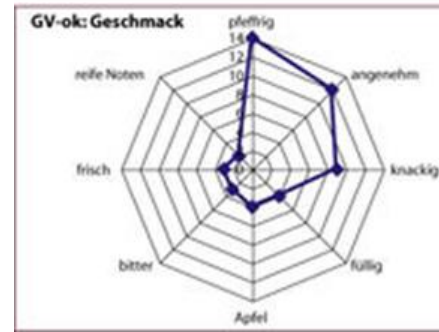
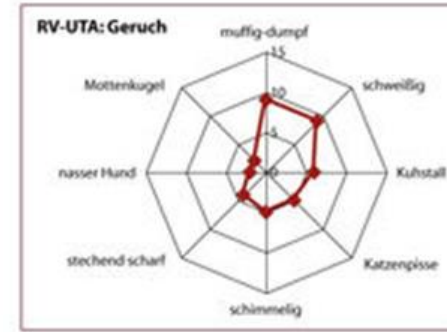
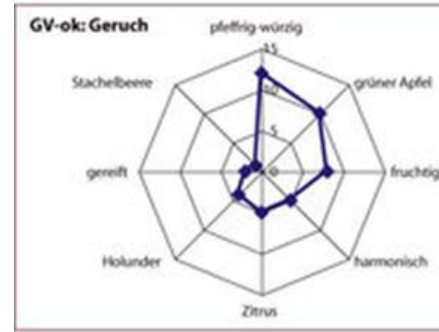
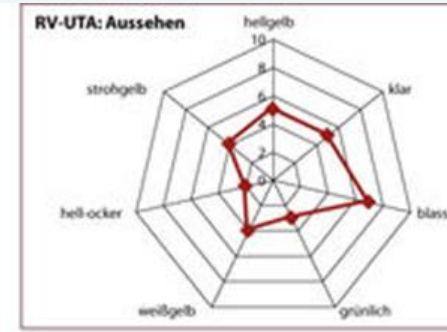
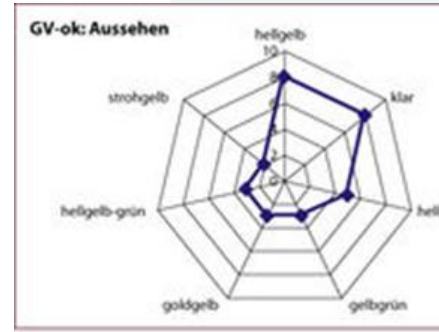
Probe: Rheinriesling:
Geruch



SENSORISCHE BESCHREIBUNG UNTYPISCHE ALTERUNGSNOTE (UTA)



Eder 2018



BILDUNG DER UNTYPISCHEN ALTERUNGSNOTE (UTA)

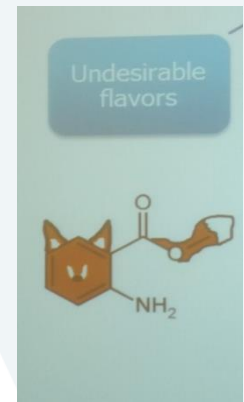
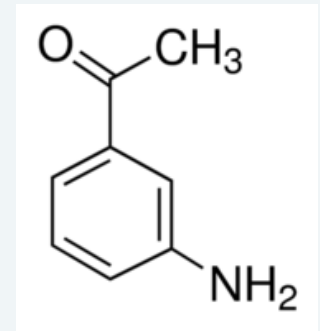
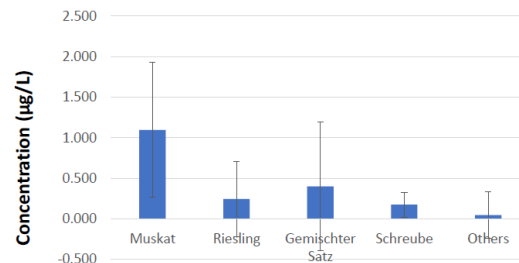
Eder Reinhard 2019

URSACHE –STRESS:

- **Trockenstress (Niederschlagsdefizit)**
- **N₂-Mangel** insbesondere im Zusammenhang mit Grasmulch und Dauerbegrünung
- zu frühe Lese mit gleichzeitig zu hohen Erträgen
- **zu starker UV- Einfluss (in heißen Jahren)**
- zu hohe Schwefelung und Hefenährsalze verstärken UTA
- anfällige Sorten (Gelber Muskateller, Müller Thurgau)
- Vermeidung: L-Ascorbinsäure bei Jungweinschwefelung

But important varietal effect

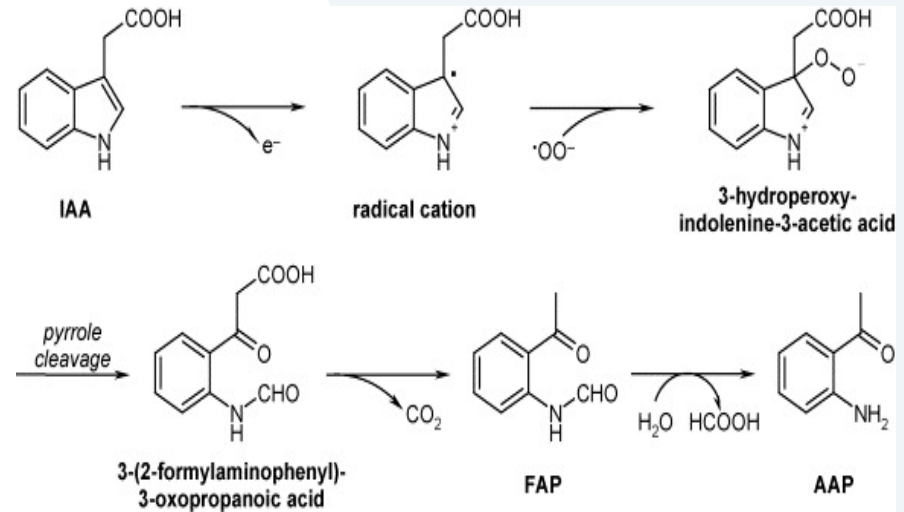
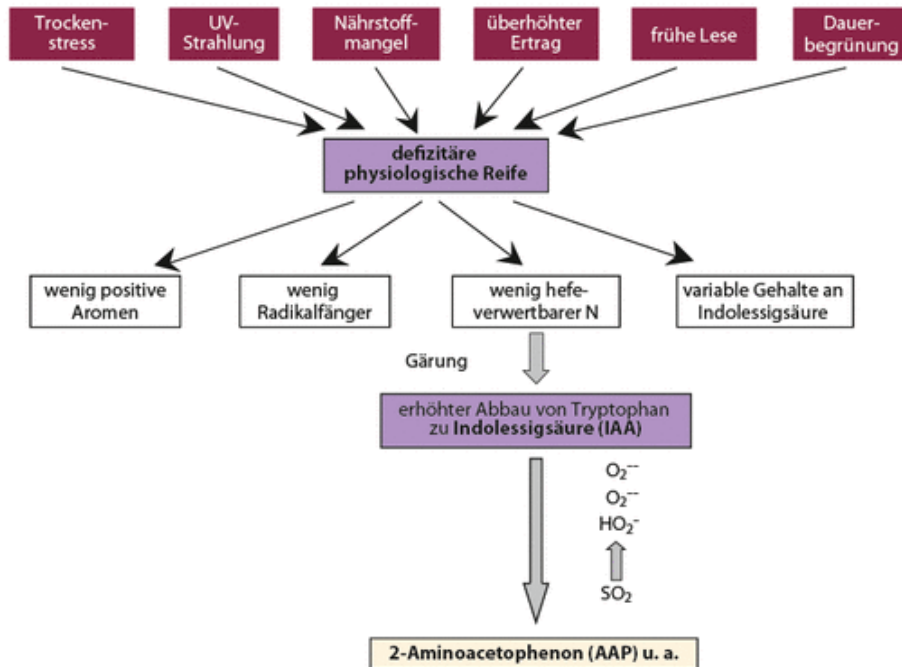
34 Muscat
9 Gemischter Satz
5 Riesling
5 Schreube
5 from a pool of 12 varieties



Philipp und Antalick to be published

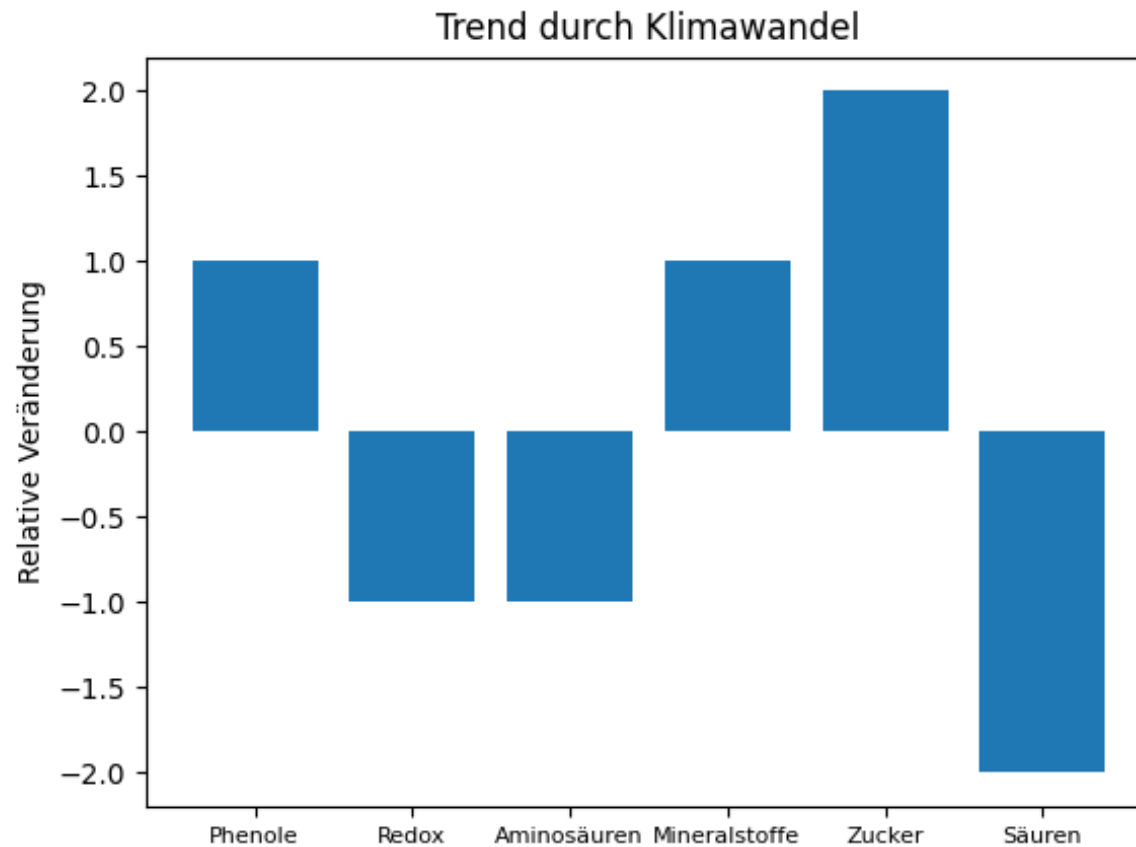
BILDUNG DER UNTYPISCHEN ALTERUNGSNOTE (UTA)

Ursachen und Bildung von UTA



*Ursache: Stress – reduktiver Stress,
Mangel an Antioxidantien*

TAKE HOME MESSAGE



TAKE HOME MESSAGE

- Der fortschreitende Klimawandel hinterlässt einen merkbaren Abdruck im Aroma unserer Weine
- Es sind viele Aromagruppen betroffen und somit alle relevanten Rebsorten
- Die Forschungen in Klosterneuburg beschäftigt sich natürlich mit den Auswirkungen des Klimawandels → u.a. höhere Tendenz von Petrolnoten beobachtet; vermehrte UTA Problematik
- Die große Zukunftsaufgabe wird die Entwicklung von Anpassungsstrategien daher sind **spezifische Terroir-Studien, weinbauliche und kellerwirtschaftliche Versuche** aber auch **Neuzüchtungen** notwendig!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

