



Feuersteine: Schlägt man sie aufeinander, entsteht ihr typischer Geruch nach Rauch und Schießpulver.

Foto: Volker Schneider

Das sensorische Schlagwort Mineralität

Fakten, Mythen und Spekulationen

Mineralität ist ein häufig gebrauchter Begriff in der Sensorik. Er suggeriert Qualität und Authentizität. Über seine Bedeutung gehen die Meinungen weit auseinander. Über die stoffliche Zusammensetzung als mineralisch beschriebener Weine ist kaum etwas bekannt. Volker Schneider, Bingen, wagt eine Analyse der wenigen Fakten und zahlreichen Spekulationen mit dem Ziel einer Bestandsaufnahme.

Die Mineralität oder Mineralik ist in der Beschreibung und Bewertung von Weinen zu einem leidenschaftlich diskutierten Begriff geworden, gilt sie doch als Garant für Qualität und Authentizität. Im Gegensatz zu den meisten anderen sensorischen Termini sieht man in der Mineralität landläufig einen impliziten Hinweis auf die direkte Ursache ihrer Wahrnehmung – über die Wurzeln aus dem Boden aufgenommene und in den Trauben eingelagerte Mineralien, die man schließlich im fertigen Wein wiederzufinden glaubt. Durch diese Assoziation mit dem Boden wird sie oft mit dem ebenso häufig diskutierten Begriff des Terroirs in Verbindung gebracht. Doch während über die Definition von Terroir noch ein gewisser Konsens herrscht, entzieht sich der Begriff der Mineralität einer präzisen

Definition nach sensorischen, sprachlichen als auch chemischen Kriterien.

Ein Problem des präzisen Sprachgebrauchs

Eine der Ursachen der mangelhaften Definition von Mineralität ist ein nicht präziser Sprachgebrauch. Daran ist nicht die einzelne Sprache als solche Schuld, der tiefere Grund liegt vielmehr in der ungenügenden Normierung der in der Sensorik gebrauchten Termini und ihrer wenig korrekten, oberflächlichen Verwendung.

Dass niemand so recht weiß, was Mineralität ist, bedeutet noch lange nicht, dass sie nicht existiert oder nicht wahrgenommen wird. Doch da der Begriff schwammig und unpräzise ist, kann die Wissenschaft wenig mit ihm anfangen. Sie kann

nur Antworten auf präzise Fragen liefern, jedoch keine Defizite im Sprachgebrauch beheben. Deshalb existiert Mineralität als messbare Größe innerhalb der Aromaforschung nicht. So lange keine Einigkeit herrscht über das, was Mineralität unter sensorischen Gesichtspunkten bedeutet, kann somit auch kein Wissen über die Weinhaltstoffe vorliegen, welche für ihre Wahrnehmung verantwortlich sind.

Mangels einer eindeutig definierten Messgröße ist die oenologische Forschung gezwungen, zunächst die Arbeit zu leisten die die Sensorik nicht geschafft hat und eine Definition von Mineralität festzulegen. Dazu bedient sie sich an Panels von geschulten Verkostern, welche die für sie subjektiv gültige Definition von Mineralität anwenden und in ihrer Intensität bemessen. In den Weinen, denen mehrheitlich eine hohe Intensität von wahrgenommener Mineralität zugesprochen wurde, wird in einer zweiten Phase nach Inhaltsstoffen gesucht, deren Konzentration deutlich höher als in nicht-mineralischen Weinen ist und die die mineralische Wahrnehmung erklären könnten.

Anders formuliert: Wie muss die Zusammensetzung eines Weins beschaffen sein, damit ihn eine Mehrheit der Verkoster als mineralisch wahrnimmt? Die Ergebnisse einiger solcher Studien werden im Folgenden vorgestellt.

Unterschiedliche Vorstellungen von Mineralität

Eine Verbraucherbefragung (Deneulin et al., 2014) mit französischen und schweizerischen Konsumenten zeigte eine höchst multidimensionale Vorstellung von Mineralität. Die Anwendung statistischer Methoden auf das Datenmaterial ergab, dass sich die Verbraucher in unterschiedliche Gruppen einteilen lassen und mit der Definition von Mineralität grundsätzlich schwertun. Am ehesten wird sie durch einen Geruch nach Feuerstein, durch die Eindrücke beim Ablecken eines Kieselsteins, die Säure und die gedankliche Assoziation mit dem Terroir repräsentiert.

Im Rahmen einer Studie zur Mineralität von Chardonnays aus der Bourgogne (Ballester et al., 2013) trat der seltene Fall ein, dass es unter Experten zu einem gewissen Konsens über die rein sprachliche Definition von Mineralität kam. Diese Einigkeit war in der praktischen sensorischen Bewertung von 16 Chardonnays jedoch nicht mehr wiederzufinden. Sowohl bei orthonasaler Geruchsbewertung als auch bei der rein geschmacklichen Bewertung ohne Riechen (Klammer auf der Nase) ergab sich keine konsistente Auffassung über den Ausdruck von Mineralität. Die Autoren unterstreichen die Notwendigkeit ihrer sensorischen Definition.

Präzisere Resultate ergab eine Studie mit neuseeländischen und französischen Sauvignon blancs (Parr et al., 2016), wobei Fachleute beider Länder ebenfalls zwischen orthonasaler, geschmacklicher und globaler Wahrnehmung einzelner Attribute unterschieden. Die wahrgenommene Mineralität korrelierte hier positiv mit geruchlichen Attributen von Feuerstein, kalkig, böckserig und Citrus sowie der weitgehenden Abwesenheit von Sortenaroma im Geruch. Die Säure spielte in diesem Fall keine Rolle. Anwendung einer Clusteranalyse auf die Verkoster zeigte erneut, dass die mentale Vorstellung von Mineralität stark durch den kulturellen Hintergrund der Verkoster geprägt wird, was Vorsicht bei dem Gebrauch dieses Begriffs in sensorischen Studien nahelegt.

Eine analoge Studie wurde anhand von Weißweinen mit noch mehr Rebsorten durchgeführt (Heymann et al., 2014). Auf die Fragestellung hin trainierte Sensoriker korrelierten Mineralität positiv mit Böckser, grasig-vegetativ, kalkig und bitter, jedoch negativ mit Eiche, Karamell, Honig, mostig und Katzenurin. Fachleute aus der Weinindustrie hingegen verbanden Mi-

neralität eher mit Säure, Citrus, nassem Stein, chemischen Aromen und schwefeliger Säure. Die Wahrnehmung von Säure spielte in diesem Fall die bedeutendste Rolle in der Ausprägung von Mineralität.

Einen ganz anderen Ansatz verfolgt Clark Smith (2013) in seinem viel beachteten Werk „Postmodern Winemaking“. Er interpretiert Mineralität weder als Geruch noch Geschmack, sondern als eine taktile Wahrnehmung im oberen Teil des hinteren Mundraums. Diese beschreibt er als ein energetisches Summen, vergleichbar mit der Wahrnehmung der elektrischen Entladung beim Berühren einer geladenen Batterie mit der Zunge. Als Ursache sieht er die Abgabe von Elektronen durch metallische Elemente, was einer Oxidation derselben entspricht. Die Oxidation von zweiwertigem zu dreiwertigem Eisen unter Abgabe eines Elektrons gemäß dem Schema $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + e^-$ ist ein Beispiel. Dies setzt voraus, dass sich solche Elemente zunächst im reduzierten Zustand befinden. Zur Rechtfertigung seiner Hypothese dient die Beobachtung, dass sich Mineralität nur in reduktiv ausgebauten Weinen findet und mit der Alterung durch Oxidation abnimmt. Der reduktive Zustand sei verantwortlich dafür, dass Mineralität und Reduktionsnoten (Böckser) oft gleichzeitig auftreten und dem Wein eine hohe Haltbarkeit vermitteln. Der Autor sieht keinen Zusammenhang mit der Konzentration metallischer Kationen. Entscheidend sei, dass sie in reduzierter Form vorliegen ähnlich wie eine Batterie aufgeladen sein muss, damit sie einen elektrischen Strom abgibt.

Unter weinbaulichen Aspekten misst er dem Boden eine entscheidende Bedeutung zur Ausbildung von Mineralität bei. Sie wird gefördert durch Kalkstein und Schiefer, aber unter den Bedingungen gesunder, lebender Böden könne Mineralität auf jeder Bodenformation erzielt werden. Die Frage nach dem kausalen Zusammenhang zwischen Bodenbeschaffenheit und Redoxzustand des Weins bleibt offen.

Mineralien sind geruchlos

Mineralität wird als sensorisches Attribut mit zwei Bedeutungen gebraucht. Die eine ist die Mineralität als nasal wahrgenommenes Aroma, wenn der Wein zum Beispiel nach nassen Steinen duftet. Die andere Bedeutung liegt in ihrer oralen Wahrnehmung am Gaumen, wie sie durch eine hohe Säure ausgelöst werden kann. Nasale und orale Wahrnehmungen können,

müssen aber nicht, gleichzeitig auftreten. Im schlimmsten Fall werden sie nicht differenziert mit den Schwierigkeiten für eine verständliche Kommunikation.

In diesem Zusammenhang bedarf es einer kritischen Überlegung ob, wie so oft angenommen, aus dem Boden aufgenommene Mineralien überhaupt an der sensorischen Ausprägung von Mineralität beteiligt sein können. Dazu gibt es klare Stellungnahmen aus der ernüchternden Sicht der Geologen (Maltman, 2008; 2013):

Die verschiedenen geologischen Mineralien (wie Schiefer, Granit, Vulkangestein) im Boden sind komplexe kristalline Verbindungen, die auf Grund ihrer beachtlichen Molekülgröße in keiner Weise von der Pflanze aufgenommen und transportiert werden können. Daher können sie nicht die stoffliche Ursache für eine wie immer auch definierte Mineralität im Wein sein, egal wie tief die Rebe auch wurzeln mag. Dem gegenüber stellen die im Wein vorliegenden Mineralstoffe einfache Kationen dar, die als Nährstoffe von der Pflanze aufgenommen wurden und nur sehr entfernt mit den geologischen Mineralien des Bodens verwandt sind. Da sie nicht flüchtig sind, gehen ihnen jegliche geruchliche Eigenschaften ab.

Wenn ein Wein nach dem Gestein riecht, auf dem er gewachsen ist, beinhaltet dies nicht, dass er geruchlich aktive Bestandteile dieses Gesteins enthält. Dieser Gedanke ist genauso verführerisch wie falsch. Der geochemische Einfluss auf die geruchlich umsetzbare Aromatik kann nur indirekt und hoch komplex sein.

Einige der aus dem Boden aufgenommenen mineralischen Kationen zeigen jedoch eindeutig definierte geschmackliche Eigenschaften, die über ihre bekannte Neutralisation von Säure hinausgehen (Schneider, 1998; 2002). Sie umfassen Kalium und, mit einigem Abstand, auch Calcium, Magnesium und Natrium. Diese weineigenen Mineralstoffe sind in ihrem Gehalt teilweise vom Boden abhängig, beeinflussen den Geschmack und bis zu einem gewissen Grad sicher auch die Wahrnehmung von Mineralität am Gaumen, sind jedoch ohne Auswirkung auf die geruchliche Dimension der Mineralität. Dies mag erklären, warum in manchen Definitionen die Mineralik auf die Wahrnehmung einer Salzigkeit am Gaumen reduziert wird. In Zusammenhang mit Mineralien im Wein muss also sehr genau zwischen geruchlichen und geschmacklichen Eigenschaften unterschieden werden. Mineralien riechen nicht.

Allgemein gültig ist der Einfluss mineralischer Kationen auf die geschmacklich wahrgenommene Mineralik jedoch nicht. Eine Studie (Baron, Fiala, 2012) bestimmte ihre Konzentrationen in als mineralisch und nicht-mineralisch empfundenen Weinen und kam zu dem Schluss, dass ihre Mengen in keinem Zusammenhang mit den sensorischen Unterschieden zwischen den untersuchten Weinen stehen. Andere Faktoren sind für die Mineralität wichtiger. Unter diesen wurde auch ein erhöhter Gehalt von durch Hefe gebildeter Bernsteinsäure, entsprechend einer Säuerung, angeführt. Die Säure scheint systematisch die Wahrnehmung von Mineralität am Gaumen zu verstärken (Iberia, 2014).

Der Boden ist nicht alleine entscheidend

Gemäß einer Untersuchung aus Österreich (Eder et al., 2014) werden mit dem Begriff der Mineralität die unterschiedlichsten geschmacklichen und geruchlichen Sinneseindrücke abgedeckt. Die Wahrnehmung von Mineralität kann gefördert werden durch Salzigkeit am Gaumen wie zum Beispiel durch erhöhte Gehalte an Calcium, aber auch durch intensive Säure, Kälte, Citrus-Aromen, eine pfefferige Wahrnehmung sowie als reduktiv beschriebene Noten nach Zwiebeln, Rauch und Feuerstein. Fruchtaromen im Allgemeinen und Aromen nach exotischen Früchten im Besonderen mindern die Wahrnehmung von Mineralität. Unter Nutzung dieser Attribute wurden sensorische Studien an Weinen der Sorte „Grüner Veltliner“ durchgeführt.

Die im ersten Versuch im gleichen Betrieb vinifizierte Weine von unterschiedlichen Böden (Löss, Gneis) waren annähernd identisch und legten den Schluss nahe, dass die Winzerhandschrift wichtiger für die Ausprägung von Mineralität ist als die Bodengrundlage. Im zweiten Versuch wurden drei Weine im gleichen Betrieb vinifiziert. Dabei zeigten die beiden auf „mineralischen“ Böden (Löss, Urgestein, Schotter, Gneis) gewachsenen Weine stärkere Ausprägungen der als mineralisch empfundenen Attribute, während der dritte, auf Sand und Löss gewachsene Wein eine deutlich intensiver ausgeprägte Fruchtwahrnehmung aufwies. In dem Betrieb konnte ein deutlicher Einfluss des Bodens angenommen werden.

Im dritten Versuch zeigten zwei in unterschiedlichen Betrieben vinifizierte Weine von Löss- und Schieferböden eine

deutlich niedrigere Intensität für die meisten Attribute fruchtiger Art, wobei die Ursache mehr in Anbaugebiet und Jahrgang als im Boden vermutet wurde.

Die Analytik wichtiger Aromakomponenten entsprach teilweise den Ergebnissen der Sensorik. Für fruchtige Aromattribute verantwortliche Moleküle wurden in den als mineralisch bewerteten Weinen in deutlich niedrigerer Konzentration gefunden. Ein Rückschluss auf typisch „mineralisch“ riechende Aromakomponenten konnte nicht gezogen werden. Für die mineralische Wahrnehmung sind vier Faktoren verantwortlich: Winzerhandschrift, Boden, Anbaugebiet und Jahrgang.

Fakten aus der Aromachemie

Aus den verschiedenen Untersuchungsergebnissen ragen immer wieder die Säure und der Geruch nach Feuerstein (verbrannt, Rauch, aufflammendes Streichholz) als charakteristische Merkmale von als mineralisch beschriebenen Weinen heraus. Dieser Geruch ist zwei flüchtigen Schwefelverbindungen zu eigen:

Benzenmethanthiol: Sein Geruchsschwellenwert liegt bei 0,3 ng/l in wässrig-alkoholischer Lösung. In einigen französischen Weißweinen wurde es in 30- bis 100-fach höherer Konzentration gefunden. Ein Zusatz von 4 ng/l zu einem Chardonnay mit ursprünglich 7 ng/l rief einen deutlich verbrannten Geruch hervor (Tomimaga et al., 2003).

Disulfan: Nach einer sensorischen Auswertung von 80 schweizerischen Weinen der Rebsorte Chasselas wurde Disulfan in den zwei als mineralisch beschriebenen Weinen gefunden. Sein Entstehen wurde ebenfalls nach dem Aufeinanderschlagen von Feuersteinen nachgewiesen (Starkemann et al., 2016).

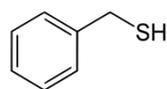
Seit der Publikation dieser Arbeiten wird darüber spekuliert, ob diese beiden Moleküle auch für den Geruch nach Feuerstein einiger mineralischer Rieslinge deutscher Anbaugebiete verantwortlich sein könnten. Diese Hypothese ist nicht bewiesen, jedoch naheliegend. Da es sich in

beiden Fällen um flüchtige Schwefelverbindungen handelt, werden sie auch mit Bockser in Verbindung gebracht. Diese Analogie ist sensorisch aber nicht gerechtfertigt, denn keines dieser Moleküle weist den für Bockser typischen, abstoßenden Geruch nach verbranntem Gummi, faulen Eiern, Rosenkohl oder altem Fleisch auf. Sie riechen einfach nur rauchig und verbrannt, was eher positiv bewertet wird. Über ihr Verhalten gegenüber Sauerstoff und Kupfer, wie sie zur Behandlung von Bocksern eingesetzt werden, ist noch nichts bekannt. Grundsätzlich ist aufgrund ihrer chemischen Struktur (Abb. 1) und deren Thiol-Gruppe eine Reaktion mit beiden zu erwarten. Andererseits hat sich gezeigt, dass die Aromanote „Feuerstein, rauchig, aufflammendes Streichholz“ durch Zugabe von Kupferionen (0,5 mg/l Cu⁺⁺) zu entsprechenden Weinen nicht signifikant gemindert wird.

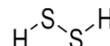
Dass Benzenmethanthiol und Disulfan nicht allein für einen als mineralisch beschriebenen Geruch verantwortlich sind, zeigt eine vergleichende Studie zu Sauvignon blancs aus Neuseeland, Frankreich und Österreich (Breitmeyer et al., 2011). Die als mineralisch klassifizierten Sauvignons aus Frankreich zeichneten sich durch vergleichsweise erhöhte Gehalte an Benzaldehyd (Abb. 1) aus, dem in alkoholischer Lösung und in Abhängigkeit von der Konzentration eine Aromanote nach Marzipan oder Wildkirsche eigen ist.

Keines der genannten Moleküle hat ionischen Charakter, welcher ihre Aufnahme und Einlagerung durch die Pflanze ermöglichen würde. Offensichtlich werden sie durch die Hefe gebildet. Dabei spielt der Boden eine indirekte Rolle insofern, als er Gärsubstrat, Hefenährstoffe und letztlich den Stoffwechsel der Hefe beeinflusst. In Mosten aus bestimmten Böden vermögen Hefen mehr der genannten Substanzen zu produzieren. Ein Einfluss der Hefe auf die Ausprägung von Mineralität liegt somit auf der Hand.

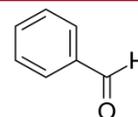
Nun werden natürlich nicht nur Geruchseindrücke nach Feuerstein, aufflammendem Streichholz oder Marzipan als



Benzenmethanthiol



Disulfan



Benzaldehyd

Chemische Struktur von als „mineralisch“ riechend beschriebenen Molekülen.

Abb. 1



Es fehlt an einer Definition für den Begriff Mineralität.

Foto: DWI

mineralisch beschrieben, sondern auch solche nach Kreide, Austern, nassem Sand und feuchtem Gestein im weitesten Sinn. Ein Geruch nach nassen Steinen oder Schiefer ist in der Natur zu beobachten, wenn trockenes Gestein nach einem Regenschauer plötzlich feucht wird. Dieser Geruch ist jedoch nicht auf das als solches geruchlose Gestein zurückzuführen, sondern auf eine auf diesem abgelagerte organische Substanz öligler Natur, die man Petrichor nennt. Dabei handelt es sich um einen von Pflanzen während Trockenzeiten ausgesonderten Keimungsverzögerer, der sich bei Wasserzufuhr teilweise löst und als Aerosol in der Luft riechbar wird (Bear et al. 2012).

Auch Petrichor ist kein ionisiertes Salz, welches von der Pflanze aufgenommen werden könnte. Wenn das Aroma einiger Weine dennoch als Petrichor beschrieben wird, handelt es sich um eine gedankliche Assoziation zur Illustration dessen, was man riecht. Obgleich Weine mit einem solchen Aroma bevorzugt auf steinigen Böden wachsen, liegt kein stofflicher Zusammenhang, sondern eher ein Zufall vor.

Zahlreiche intelligente Spekulationen

Zusammenfassend bleibt festzuhalten: Ein mineralischer Geruch ist nicht an eventuell im Wein enthaltene geologische Mineralien zurückzuführen, weil solche nicht in ihm löslich sind noch von der Pflanze aufgenommen werden können. Weiterhin sind sie grundsätzlich geruchlos. Ein vermeintlicher Geruch natürlicher Mineralien ist vielmehr auf in ihnen vor-

liegende Verunreinigungen zurückzuführen, die aus flüchtigen organischen Substanzen bestehen. Oder aus einer Verbindung, die sich durch mechanische Belastung wie beim Aufeinanderschlagen von Feuersteinen bildet. Warum kann ein Wein dennoch mineralisch riechen?

Über die Natur der an nasses Gestein, Austern, Kreide und Sand erinnernden Moleküle in Wein ist nichts bekannt. Unter der Vielfalt der bekannten Weinhaltstoffe wurden bisher keine identifiziert, die nach diesen Materialien riechen. Man bewegt sich im Bereich der Spekulationen. Hier einige Gedankenansätze zur Ursache von Mineralität in der Nase:

- Bodenchemie und Bodenstruktur (Nährstoffe, Wasserhaltefähigkeit) können zu einer Veränderung der Genexpression der Rebe führen und so zu einer Veränderung des traubenbürtigen Aromas.
- Ein mineralisches Aroma könnte das Ergebnis einer unterversorgten Hefe sein, gekoppelt an eine Art von Nährstoffmangel und physiologischen Stress der Rebe im Weinberg, (Baron, Fiala, 2012) und gefördert durch das empirische Wissen des Mineralik suchenden Winzers. Dafür spricht, dass sich mineralische Weine durch eine geringe Intensität an fruchtigen, floralen oder vegetativen Aromakomponenten auszeichnen, wie sie gut versorgte Böden hervorbringen.
- Die genannten Faktoren könnten zu einer erhöhten Synthese komplexer Thiole wie Benzenmethanthiol durch die Hefe führen. Diese leiten in ihrer Eigenschaft als flüchtige Schwefelverbindungen zu dem Themenkreis der Chemie der Bockser über, ohne die für Bockser typischen Geruchsprofile aufzuweisen.
- Unter dem vorgenannten Aspekt können spezifische Redoxgleichgewichte zwischen Thiolen und ihren analogen Disulfiden geringerer Geruchsintensität eine Rolle spielen. Solche Redoxgleichgewichte stellen sich in Abhängigkeit von der Art des Weinausbaus ein.
- In Rotweinen könnten auch Inhaltsstoffe des Eichenholzes und unterschwellige Brettanomyces-Töne an der Wahrnehmung von Mineralität beteiligt sein.
- Nicht zuletzt vermag die Psychologie eine Rolle zu spielen. In einer Reihe unterschiedlicher Weine fanden die Ver-

koster mehr solche mit mineralischem Charakter, wenn sie vor der sensorischen Auswertung auf die Fragestellung nach Mineralität hingewiesen wurden (Iberia, 2014). Dieser Effekt der Suggestion ist in der Sensorik hinreichend bekannt. Der richtige Meinungsbildner am richtigen Ort und zum rechten Moment vermag wahre Wunder der Überzeugung vor einem verunsicherten Publikum zu vollbringen. Auch daraus könnte sich die inflationäre Verbreitung des Mineralitätbegriffs erklären.

Zusammenfassung

Der Begriff der Mineralität in Wein bedarf dringend einer sprachlichen Bereinigung und einer exakten Definition. Mit ihm werden unterschiedliche geruchliche und geschmackliche Empfindungen zusammengefasst und meist ungenügend voneinander differenziert. In geschmacklicher Hinsicht wird die Wahrnehmung von Mineralität durch eine hohe Säure gefördert, während auf geruchlicher Ebene Attribute wie Feuerstein, aufflammendes Streichholz, rauchig, nasses Gestein, Bockser, Citrus, freie SO₂ und geringes Fruchtaroma am ehesten mit Mineralität in Verbindung gebracht werden.

Von den für die genannten Aromattribute verantwortlichen Molekülen im Wein sind nur wenige bekannt. Fest steht nur, dass solche mineralischen Aromen nicht direkt auf geologische Mineralien zurückgeführt werden können, weil solche als komplexe, kristalline und geruchlose Verbindungen nicht von der Rebe aufgenommen werden. Der Geruch nach feuchtem Gestein in der Natur ist auf organische Verunreinigungen desselben zurückzuführen, die in keinem stofflichen Zusammenhang mit ähnlichen Gerüchen im Wein stehen. Wenn der Geruch eines Weins an das Gestein erinnert, auf dem er gewachsen ist, heißt das nicht, dass er Bestandteile dieses Gesteins enthält. Der Einfluss des Bodens auf die geruchlich umsetzbare Aromatik ist nur indirekt und höchst komplex, indem er Gärsubstrat, Hefenährstoffe und Hefestoffwechsel beeinflusst. Nicht zuletzt könnte die Bodenstruktur auch zu einer Veränderung der Genexpression der Rebe und dadurch zu veränderten traubenbürtigen Aromastoffen führen. ●

Literatur

Literatur kann beim Autor (schneider.oenologie@googlemail.com) erfragt werden.