

# Föhnforschung und Traubenreife

Andreas Walker, Geograf und Wissenschaftsjournalist, 5723 Teufenthal  
Hans Peter Ruffner, Eidgenössische Forschungsanstalt Wädenswil

*Der Föhn ist als Naturereignis an sich schon ein Phänomen, dessen Geheimnisse durch die meteorologische Forschung nun zwar nach und nach enthüllt werden. Im Zusammenhang mit der Traubenreife birgt er aber immer noch eine Reihe von Rätseln, da man nicht davon ausgehen kann, dass sein Einfluss lediglich auf einem Austrocknen der schon weitgehend zuckerhaltigen Trauben beruhen soll. Die Vorstellungen über den Reifeffekt des Föhns scheinen jedoch weitgehend anekdotisch zu sein. Harte Fakten sind kaum aufzutreiben. Anhand der verfügbaren Resultate wird versucht, den Einfluss des «Traubenkochers» in eine allgemeine Hypothese zur Traubenreife zu integrieren.*

## Das Rheintal als Föhngebiet

In der Schweiz existieren sieben markante Föhnströmungen: der Unter- und Oberwalliser-Föhn, der Haslital-Föhn, der Urnerföhn (Reusstal), der Glarner, Rheintaler und der Montafon-Föhn. Von den sieben Föhntälern ist das Rheintal das längste.

Genaugenommen erstreckt sich das Gebiet, das vom Föhn überströmt wird, von Lugano via San Bernardino durchs Rheintal bis ins Bodenseegebiet. Für die Föhnforschung dieser Region sind folgende Wetterstationen relevant: Lugano, Magadino, San Bernardino, Hinterrhein, Chur, Bad Ragaz, Vaduz, Altenrhein und Güttingen. Alle diese Stationen liegen direkt im Föhngebiet. Um grossräumige Auswirkungen sowie das Umfeld des Föhns zu studieren, werden noch einige Stationen in Vorarlberg (z.B. Lustenau,

Feldkirch) und einige weitere im deutschen Bodenseegebiet (z.B. Lindau, Friedrichshafen) berücksichtigt.

Das Rheintal ist aber nicht nur das längste dieser sieben Föhntäler, es weist auch einen grossen Höhenunterschied von ca. 2000 Metern sowie eine Talbreite von bis zu 10 Kilometern auf. Ein solches Tal hat alle Eigenschaften, um das Phänomen «Föhn» in seinem gesamten Spektrum entstehen zu lassen. Unter anderem kann bei dieser Talgrösse auch ein Kaltluftsee entstehen, auf dem die Strömung aufgleitet. Durch diese komplexe Situation treten alle Facetten des Föhns auf, und damit ist das Rheintal eine ideale Region für die Föhnforschung.

## Arbeiten im Rahmen der Föhnforschung

Durch die Arbeiten im Rheintal konnte gezeigt werden, dass zurzeit die Auflö-

### Welche Winde werden als Föhn bezeichnet?

Um eine Wettersituation eindeutig als Föhn zu definieren, sind klare Kriterien bestimmt worden, die dazu dienen, Föhnlagen aus den übrigen Wetterlagen herauszufiltern. In der Natur gibt es natürlich nicht nur eindeutige Situationen. Eine Föhnlage kann zum Beispiel langsam entstehen und gerade im Anfangs- oder Endstadium einen «Grenzfall» darstellen. Deshalb wurden folgende Kriterien definiert:

Der Föhn ist ein Wind, der die Alpen überquert. Es muss ein höherer Luftdruck im Süden als im Norden herrschen. Bergstationen nördlich des Alpenkamms, die windexponiert sind und oberhalb 2000 Meter liegen (z.B. Gütsch, Piz Martegnas, Crap Masegn), müssen einen Wind aus dem Sektor Süd mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von mindestens 30 km/h aufweisen.

Bezüglich Windrichtung ist für eine Föhnlage normalerweise Bedingung, dass der Wind aus dem Sektor Süd weht. Dass es in der Natur praktisch keine Regeln ohne Ausnahmen gibt, bestätigt sich auch hier. In Sion kann nämlich im Extremfall der Föhn aus Richtung Ostnordost blasen, weil der Wind durch das Tal abgelenkt und kanalisiert wird. Ferner soll bei einem Föhn in der Stunde des Föhneinbruchs die Temperatur um 3 °C steigen, und die Luftfeuchtigkeit sollte unter 50% liegen. Allenfalls darf eines dieser Kriterien nicht erfüllt sein.

sung selbst im feinmaschigen Computermodell noch zu klein ist, um den Föhn zu simulieren.

Weitere Untersuchungen befassten sich zum Beispiel mit den Zusammenhängen zwischen Starkniederschlägen im Tessin und Föhn im Norden. Erstaunlicherweise besteht – wider Erwarten – eine geringe Korrelation zwischen diesen beiden Phänomenen. Ebenso wurden Untersuchungen durchgeführt, die den Zusammenhang zwischen Föhnlagen und guter Fernsicht erforschten. Dabei kam folgendes Resultat heraus: Der Föhn ist nicht – wie viele Leute glauben – zwangsläufig mit einer legendären Fernsicht verbunden. Solange es im Süden nicht regnet, besteht durchaus die Möglichkeit, dass im Norden die Sicht trüb bleibt. Die Niederschläge auf der Alpensüdseite sorgen nämlich dafür, dass der in der Luft enthaltene Staub mit dem Regen ausgewaschen wird.

1999 findet das internationale Projekt MAP (Mesoscale Alpine Programme)



Abb. 1: Herbstliche Föhnstimmung im Bündner Rheintal.

statt, das sich unter anderem auch mit der Föhnforschung im Rheintal beschäftigt.

## Der Traubenkocher

Im Bündner Rheintal nennt man den Föhn auch «Traubenkocher». Dies wohl, weil sich im Herbst regelmässig Föhnlagen entwickeln, die dann mit stahlblauem Himmel am Tag (Abb. 1) und warmen Nächten für eine gute Traubenreife sorgen. Es wird behauptet, dass eine einzige Föhnnacht einen Anstieg des Beerenzuckergehalts um 1 Oechslegrad bewirken könne. Bemühungen, an entsprechendes Zahlenmaterial heranzukommen, erwiesen sich allerdings als wenig ergiebig. Jeder Winzer bestätigt zwar, auch schon von solchen Werten gehört zu haben, aber wirklich gemessen scheint noch niemand zu haben – was nicht bedeutet, dass die Behauptung falsch ist!

Es wäre aber wohl zu einfach, die Zunahme der Oechslegrade einfach auf einen überdurchschnittlichen Wasserverlust der Beeren zurückzuführen, obwohl durch die niedrige relative Luftfeuchtigkeit des Föhns (unter 50%) eine austrocknende Wirkung unbestritten ist. Man muss also davon ausgehen, dass die Assimilatversorgung in der Pflanze unter Föhnbedingungen anders verläuft.

## Assimilatverteilung und Wachstum

Unter normalen Wachstumsbedingungen werden in Pflanzen die Assimilate vom fotosynthetisch aktiven Gewebe (Produzent: Blatt) mit hoher Zuckerkonzentration zu Wachstums- oder Speicherzonen (Verbraucher: Sprossspitze, Wurzel, Samen) mit niedriger Zuckerkonzentration transportiert. Die Distanz zwischen Produzent und Verbraucher ist wichtig, da die Steilheit des Konzentra-

tionsgefälles (der Gradient) Richtung und Geschwindigkeit des Transports steuert. Diese Situation gilt auch für grüne Trauben bis etwa 7 oder 8 Wochen nach der Blüte. Die Konzentration der eingelagerten Gesamtsäure bewegt sich um 30 bis 35 g/l (Abb. 2) oder wenig oberhalb von 0,2 M, was etwa einer normalen Zellsaftkonzentration entspricht, die mit Sicherheit unter dem Wert derer im Assimilatstrom liegt (0,6–1,5 M; Lohaus et al. 1995). Damit kann sich zwischen Blatt und wachsender Beere ein Konzentrationsgradient etablieren.

Das Wachstum im ersten Abschnitt der Beerenentwicklung beruht zunächst vor allem auf Zellteilungen im Fruchtblatt (Perikarp), dann auf Zellstreckungen sowie der Samenentwicklung. Bei Reifebeginn hat der Same mehr oder weniger Endgrösse erreicht, das Wachstum der Beere im engeren Sinn ist abgeschlossen.

## Beerenreife ...

Die eigentliche Reifeperiode wird durch eine Serie von Veränderungen eingeleitet, die im Fachjargon mit dem französischen Ausdruck «Véraison» bezeichnet wird. Sie umfasst als klar feststellbare Faktoren (Coombe, 1992):

- das Weichwerden der Beeren
- den Beginn der Zuckereinlagerung\*
- das Einsetzen des Äpfelsäureabbaus\*
- den Farbumschlag (bei blauen Trauben)
- die erneute Zunahme des Beerenvolumens\*.

(\*siehe Abb. 2)

Weiter muss nun noch vorausgeschickt werden, dass in Pflanzen der Wasser- bzw. der Assimilattransport – im Gegensatz zu den Verhältnissen bei Tieren – in verschiedenen Gefässen erfolgt: während die Wasserversorgung der Gewebe vornehmlich durch die abgestorbenen, verholzten Gefässe des sogenannten Xylem läuft, werden Assimilate in den lebenden, elastischen Siebröhren des Phloem transportiert. Von aussen nicht ohne weiteres ersichtlich, und deshalb wohl auch lange Zeit unbemerkt, wird zu Beginn der Traubenreife die Xylemverbindung zu den Beeren und damit die Wasserzufuhr unterbrochen. Im Gegensatz zur krankhaften Situation bei der Stiellähme sind aber bei normaler Reife die Phloemverbindungen nicht betroffen. Das bedeutet, dass Wasser in Form von Zuckerlösung in die Beeren eingeschleust werden kann.

Wie kann es zum Einströmen von Wasser in die reifende Beere kommen? Nach dem Naturgesetz der Thermodynamik können in einem offenen (nicht gekam-

erten) System auf die Dauer keine Konzentrationsunterschiede bestehen bleiben. Ein Würfel Zucker löst sich im Tee auch ohne Rühren auf, wenn man genügend Zeit zum Warten hat! Wasser und Zucker vermischen sich zu einer homogenen Lösung.

## ... und Wasserdefizit

Ohne jetzt auf die Verhältnisse ganz am Anfang der Reife einzugehen, die etwas speziell sind (Ruffner 1997), können wir voraussetzen, dass schon kurz nach Reifebeginn die Zuckerkonzentration in der Beere höher ist als im zuführenden Gefäss. Damit besteht in der Beere ein Wasserdefizit. Es wird (Zucker)wasser einströmen, bis die Beere prall gefüllt ist. Unter dem Druck des eingeströmten Wassers kommt es zur Volumenzunahme, was einen weiteren Wasser/Zuckereinstrom erlaubt – gegen ein Konzentrationsgefälle bezüglich des Zuckers!

## Föhnwetter

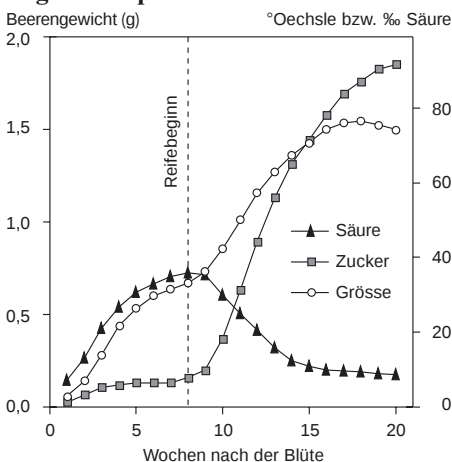
Die Überlegungen im vorangehenden Abschnitt machen klar, dass die Zuckereinlagerung in die Traube damit von drei Faktoren abhängig ist, nämlich

- von der Zuckerkonzentration im Assimilatstrom
- vom Druck im Beereninnern
- vom Wasserverlust (Transpiration) der Beeren.

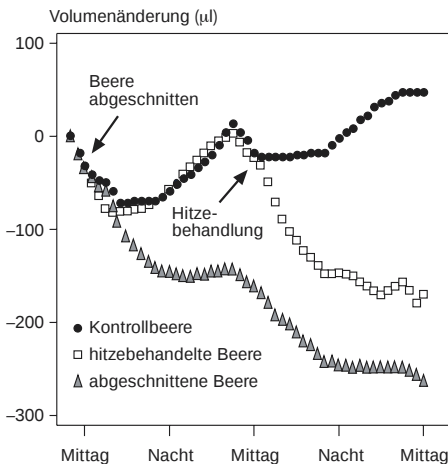
Föhnsituationen in der Endphase der Reife, also etwa 100 Tage nach der Blüte (d.h. im September/Oktobre), sorgen zweifellos schon von der Temperatur her für gute Assimilationsbedingungen. Als «echte Verbraucher» kommen zu diesem Zeitpunkt am ehesten die Wurzeln in Frage, deren Umgebung, der Boden aber auf kurzfristige Wärmeperioden kaum reagiert und damit auch keinen erhöhten Verbrauch auslöst. Dies bedeutet, dass das Assimilatgleichgewicht auf die Produktionsseite verschoben wird, da das Laubwerk nicht auf einen Wachstumsschub im Herbst programmiert ist. Die Holzreife wird erfahrungsgemäss durch Wärme eher verzögert. Negativ würde sich einzig ein ausgesprochener Trockenstress auf die Fotosynthese auswirken. Der Traube steht also eine relativ zuckerreiche Assimilatlösung zur Verfügung, obwohl sie eigentlich Wasser brauchen würde.

Der Druck im Beereninnern wird vom Föhn nur über den Wasserverlust beeinflusst. Die prall gefüllte Beere kann kein zusätzliches Wasser aufnehmen. Wärme, Einstrahlung, die tiefe relative Luftfeuchtigkeit und die hohe Geschwindigkeit der vorbeiströmenden Luft erhöhen den Was-

**Abb. 2: Grössenentwicklung und Veränderungen im Säure- und Zuckergehalt von Traubenbeeren im Verlauf der Vegetationsperiode.**



**Abb. 3: Volumenveränderungen von intakten, abgeschnittenen und hitzebehandelten, reifenden Traubenbeeren (nach Lang und Thorpe, 1989 bzw. Greenspan et al. 1994, mod.).**



serverlust durch die Beerenhaut. Die Wasserabgabe wird wiederum durch Aufnahme von Zuckerlösung kompensiert. Erst wenn auch die Phloemgefässe absterben (Eindorren der Beerenstiele, Stiellähme) kommt es zum Ende des Wasser/Zuckerimports und damit zum Schrumpfen der Beeren (Trockenbeerenauslese).

### Der Wasserhaushalt

Durch genaue Bestimmung und Vergleich der Volumenänderung von intakten und abgeschnittenen Beeren sowie von solchen, deren Phloemgefässe durch Hitzebehandlung abgetötet worden waren, konnte der anteilmässige Beitrag der Wassereinfuhr in Xylem und Phloem bzw. des Wasserverlusts durch die Transpiration experimentell erfasst werden (Abb. 3).

Die Versuche wurden unabhängig voneinander in Neuseeland (Lang & Thorpe 1989) und Kalifornien (Greenspan et al. 1994) an verschiedenen Traubensorten und mit verschiedenen Methoden zur Volumenbestimmung durchgeführt. Die Resultate sind aber durchaus miteinander vergleichbar.

### Ein Versuch

Die beiden in der Abbildung 3 mit runden Symbolen bezeichneten, zunächst intakten Traubenbeeren verhalten sich am ersten Tag identisch, beide verlieren im Laufe des Tages etwa 80 µl (mm<sup>3</sup>) Wasser. Dies zeigt, dass sie unter sich vergleichbar sind, wogegen die abgeschnittene ( ) Beere 140–150 µl abgibt bzw. den Wasserverlust (Transpiration) nicht ersetzen kann. Während der Nacht erreichen die beiden noch lebenden Beeren wieder ihre Anfangsgrösse, die abgeschnittene verliert ebenfalls kein Wasser mehr.

Am Mittag des zweiten Tages wurde der Stiel einer der intakten Beeren kurz einem heissem Wasserdampfstrahl ausgesetzt, wodurch die Phloemgefässe abgetötet wurden. Die behandelte Beere verlor darauf in den nächsten 10 Stunden ebenfalls 120 µl Wasser – was ziemlich genau dem Verlust einer abgeschnittenen Frucht entspricht – während die nicht behandelte Beere sogar insgesamt noch einen kleinen Wasserüberschuss von rund 50 µl importierte. Damit war gezeigt, dass ein funktionsfähiges Phloem für die Wassereinfuhr notwendig ist und es stellte sich die Frage, ob eine Veränderung der Transpirationsbedingungen die Wassereinfuhr und damit auch den Zuckerimport beeinflussen würde.

### Manipulation der Transpiration

Interessanterweise ist es bisher durch künstliche Beeinflussung (Erhöhung der Wasserdampfdurchlässigkeit der Beerenhaut durch Chemikalien, Bewindung) nicht gelungen, die Zuckereinlagerung nachhaltig positiv zu beeinflussen (Rebucci et al. 1997). Dies deutet doch darauf hin, dass tatsächlich wohl auch auf der Produktionsseite (Assimilation) Anreize nötig sind, die über eine einfache Erwärmung und Trocknung der Luft im Versuchssystem hinausgehen.

Andererseits verunmöglichte aber doch ein Einschliessen von Einzelbeeren in Kunststoffzwinger, die keine Grössenzunahme zulassen, eine Zuckereinlagerung (Coombe 1992). Auch ein Bestreichen von Traubenbeeren mit Vaseline, wodurch die Wasserdampfabgabe verringert wird, reduzierte die Menge des eingelagerten Zuckers deutlich (Rebucci et al. 1997).

Der eindeutige Beweis für die Wirkung des Föhns über eine transpirationsgekoppelte Einfuhr von Zucker in die Traube ist damit noch nicht erbracht. Immerhin gibt es aber eine Reihe von Indizien, welche die Möglichkeit einer passiven Aufnahme des Zuckers stützen. Unter anderem sei darauf verwiesen, dass Reben, deren Traubenzone zum Teil rigoros entlaubt wurde, im allgemeinen nicht oder wenigstens nicht wesentlich geringere Oechslegrade erbringen, obwohl solche Trauben eigentlich benachteiligt sein müssten.

### Dank

Der Text von Andreas Walker entstammt einer Publikation des Presседienstes der Gesellschaft Schweizer Forschungsinformation «CH-FORSCHUNG» vom 1.1.98, die uns in verdankenswerter Weise zur Veröffentlichung überlassen wurde.

### Literatur

- Coombe B.G.: Research on development and ripening of the grape berry. *Am. J. Enol. Vitic.* 43, 101-110, 1992.
- Greenspan M.D., Shackel K.A. und Matthews M.A.: Developmental changes in the diurnal water budget of the grape berry exposed to water deficits. *Plant, Cell & Environment* 17, 811-820, 1994.
- Lang A. und Thorpe M.R.: Xylem, phloem and transpiration flows in a grape: application of a technique for measuring the volume of attached fruits to high resolution using Archimedes' principles. *J. Exptl. Bot.* 40, 1069-1078, 1989.
- Lohaus G., Winter H., Riens B. und Heldt H.W.: Further studies of the phloem loading process in leaves of barley and spinach. The comparison of metabolite concentrations in the apoplastic compartment with those in the cytosolic compartment and in the sieve tubes. *Bot. Acta* 108, 270-275, 1995.
- Rebucci B., Poni S., Intrieri C., Magnanini E. und Lakso A.N.: Effects of manipulated grape berry transpiration on post-veraison sugar accumulation. *Austr. J. Grape Wine Res.* 3, 57-65, 1997.
- Ruffner H.P.: Zuckerakkumulation in Trauben - eine neue Hypothese. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 133, 222, 1997.

### Recherches sur le foehn et la maturité du raisin

Le foehn est un phénomène naturel étroitement lié aux conditions climatiques dans les différentes régions de Suisse où il se manifeste. De par sa topographie, la vallée du Rhin est un lieu de prédilection tant pour la recherche sur le foehn que pour la viticulture. On ignore encore pratiquement tout du rôle joué par le foehn dans la maturation du raisin. Les mécanismes précis de son influence restent inexpliqués dans la mesure où l'on admet qu'elle doit aller au-delà d'un simple dessèchement des baies.

Ainsi, la ventilation artificielle à l'air chaud et sec n'a pas permis d'obtenir chez le raisin une accumulation comparable de sucre. En revanche, une élimination restreinte d'eau à travers la peau de la baie a nettement diminué les taux de sucre comme on pouvait s'y attendre. Sur la base de données expérimentales tirées de la littérature, on s'efforce d'étayer par des faits scientifiques l'effet de maturation du foehn traditionnellement connu.