

## Biokohle im Weinbau – Neueste Resultate

von Hans-Peter Schmidt  
und Claudio Niggli

**Zitierweise:** Schmidt HP, Niggli C:  
Biokohle im Weinbau – Neueste Resultate  
Ithaka Journal 1/2011: 41–52 (2011)  
www.ithaka-journal.net  
**Herausgeber:** Delinat-Institut für Ökologie und  
Klimafarming, CH-1974 Arbaz  
www.delinat-institut.org, www.ithaka-journal.net,  
ISSN 1663-0521

## Pflanzenkohle im Weinbau – Neueste Resultate

von Hans-Peter Schmidt und Claudio Niggli

Der Weinbau entwickelt sich immer deutlicher zur Pionierkultur der Pflanzenkohleforschung. In diesem Frühjahr wurden quer durch Europa großflächige Pflanzenkohleversuche im Weinbau angelegt. Die Hoffnungen sind groß und stützen sich nicht zuletzt auf die Resultate des bereits 2007/8 angelegten Großversuches am Delinat-Institut. Die neuesten Resultate bestätigen die Erwartungen, zeigen aber auch, dass erst der wissenschaftlich begleitete Einsatz in vielen verschiedenen Klimazonen und Bodentypen endgültigen Aufschluss über den Einfluss der Pflanzenkohle auf das Rebwachstum und die Weinqualität bringen wird.

In den letzten drei Jahren zeigte sich deutlich, dass biologisch aktivierte Pflanzenkohle nicht nur in den Tropen, sondern in allen untersuchten Bodentypen und Klimazonen positive Auswirkungen auf das Boden-Pflanzen-System aufweist (Crane-Droesch [eingereicht], Ogawa [2010], IBI [2011]). Während sich in trockenen oder saisonal trockenen Landwirtschaftszonen insbesondere die Wasserverfügbarkeit für Pflanzen und Mikroorganismen durch die Pflanzenkohle verbessert, spielt in niederschlagsreichen Anbauzonen die verbesserte Nährstoffdynamik und die Verhinderung von Nährstoffauswaschungen die größte Rolle. In extremen Klimazonen (Tropen oder Halbwüste) lassen sich daher teils spektakuläre Erntezuwächse verzeichnen, was insbe-

sondere darauf zurückzuführen ist, dass die Verfügbarkeit stark limitierender Elemente (Wasser in der Halbwüste; nicht ausgewaschene Nährstoffe in den Tropen) durch die Pufferleistung der Pflanzenkohle ausgeglichen wird.

In gemäßigten Klimazonen hingegen, wo kein solch extrem limitierendes Element ausgeglichen werden muss, sind die zu erzielenden Erntezuwächse geringer. Hinzu kommt, dass durch gezielte Düngemittelgaben und Saatgutselektion in der traditionellen Landwirtschaft gemäßigter Klimazonen die physischen Wachstumsgrenzen vieler Pflanzenarten erreicht sind. In gemäßigten Klimazonen liegt der Vorteil des Einsatzes von Pflanzenkohle daher auch weniger im Ertragszuwachs, sondern in der Qualitätsverbesserung durch Optimierung der Pflanzenernährung. Hierbei stehen folgende Kriterien im Vordergrund:

- 1 Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Pflanzen und damit Reduktion von Pflanzenschutzmitteln
- 2 Stimulation der mikrobiellen Bodenaktivität und der Symbiosen zwischen Pflanzen und Bodenorganismen
- 3 Reduktion des Düngemiteleinsatzes durch Optimierung der Nährstoffversorgung, Limitierung der Nährstoffverluste
- 4 Verbesserung des Geschmacks und der Nährstoffgehalte des Ernteguts
- 5 Verbesserung der Haltbarkeitsdauer
- 6 Verringerung von Klimagasemissionen und Grundwasserbelastung



Standort des Pflanzenkohleversuches am Delinat-Institut  
(Foto Patrick Rey)

### Qualitätssteigerung durch Pflanzenkohle im Weinbau

Der Weinbau ist flächenmäßig die weltweit größte Landwirtschaftskultur, bei der die Qualität der Ernte im Verhältnis zum bloßen Ertrag den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit eines Gutes hat. Während sich Erntemengen von 8 bis 12 Tonnen pro Hektar, wie sie von den Kontrollorganen (AOC) vorgegeben werden, auf fast allen Standorten erreichen lassen, schwanken die Literpreise je nach Qualität zwischen 0,50 Euro und 20 Euro. Auch wenn Marketing und Lage des Weinbergs hierbei eine große Rolle spielen, so lässt sich doch durch Verbesserung der Traubenqualität die Gewinnspanne eines Betriebes leicht verdoppeln oder sogar um ein Mehrfaches steigern. Aus diesem Grund kommt dem Einsatz von Pflanzenkohle im Weinbau ein ganz besonderes Interesse zu und erklärt, weshalb der Weinbau in Europa mittlerweile eine klare Vorreiterposition bei der Umsetzung der Pflanzenkohleforschung in die

Praxis einnimmt. So wurden in diesem Jahr auf mehr als 15 Betrieben in allen wichtigen Weinbauregionen Europas Pflanzenkohlefeldversuche auf mehr als 15 Hektar angelegt.

Der erste große Feldversuch im Weinbau wurde bereits 2007/2008 am Delinat-Institut im schweizerischen Wallis angelegt. Jährlich werden hier umfassende Parameter an Pflanze, Boden und Lesegut aufgenommen und ausgewertet. Die Beschreibung des Versuchsaufbaus sowie die Resultate der vorausgehenden Jahrgänge finden Sie bei Niggli et al. (2010).

### Datenaufnahme – Methoden

Eine Beschreibung der Methoden bezüglich Blattstickstoffgehalt, Triebdurchmesser und Gescheinzahl sind Niggli (2009) zu entnehmen. Es folgen hier die Ergänzungen.

*Blattanalysen:* Pro Probe wurden 30 Blätter von 30 Rebstöcken

entnommen. Dabei wurde jeweils das dem zweiten Geschein gegenüberliegende Blatt (vom Fruchtriebanatz her gesehen) entnommen. Zeitpunkt der Probeentnahme war der 30. 8. 2009.

*Traubenanalysen:* Pro Probe wurden 400 Beeren entnommen. Diese wurden jeweils der zweiten Traube (vom Fruchtriebanatz her gesehen) aus dem Mittelbereich der Traube entnommen. In den Parzellen M/G/K wurden pro Stock jeweils 4 bis 6 Beeren von 4 bis 6 Trauben entnommen (ca. 80 Stöcke pro Probe). Bei Parzelle C jeweils 10 Beeren von 4 bis 6 Trauben (40 Stöcke insgesamt) Zeitpunkt war hier die Vollreife in der frühesten Parzelle (Cleg3), am 18. 10. 2010.

*Erntemengen:* Jeweils zum Erntetag wurde in den untersuchten Parzellen die gesamte selektionierte (nur einwandfreie Trauben) Ernte von 20 Stöcken gewogen.

*Phänologie:* Das Weichwerden der Beeren setzte im Untersuchungsgebiet in der letzten August-Woche ein. Die Datenauf-

nahmen zum Blatt-N erfolgten am 26. 8. 2010 die Blatt-Probenentnahme erfolgte am 30. 8. 2010

*Statistik:* Die Datensätze zu den Triebdurchmessern und Gescheinezahlen wurden mit einem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung getestet. Wenn die Annahme einer Normalverteilung nicht verworfen werden konnte, wurde ein zweiseitiger t-Test durchgeführt.

Der Versuch wurde in einer bis dahin konventionell bewirtschafteten Parzelle mit extrem erodiertem Boden angelegt. Die Versuchsparzelle beinhaltet 4 Varianten:

- 1 **spo:** Spontanbegrünung ohne Schnitt
- 2 **leg:** Leguminosenbegrünung ohne Kompostgabe
- 3 **leg/co:** Leguminosebegrünung mit einmaliger Kompostgabe
- 4 **leg/co/bc:** Leguminosenbegrünung, Kompost und Pflanzenkohle

Die einmalige Kompostgabe entsprach 40 m<sup>3</sup>/ha, die einmalige Pflanzenkohlegabe 10t/ha.

## Resultate

### Blattstickstoff (optisch)

Nach der optischen Methode zeigt die Pflanzenkohle-Variante den höchsten Blattstickstoff-Gehalt, die mit nur mit Leguminosen begrünte den niedrigsten (Abb. 1). Die Standardfehler bei leg/co und leg/co/bc sind verhältnismäßig groß.

### Mineralstoffversorgung nach Blattanalysen

Bei allen Hauptnährelementen liegen die Unterschiede zwischen leg/co und leg/co/bc im Bereich von 12% (N) bis 23% (Mg) (Abb. 2 und 3). Die Pflanzenkohlevariante zeigt bei Phosphor (P) leicht erhöhte Werte, bei allen anderen Nährelementen liegt sie nach Vanek (1978) und Fardossi (2001) im Optimalbe-

reich. Der Kalziumgehalt (Ca) im Blatt ist bei leg/co/bc erhöht. Richtet man sich nach den Optima von Spring et al. [2003], sieht die Bilanz für Magnesium und Kalium anders aus: Für Magnesium müsste man bei leg/co von einer Überversorgung ausgehen, in leg/co/bc von einer erhöhten Aufnahme. Für Kalium resultiert bei leg/co/bc eine Unterversorgung, bei leg/co sogar eine starke Unterversorgung.

In Bezug auf die Spurenelemente liegen beide Varianten im Normalbereich. Hier bewegen sich die Unterschiede im Bereich von 26% für Zink (Zn) bis 56% für Mangan (bezogen auf den niedrigeren Wert) (Abb. 4).

### Wuchskraft

Der Mittelwert der Triebdurchmesser ist bei spo am größten, unterscheidet sich aber nicht signifikant von leg/co/bc (zweiseitiger t-Test). Sowohl leg/co als auch leg zeigen signifikant niedrigere Triebdurchmesser als spo und leg/co/bc (Abb. 5).

### Gescheinansatz

Die Anzahl Gescheine ist bei spo am höchsten und signifikant höher als bei den anderen Varianten, leg/co und leg/co/bc unterscheiden sich nicht signifikant (Abb. 6).

### Erntemenge

Die vinifizierbare Ernte ist bei leg/co/bc am größten, rund doppelt so hoch wie bei spo und fast dreimal so hoch wie bei leg/co (Abb. 7).

### Traubenqualität

Die Gehalte an Anthocyanen und Säuren zeigen die größten Unterschiede zwischen den Varianten. Für leg/co/bc ist der höchste Anthocyanengehalt zu verzeichnen, bei spo der geringste. Die Gesamtsäure und die Apfelsäure sind bei der Pflanzenkohle

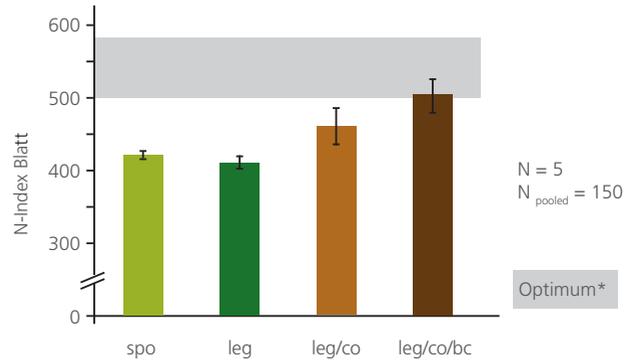
variante deutlich geringer, bei spo am höchsten. leg/co liegt dazwischen. Die Unterschiede im Polyphenol- und im Kaliumgehalt zwischen den Varianten sind geringer als 10% (Abb. 8).

## Diskussion

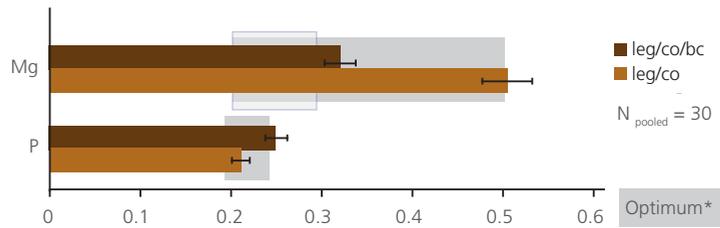
Die Reben der Versuchsparzelle zeigen in Teilen der Bepflanzung immer wieder ausgeprägte Trockenstress-Symptome in niederschlagsarmen Sommerperioden (Vergilbung der ältesten Blätter). Wir schließen daraus, dass der Untergrund wenig tiefgründig ist. Es wird zudem vermutet, dass eine gewisse Varianz der Untergrundstruktur innerhalb der Versuchsfläche vorliegt, was die teilweise recht hohe Varianz der Resultate erklären könnte (Abb. 7).

### Blattstickstoff

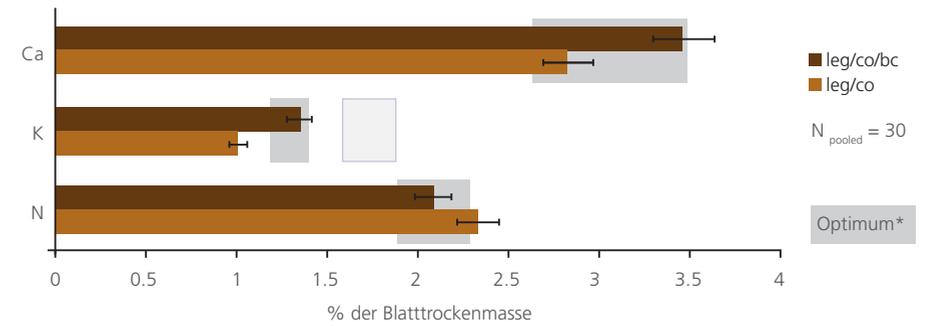
Die sehr niedrigen Werte bei der Variante spontan sind auf den stark erodierten Boden sowie die fehlende Düngung im Versuchszeitraum zurückzuführen. Die N-Reserven aus Düngungen vor dem Versuchsbeginn scheinen bereits aufgebraucht. Bei der Variante leg stellt offenbar auch im 3. Jahr nach der Ansaat die Begrünung einen starken Konkurrenzfaktor dar. Der große Unterschied im Vergleich zu leg/co, leg/co/bc und anderen dauerbegrünten Versuchspartzen ist am ehesten in der Flachgründigkeit des Bodens und der stärkeren Exposition zu suchen. Die gute N-Versorgung in der Pflanzenkohle-Variante könnte primär auf die Begrünung und nur sekundär auf eine direkte Wirkung der Pflanzenkohle zurückzuführen sein: Die angenommene Erhöhung der Wasserspeicherkapazität führte allgemein zu einer erhöhten Produktivität der Begrünung und auch der biologischen Aktivität des Bodens, was eine bessere Nährstoffmineralisierung zur Folge hat.



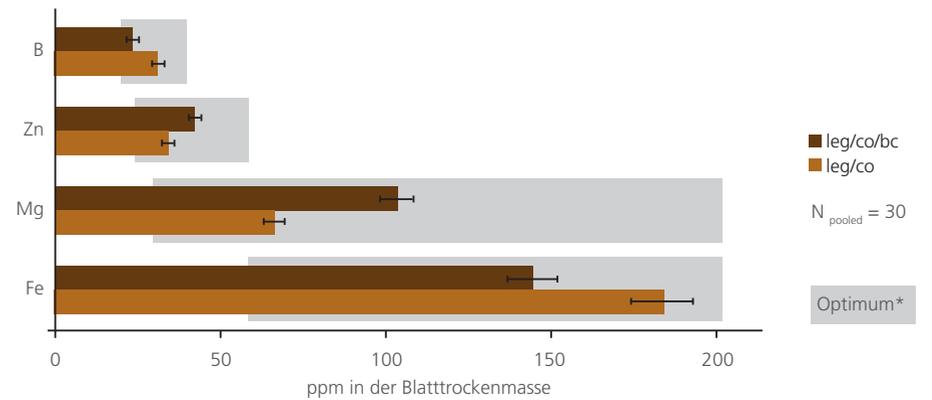
**Abb. 1:** Stickstoff(N)-Indices der Blätter (Yara N-Tester).  
 spo: Spontanbegrünung ohne Schnitt; leg: Leguminosenbegrünung ohne Kompostgabe; eg/co: Leguminosenbegrünung mit einmaliger Kompostgabe; leg/co/bc: Leguminosenbegrünung, Kompost und Pflanzenkohle.  
 Fehlerbalken 5%. \*Die Markierung bezieht sich auf das Optimum nach Fardossi (1978) und Vanek (2001)



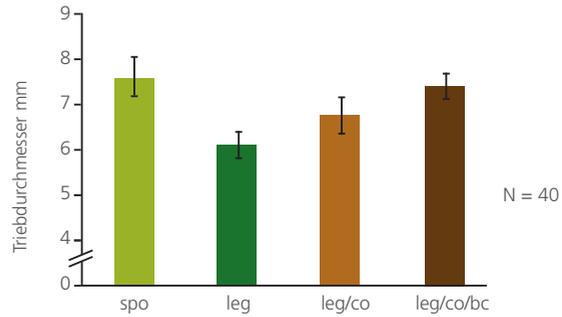
**Abb. 3:** Gehalt an Magnesium (Mg) und Phosphor (P) in den Rebblättern. Fehlerbalken 5%. \*Die gerahmte Markierung des Optimums entspricht den Angaben des Agroscope Changins (Spring et al. 2003), die nicht umrahmte Markierung bezieht sich auf das Optimum nach Fardossi (1978) und Vanek (2001)



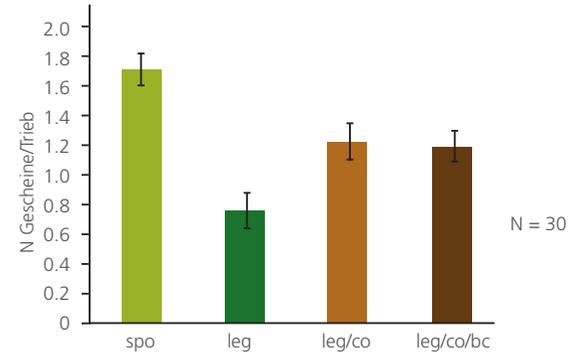
**Abb. 2:** Gehalt an Kalzium (Ca), Kalium (K) und Stickstoff (N) in den Rebblättern. Fehlerbalken 5%. \*Die gerahmte Markierung des Optimums entspricht den Angaben des Agroscope Changins (Spring et al. 2003), die nicht umrahmte Markierung bezieht sich auf das Optimum nach Fardossi (1978) und Vanek (2001)



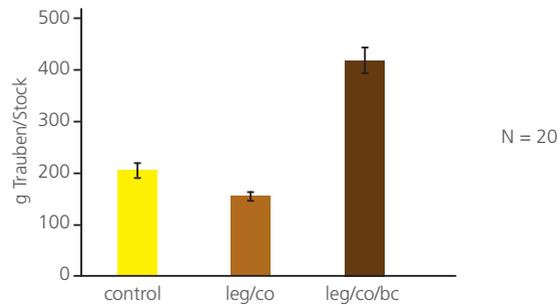
**Abb. 4:** Gehalt an Bor (B), Zink (Zn), Mangan (Mg) und Eisen (Fe) in den Rebblättern. Fehlerbalken 5%. \*Die Markierung bezieht sich auf das Optimum nach Fardossi (1978) und Vanek (2001)



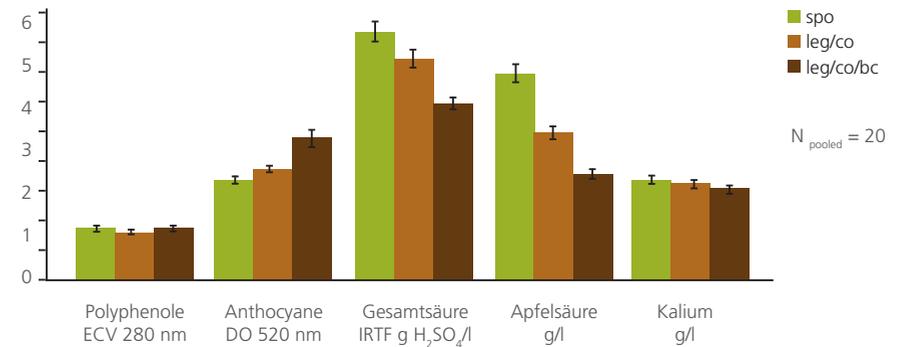
**Abb. 5:** Mittlere Wuchskraft der Reben.  
spo: Spontanbegrünung ohne Schnitt; leg: Leguminosenbegrünung ohne Kompostgabe; eg/co: Leguminosebegrünung mit einmaliger Kompostgabe; leg/co/bc: Leguminosenbegrünung, Kompost und Pflanzenkohle. Fehlerbalken 5%



**Abb. 6:** Mittlere Gescheinzahl pro Rebtrieb.  
spo: Spontanbegrünung ohne Schnitt; leg: Leguminosenbegrünung ohne Kompostgabe; eg/co: Leguminosebegrünung mit einmaliger Kompostgabe; leg/co/bc: Leguminosenbegrünung, Kompost und Pflanzenkohle. Fehlerbalken 5%



**Abb. 7:** Mittlere Erntemengen.  
spo: Spontanbegrünung ohne Schnitt; leg: Leguminosenbegrünung ohne Kompostgabe; eg/co: Leguminosebegrünung mit einmaliger Kompostgabe; leg/co/bc: Leguminosenbegrünung, Kompost und Pflanzenkohle. Fehlerbalken 5%



**Abb. 8:** Mittlerer Gehalt verschiedener Inhaltsstoffen im Traubengut.  
Fehlerbalken 5%

In bestehenden Kulturen kann die Pflanzenkohle nicht tief in den Boden eingearbeitet werden, da sonst das Wurzelwerk und das Bodenleben massiv gestört würden. Reben bilden als Tiefwurzler besonders in begrüntem, minimal bewässerten Parzellen nur relativ wenige Wurzeln in den oberflächennahen Bodenschichten aus. So kann in der Umstellungsphase vor allem die Begrünung unmittelbar von der Pflanzenkohle profitieren, wodurch die Rebkultur vor allem indirekt über die verstärkte Leistung der leguminosereichen Gründüngung sowie die verminderte Konkurrenz mit der Begrünung um Wasser und Nährstoffe bevorteilt wird. Durch die biologische Aktivierung des Bodens gelangen mit der Zeit Partikel aus der feineren Kohlefraktion auch in tiefere Bodenschichten. Der direkte Zugang der Rebwurzeln zu den Pflanzenkohlestrukturen sollte also dank der Arbeit von wühlenden Destruenten wie Regenwürmern, welche das Erdreich auch in der Vertikalen durchmischen, mit den Jahren zunehmen.

Nach Kammann [2010] und Van Zwieten [2009] kann vermutet werden, dass sich durch die Pflanzenkohle die Nitrifikationsleistung im Boden deutlich verbessert, wodurch weniger Stickstoff durch Ausgasung verloren geht und als Nitrat in gut pflanzenverfügbarer Form vorliegt. Durch die hohe Kationenaustauschkapazität werden zudem Ammonium und Aminosäuren an den Oberflächen der Pflanzenkohle fixiert, wodurch deren Auswaschung verhindert oder zumindest gebremst wird.

#### Blattanalysen

Bezüglich der N-Gehalte der Blätter ergibt sich ein scheinbarer Widerspruch zu den spektralen N-Indices in den Blättern. Da die Blätter der Variante leg/co aber deutlich geringere Calcium-Werte aufweisen als bei leg/co/bc, könnte dadurch der relative N-Gehalt in leg/co positiv beeinflusst sein. Zudem ist die von

den Labors vorgeschlagenen Teilstichprobengröße von 30 bei den gegebenen Schwankungen zwischen Blättern und auch Rebindividuen sehr wahrscheinlich zu gering für methodenübergreifende Vergleiche. Diese Stichprobengröße soll im Zuge weiterer Analysen erhöht werden.

Die höheren Gehalte von Kalium, Phosphor und Calcium in leg/co/bc sind wohl am ehesten auf den erhöhten Gehalt dieser beiden Elemente in der Pflanzenkohle zurückzuführen. Die bessere Phosphorverfügbarkeit liegt zudem wohl in dem durch die Pflanzenkohle begünstigten Biomasseumsatz der Begrünung begründet. Leguminosen sind relativ phosphorbedürftig, was zu einer erhöhten Mobilisierung, Fixierung und bei genügend hoher Bodenaktivität dann auch Remineralisierung des Elementes führt.

#### Wuchskraft

Die Wuchskraft korreliert bei der Variante spo wenig mit den gemessenen Blattstickstoffwerten. Die für das Sproßwachstum limitierenden Elemente sind offenbar noch besser verfügbar als Stickstoff, der für das Blattwachstum und den Blattmetabolismus von größerer Bedeutung ist. In den anderen Varianten entsprechen die Werte den Erwartungen, die man von den Blattstickstoffwerten ableiten kann.

#### Gescheineansatz

Die Resultate lassen vermuten, dass die Versorgung der Rebe mit den für die Blütenbildung wichtigen Elementen in der spontan (sehr spärlich) begrüntem Kontrolle spo zu den benötigten Zeitpunkten besser ist als in den anderen Varianten.

Die Gescheinzahl in der Pflanzenkohle-Variante ist trotz höherer K- und P-Gehalte in den Blättern nicht größer als bei leg/co. Es ist also anzunehmen, dass die Verfügbarkeit in den für

die Blütenbildung kritischen Phasen entscheidend ist und weniger auf eine eindeutige und grundsätzliche Mangelsituation zurückgeht. Hier verstärkt sich der Verdacht, dass die Begrünung im Versuchsgebiet besonders als K-Konkurrenz fungiert.

#### Erntemenge

Die hohen Erntemengen bei leg/co/bc im Vergleich zu leg/co decken sich mit der ausgewogeneren Nährstoffversorgung gemäß den Blattanalysen, wobei die Verfügbarkeit am ehesten im besseren Wasserhaushalt dank der Pflanzenkohle und auch im höheren Biomasseumsatz des begrüntem, reaktivierten Bodens begründet liegt. Die Variante spo hat trotz sehr guten Gescheineansatzes eine niedrige Ernte gebracht, weil der Befall durch Oidium und Peronospora sehr stark ausgefallen ist. Dies deckt sich mit der Erkenntnis der Metastudie, welche gezeigt hat, dass eine strategische Begrünung in den allermeisten Fällen den Krankheitsdruck vermindert (Flügel 2009). Diese Beobachtung wird durch systematische Datenaufnahmen im nächsten Jahr überprüft.

#### Erntequalität

Die nach Blattanalysen deutlich bessere (aber immer noch niedrige) K-Versorgung in leg/co/bc drückt sich im Traubengut nicht durch höhere Gehalte aus. Alle Varianten sind auf einem hohen Kalium-Niveau.

Die massiven Unterschiede im Säuregehalt sind schwierig zu erklären. Bei spo hat wohl der starke Oidium-Befall und die deutliche Unterversorgung der Reben mit Stickstoff zum Zeitpunkt der Veraison den Reifungsprozess der Beeren gebremst. Die geringeren Säuregehalte sind für den erzeugten Pinot Noir erwünscht. Es bleibt allerdings zu überprüfen, ob die Senkung der Säurewerte eine generelle Tendenz auch bei

Standorte der vom Delinat-Institut angelegten Pflanzenkohleversuche im Weinbau.



anderen Rebsorten und Klimata ist, was dann nicht in jedem Fall erwünscht wäre.

Die totalen N-Gehalte in den Trauben entsprechen in etwa den Erwartungen, welche man von den Blatt-Stickstoff-Werten ableiten kann. Interessant ist, dass in der Pflanzenkohlevariante deutlich mehr Stickstoff in Form von Aminosäuren in die Beeren eingelagert worden ist, sowohl absolut als auch relativ zu  $\text{NH}_4^+$ . Höherer N-Gehalt in Form von Aminosäuren ist ein Qualitätsparameter, der sowohl für eine höhere Resistenz der Trauben gegenüber Pathogenen spricht, als auch für die Hefeernährung während der Gärung von Bedeutung ist. Die signifikante Zunahme von Amino-N in den Trauben bestätigt die Resultate der vorhergehenden Versuchsjahre.

Der Gehalt an Anthocyanen ist in der Pflanzenkohlevariante signifikant höher und bestätigt die Resultate der vorhergehenden Jahrgänge. Die Erhöhung der Anthocyanengehalte ist sowohl für die Farb- als auch die Geschmacksentwicklung des Pinot-Noir-

Weins von hoher Qualitätsrelevanz. Sie könnten zudem den geringeren Befall durch *Oidium*, *Peronospora* und *Botrytis* erklären.

### Schlussfolgerungen

Die 2010 erhobenen Daten des Pflanzenkohle-Versuches bestätigen die Ergebnisse der Vorjahre und zeigen, dass der Einsatz von Pflanzenkohle in Bezug auf sämtliche Parameter einen Einfluss zeigt, welcher in den meisten Fällen signifikant ist. Aufgrund der deutlich verbesserten Traubengesundheit, höherer Anthocyan-, höherer Amino-N- und niedrigerer Säurewerte lässt sich eine verbesserte Weinqualität bei der Pflanzenkohlevariante erwarten. Es bestätigt sich die in der Fachliteratur geäußerte Vermutung (Lehmann 2003), dass sich die Nährstoffaufnahme der Pflanze in den jeweiligen Optimalbereich verschiebt. Dies bedeutet für einige Elemente eine zunehmende und für andere eine abnehmende Aufnahme.

Trotz dieser deutlich positiven Tendenzen ist es noch zu früh, aus diesem einen Versuch Verallgemeinerungen auf den Weinbau insgesamt zu ziehen. Die Einflüsse von Bodentyp, Klima, Rebsorte, Sekundärvegetation und mikrobieller Besiedelung sind zu groß, um von einem spezifischen Terroir bereits auf andere Standorte schließen zu können. Aus diesem Grund wurden im Frühjahr 2011 zahlreiche großflächige Feldversuche in verschiedensten Weinbauregionen mit verschiedenen Rebsorten angelegt. Bei diesem Großversuch wurde jeweils die gleiche Pflanzenkohle in gleicher Konzentration (10t/ha) und mit gleicher Aufladungsart (siehe: Aktivierung von Pflanzenkohle) eingesetzt. Die Datenaufnahme wird nach den gleichen Methoden wie im obigen Versuch durchgeführt. Erst aus diesem großen Serienversuch werden verlässliche Resultate gewonnen werden können, auf Grund derer eine Verallgemeinerung auf den Weinbau insgesamt möglich werden sollte.

**Literaturverzeichnis**

- Crane-Droesch A, Abiven S, Torn MS, Schmidt MW: *A Meta-Analysis of Plant Biomass Response to Biochar, with Implications for Climate Change Mitigation via Biosequestration*, submitted
- Fardossi A: *Aspekte der Rebernährung in der Praxis, Beratung und Forschung*. Der Winzer 2001/6: 6 – 14 (2001)
- Flügel I: *Gesunder Weinberg durch Begrünung: Erfolgsfaktoren für eine hohe Weinqualität in Weinanbau*, VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken (2007)
- IBI – *Projecte Profils – Herausragende Beispiele für den Einsatz von Biokohle aus der Praxis*. (<http://www.biochar-international.org/projects/practitioner/profiles>) (2011)
- Kammann C.: *Biokohle in Böden: C-Sequestrierungsoption und Veränderung der N<sub>2</sub>O-Emissionen nach Biokohleapplikation*. In: S. D. KTBL (S. Wulf (Ed.), *Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden*. KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Kloster Banz, Bad Staffelstein, Germany (2010)
- Lehmann, J. et al., *Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments*. Plant Soil, 249, 343 – 357 (2003)
- Ogawa M, Okimori Y: *Pioneering works in biochar research*. Australian Journal of Soil Research (2010), 48, 489 – 500 (2010)
- Spring JL, Ryser JP, Schwarz JJ, Basler P, Bertschinger L, Häseli A: *Grundlagen für die Düngung der Reben*. Rev. suisse Vitic., Arboric., Hortic. 35 (4), 24 S. (2003)
- Vanek, G.: *Diagnostische Möglichkeiten von Rebernährungsstörungen. Symptomatik und chemische Blattanalysen – die Blattdiagnostik*. Weinwissenschaft 33: 15 – 35 (1978).
- Van Zwieten L, Singh B, Joseph S, Kimber S, Cowie A, Chan Ky: *Biochar and emissions of non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases from soil*. In: Lehmann J, Joseph S (Eds). *Biochar for environmental management – science and technology*. earthscan, London 227 – 249 (2009)