

Produktqualität von Salatrauke

Wie wirken Einstrahlungsintensität, N-Angebot, Düngungsart und Hornkieselapplikation auf Wachstum und Differenzierung?

Miriam Athmann^{1,2},
Jürgen Fritsch^{1,3},
Ulrich Köpke¹

1: Institut für Organischen
Landbau, Universität Bonn,
Katzenburgweg 3, 53115 Bonn

2: Institut für Nutzpflanzen-
wissenschaften und Ressour-
censchutz – Lehrstuhl Agrar-
und Produktionsökologie /
Organischer Landbau,
Universität Bonn,
Auf dem Hügel 6, 53121 Bonn

3: Fachgebiet Ökologischer
Land- und Pflanzenbau,
Universität Kassel,
Nordbahnhofstraße 1a,
37213 Witzenhausen

Biologisch-dynamische Lebensmittel stehen für hohe Produktqualität. Dementsprechend ist Qualität Leitlinie in Züchtung, Anbau und Verarbeitung. Während gemeinhin in der Forschung der Fokus auf der ernährungsphysiologischen Qualität (Gehalte wertgebender Inhaltsstoffe) sowie der technologischen Qualität (z. B. Backeigenschaften) liegt, ergibt sich aus dem systemorientierten Ansatz des Biologisch-dynamischen Landbaus ein erweitertes Qualitätsverständnis: Pflanzliche Nahrungsmittel werden als Resultat der während der Entwicklung abgelaufenen, durch Umwelt und pflanzenbauliche Maßnahmen modifizierten Wachstums- und Differenzierungsprozesse

betrachtet (Balzer-Graf und Balzer 1991). Dementsprechend wurden Auswirkungen von Umweltfaktoren, Düngungsart und Kompost- und Feldpräparaten auf die Qualität der Ernteprodukte umfassend untersucht, z. B. von Klett (1968), Klein (1968), Schuphan (1974), und von Wistinghausen (1979). Die Autoren stellten bei verschiedenen Getreide- und Gemüsearten eine einseitig wachstumsfördernde Wirkung durch hohe Stickstoffdüngung, aber auch durch Beschattung oder mineralische Düngung im Vergleich zu organischer fest. Morphologische und stoffliche Differenzierung, z. B. differenzierte Blattformen oder relative Eiweißgehalte, wurden durch

- a) hohe Einstrahlungsintensität,
- b) niedrige Stickstoffdüngung,
- c) organische im Vergleich zu mineralischer Düngung oder
- d) biodynamisches Hornkieselpräparat erhöht.

Qualitätssteigerungen nach Hornkieselapplikation wurden dabei, wie auch bei anderen Autoren, vor allem bei suboptimalen Wachstumsbedingungen beobachtet.

Qualität als Funktion von Licht- und Schattenprozessen

Aus den Ergebnissen der genannten Autoren wurden grundlegende Wirkungen verschiedener Umweltbedingungen abgeleitet: Die anthropogen beeinflussbaren Faktoren Wasser, Humus und Stickstoff wirken vor allem wachstums- und ertragsfördernd. Von den über die Sonneneinstrahlung natürlich gegebenen Faktoren Licht und Wärme geht eine morphologisch und stofflich differenzierende und reifefördernde Wirkung aus. Auf Grundlage dieser Zusammenhänge wurde ein Modell der Qualitätsbildung entwickelt, das äußere Form und innere Zusammensetzung pflanzlicher Nahrungsmittel als Funktion der natürlichen und anthropogen beeinflussbaren Umweltfaktoren skizziert (Tabelle 1).

Hohe Produktqualität entsteht bei ausgewogener Einwirkung von Licht und Stickstoff. Dementsprechend beschreiben Bloksma et al. (2007) hohe Integration, d.h. ein

Tabelle 1: Produktqualität als Funktion natürlicher und anthropogener Einflüsse

(Nach Schaumann (1972) und Koepp (o.J.), modifiziert und ergänzt)

Parameter	Einseitiger Einfluss von Wasser, Humus, Stickstoff	Licht und Wärme
pflanzliche Entwicklung	vegetative Prozesse gefördert Reifung verzögert Blattmetamorphose verzögert	reproduktive Prozesse gefördert Frühreife Blattmetamorphose gefördert
Form / Morphologie	flache, verzweigte Wurzeln große, dünne, lange Blätter	tiefe, wenig verzweigte Wurzeln kleine, dicke, kurze Blätter
Schädlinge und Krankheiten	pathogene Pilze dominieren Strategie der Pflanze: überwachsen	Insekten – Schaderreger dominieren Strategie der Pflanze: sekundäre Pflanzenstoffe
Zusammensetzung / Gehalte		
Trockenmasse	niedrig	hoch
Rohprotein	hoch	niedrig
Reinprotein	niedrig	noch
Nitrat, Amide, freie Aminosäuren	noch	niedrig
Vitamine	Vitamin A: hoch	Vitamin C: hoch
Verhältnis C-/N-basierter Inhaltsstoffe	niedrig	hoch
Verhältnis sek./primärer Metabolite	niedrig	hoch
Geruch und Geschmack	schwach	ausgeprägt
Lagerfähigkeit	gering	hoch



ausgewogenes Verhältnis von Wachstum und Differenzierung, als Voraussetzung für hohe Qualität.

Durch Düngung wird das Verhältnis von Einstrahlungsintensität und Stickstoffangebot beeinflusst. Konventionelle N-Düngung ist auf vollständige Ausnutzung der photosynthetisch nutzbaren Lichtenergie und damit auf Ertragsmaximierung ausgerichtet und fördert so einseitig Wachstum in Form von Masse. Die natürlich begrenzte N-Verfügbarkeit im Organischen Landbau müsste sich positiv auf Differenzierungsprozesse auswirken, da mehr Assimilate für Sekundärstoffwechsel und Ausreifung zur Verfügung stehen (Brandt und Mølgaard 2001). In der Biologisch-dynamischen Wirtschaftsweise werden zusätzlich die Kompost- und Feldpräparate für die Integration von Wachstum und Differenzierung im Sinne einer harmonischen pflanzlichen Entwicklung eingesetzt.

Versuchsfrage

Im Rahmen einer am Institut für Organischen Landbau angefertigten Dissertation (Athmann 2011) wurde der Versuch unternommen, den komplexen Prozess der Qualitätsbildung pflanzlicher Nahrungsmittel mit einer mehrfaktoriellen

Versuchsanstellung an Weizen und Salatrauke abzubilden. Einige Ergebnisse für Salatrauke werden im Folgenden beschrieben. Die Zielsetzung war

- a) Produktqualität als Funktion von Einstrahlungsintensität und Stickstoffangebot darzustellen, und
- b) die Auswirkungen verschiedener Düngungsarten (mineralische Düngung, Stallmist, Stallmist + Kompostpräparate) sowie des Hornkieselpräparates auf Wachstum, Differenzierung und Integration zu untersuchen.

Auf diese Weise sollte überprüft werden, ob Unterschiede in der Morphologie und in der inhaltstofflichen Zusammensetzung zwischen organisch und mineralisch gedüngten Pflanzen als Folge eines veränderten Verhältnisses von Einstrahlungsintensität und Stickstoffangebot erklärt werden können. Der mehrfaktorielle Versuchsaufbau wurde darüber hinaus dazu genutzt, mögliche Effekte des Hornkieselpräparates auf Wachstum, Differenzierung und Integration dieser beiden Prozesse in einer großen Variationsbreite von Umweltbedingungen zu überprüfen.

Ergänzend zu den in Tabelle 1 aufgeführten pflanzenmorphologischen und inhaltstofflichen Parametern wurden die Bildschaffen-

den Methoden Kupferchloridkristallisation, Steigbildmethode und Rundfilterchromatografie eingesetzt. Qualitätsaussagen auf Basis der Ergebnisse der Bildschaffenden Methoden beruhen auf indirekten Korrelationen zu pflanzenphysiologischen Prozessen über Vergleichsreihen von Proben unterschiedlicher Reife- oder Alterungsstadien (Fritz et al. 2011, Doesburg et al. 2014). Frische und reife Proben sind durch ausgeprägte, harmonische Bildstrukturen gekennzeichnet, während gealterte oder unreife Proben weniger ausgeprägte Strukturen aufweisen. Bildschaffende Methoden beziehen das gesamte Pflanzengewebe ein und erfassen so Eigenschaften, die auf Ebene der Formbildung in der Interaktion der Komponenten wirken. So können Ungewogenheit bzw. Ungleichgewichte von Wachstums- und Differenzierungsprozessen vermutlich vollständiger erfasst werden als allein mit inhaltstofflichen Analysen.

Versuchsbeschreibung

In den Jahren 2008 und 2009 wurden Feldversuche mit Salatrauke (*Eruca sativa* L.) an der Lehr- und Forschungsstation für Organischen Landbau ‚Wiesengut‘ in Hennef/Sieg durchgeführt, als vierfaktori-

Abbildung 1: Licht bzw. Schatten als Wachstumfaktor im Zusammenhang mit Düngung und Hornkiesel: Feldversuch auf dem Wiesengut 2009

Dankagung
Wir danken der Software AG Stiftung, Darmstadt, der Mahle-Stiftung, Nürnberg, und dem Cusanuswerk, Bonn, für die finanzielle Unterstützung des Projekts, sowie Dieter Zedow, Institut für Organischen Landbau, Universität Bonn, und Uwe Ammermann, Abteilung Pflanzenbau, Universität Göttingen, für die Durchführung der chemischen Analysen.

Abbildung 2:
Versuchsvarianten
im Rundbild,
Versuchsjahr 2008.
Presssaft frisch 18 %, NaOH 0.07 %.



a) 100 % PAR N niedrig Mistkompost



b) 100 % PAR N niedrig Mineraldüngung



c) 100 % PAR N hoch Mistkompost



d) 100 % PAR N hoch Mineraldüngung



e) 55 % PAR N hoch Mistkompost



f) 55 % PAR N hoch Mineraldüngung

elle Spaltanlage mit vier Feldwiederholungen. Die Versuchsfaktoren waren

- a) Einstrahlungsintensität (100% photosynthetisch aktive Strahlung PAR, bzw. 55% PAR),
- b) N-Angebot (niedrig bzw. hoch),
- c) Düngungsart (Stallmistkompost bzw. Stallmistkompost + Kompostpräparate + Hornmistpräparat, sowie mineralische Düngung mit Kalkammonsalpeter, Kaliumchlorid und Triplesuperphosphat),
- d) Hornkieselapplikation (mit bzw. ohne).

Die Einstrahlung wurde in der Hälfte des Versuchs mit Beschattungsnetzen auf 55% PAR reduziert (Abb. 1). Die hohe N-Angebotsstufe war an Praxisempfehlungen orientiert. Mineralische und organische Düngung wurden auf gleiche N-Verfügbarkeit ausgerichtet. Unter der Annahme, dass für die bei-

den Stallmistvarianten 10% des enthaltenen Stickstoffs im Anwendungsjahr verfügbar werden, resultierten 60 kg mineralischer Stickstoffdünger und 58 t (2008) und 47 t (2009) Stallmistkompost in der hohen N-Angebotsstufe. Die niedrige N-Angebotsstufe lag bei 50% dieser Mengen. Insgesamt wurden 26 pflanzenmorphologische und inhaltsstoffliche Parameter analysiert, von denen hier nur einige präsentiert werden.

Ergebnisse und Diskussion

In beiden Jahren konnten die Parameter nach den Effekten der Versuchsfaktoren in zwei Gruppen klassifiziert werden (Tab. 2). Volle Einstrahlung vs. Beschattung und/oder niedriges vs. hohes N-Angebot und/oder die beiden organischen Düngungsarten vs. Mineraldüngung resultierten erwartungsgemäß

in geringerer Blattfläche und -länge sowie geringeren Nitratgehalten, und gleichzeitig in höheren Trockenmassengehalten, höherem C/N-Verhältnis und höheren Gehalten an Ascorbinsäure und Glucosinolaten.

Mit den bildschaffenden Methoden war die Differenzierung der Einstrahlungsintensitäten, N-Angebotsstufen und Düngungsarten möglich (Rundfilterchromatografie, Abb. 2): Bei voller Einstrahlung im Vergleich zu Beschattung (Abb. 2c+d vs. 2e+f), bei niedrigem im Vergleich zu hohem N-Angebot (Abb. 2a+b vs. c+d) sowie Mistkompost im Vergleich zu mineralischer Düngung (Abb. 2a,c,e vs. 2b,d,f) sind die Bildstrukturen ausgeprägter als in der jeweiligen Vergleichsvariante – bei Beschattung in der Randzone, bei N-Angebot und Düngungsart in der mittleren Zone. Auch Proben gealterter

Pflanzensäfte zeigen diese Strukturverluste.

Effekt des biodynamischen Hornkieselpräparates

Als Auswirkung der Hornkieselapplikation wurde eine Differenzierung und Integration steigende Wirkung angenommen, sowie in der Wechselwirkung mit den anderen Versuchsfaktoren eine die Effekte der jeweiligen Faktorkombination kompensierende Wirkung. Signifikante Hauptwirkungen der Hornkieselapplikation wurden bei insgesamt 79 Auswertungen nur in zwei Fällen festgestellt. Beide in der Hauptwirkung aufgetretenen Effekte (2008: höherer Trockenmassegehalt, 2009: höherer Ascorbinsäuregehalt) stehen in Übereinstimmung mit der erwarteten differenzierungsfördernden Wirkung. Da diese Effekte aber nur 2 % aller Fälle repräsentieren, liegen sie bezogen auf das gesamte untersuchte Parameterspektrum im Bereich der Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % und könnten demnach auch als zufällig betrachtet werden. In nur 17 Fällen traten signifikante Wechselwirkungen auf (Abb. 3). In neun dieser 17 Fälle zeigte sich die vermutete kompensierende Wirkung (z. B. niedrigerer Nitratgehalt 2008 nur in Kombination mit Beschattung und mineralischer Düngung, d. h. in der Faktorkombination mit den insgesamt höchsten Nitratgehalten). Insgesamt stehen die Ergebnisse nicht im Widerspruch zu den Eingangshypothesen, unterstützen diese aber nur eingeschränkt.

Eine Differenzierung der mit Hornkiesel behandelten Varianten war mit den papierchromatografischen Methoden im ersten Versuchsjahr nicht möglich. Auf das oben beschriebene analytische Kriterium der reinen Strukturausprägungsintensität hatte das Präparat keinen

Einfluss. Im zweiten Versuchsjahr lag der Schwerpunkt für die Untersuchung des Faktors Hornkiesel auf der Kupferchloridkristallisation. Im Gegensatz zu anderen, uns gut bekannten Pflanzen wie Weizen, waren die Kristallbilder der Salattrauke bezogen auf die analytischen Strukturkriterien wie Feinheit und Dichte der Nadelzüge sehr heterogen. Unterschiede traten aber auf Ebene der Bildgestalt auf, d. h. bei Kriterien, die nicht summarisch durch Auswertung einzelner analytischer Kriterien beschrieben werden können (vgl. Doesburg et al. 2014): Die Bilder der mit Hornkiesel behandelten Proben zeichneten sich (jeweils verglichen mit den Bildern der bei gleicher Einstrahlungsintensität, N-Angebot und Düngungsart nicht behandelten Proben) durch eine markantere ‚Durchstrahlung‘ und eine größere Bildtiefe aus. Anhand dieser Kriterien wurden im Versuchsjahr 2009 alle vier untersuchten mit Hornkiesel behandelten verschlüsselten Proben korrekt identifiziert. Innerhalb des internationalen Forschungskonsortiums GESTE-3 wird derzeit geprüft, ob die Identifizierung der Hornkieselvarianten anhand der Gestaltauswertungskriterien auch mit einem geschulten Panel möglich ist.

Die Ergebnisse der morphologischen und inhaltsstofflichen Para-

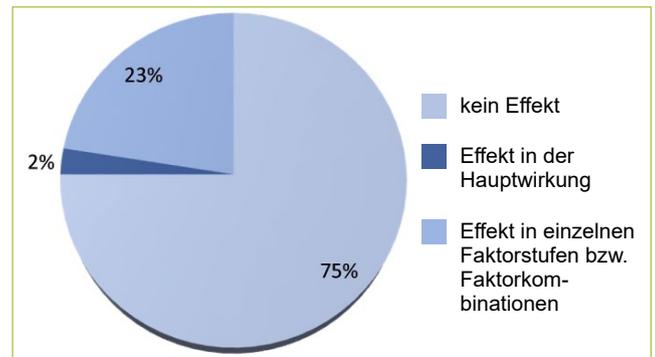


Abbildung 3: Anteil signifikanter Effekte der Hornkieselapplikation in den einzelnen Parameterauswertungen.

meter unterstützen das in Tabelle 1 dargestellte Qualitätsmodell. Blattfläche und -länge zeigten Zellvergrößerung und gesteigertes Wachstum an. Diese Parameter wurden durch a) volle Sonneneinstrahlung vs. Beschattung, b) niedriges vs. hohes N-Angebot und c) Stallmistkompost vs. mineralische Düngung reduziert. Im Gegensatz dazu wurden gemäß der Hypothese der Trockenmassegehalt, das C/N-Verhältnis und das Verhältnis aus sekundären zu primären Metaboliten als Indikatoren für Differenzierung erhöht. Die Förderung morphologischer und chemischer Differenzierung resultierte in Eigenschaften, die mit einem höheren ernährungsphysiologischen Wert des Produktes verbunden werden: hoher Vitamin-C-Gehalt, hoher Glucosinolatgehalt und geringer Nitratgehalt.

Tabelle 2: Ergebnisse für ausgewählte morphologische und inhaltsstoffliche Qualitätsparameter

Parameter	100% PAR vs. 55% PAR		N niedrig vs. N hoch		Stallmistkompost vs. Mineraldüngung	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
	Morphologie					
Einzelblattfläche	+11	-13*	-31*	-15*	-35*	-5
Blattlänge	-9	-16*	-18	-15*	-23	-3
Trockenmasse %	+19	+18*	+20	+12*	+7	+8*
Inhaltsstoffe						
Nitrat1	-136	-74*	-53*	-21	-108	-7
C/N	+11*	+17	+12	+7	+9	+6
Ascorbinsäure1	+29	+18	+10	+22*	+18*	+21*
Glucosinolate1	+18	+3	+5	+28*	-9	+24*

Die Werte geben die prozentualen Unterschiede des ersten Parameters (z.B. 100 %) zum zweiten (z.B. 55 %) an. 1: auf Frischmassebasis. PAR: photosynthetisch aktive Strahlung. *: signifikant (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$).

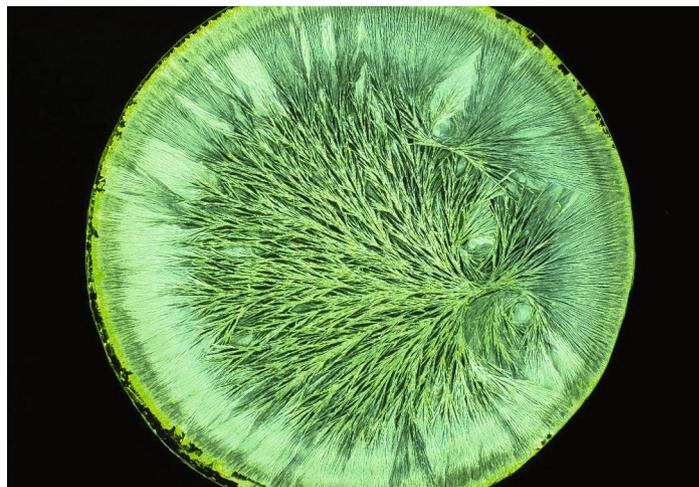
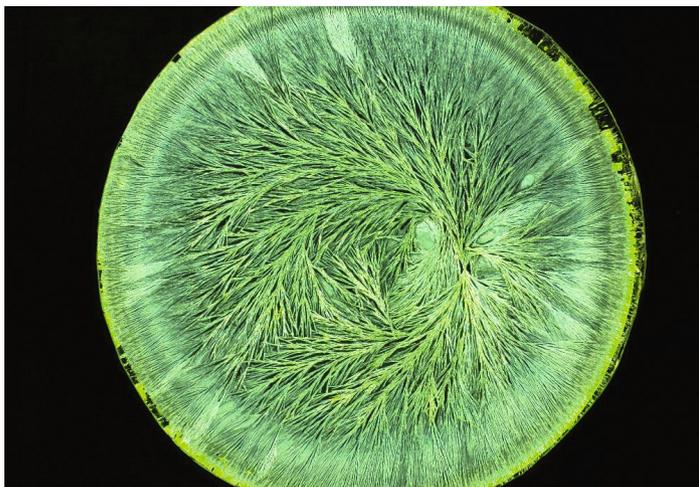


Abbildung 4: Versuchsvarianten im Kristallbild, Versuchsjahr 2008. Die Proben unterscheiden sich nur in Bezug auf den Faktor Hornkieselapplikation (links mit, rechts ohne; beide: volle Einstrahlung, hohes N-Angebot, Stallmist + Kompostpräparate).

Fazit: Stickstoffangebot und Lichtintensität wirken auf Qualitätsparameter

Insgesamt betrachtet ist festzustellen, dass die Produktqualität als Funktion von Einstrahlung und N-Angebot entsprechend der Hypothese beeinflusst wurde, und Unterschiede zwischen Produkten aus ökologischer und konventioneller Erzeugung auf diese Weise erklärt werden können. Das Modell kann

für andere Pflanzen angepasst werden. Für andere Gemüse- und Getreidearten sowie Kartoffeln können geeignete Qualitätsparameter mit Bezug zu Wachstum und Differenzierung definiert werden, wie z. B. erfolgreich durchgeführt für Weintrauben (Meissner 2017).

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass auf morphologischer und inhaltsstofflicher Ebene die Wirkungen des Hornkieselpräparates

mit den geprüften Parametern nur unzureichend erfasst wurden. Mit den bildschaffenden Methoden wurden hingegen deutliche Auswirkungen des Präparates festgestellt. Sie werden als Ausdruck der Selbstorganisationsfähigkeit der Pflanzen betrachtet (Kahl 2006). Die Bedeutung dieser Eigenschaft für die Gesundheit von Pflanze, Tier und Mensch bedarf weiterer Forschung. ●

Quellen

- ATHMANN M. (2011): Produktqualität von Salattraube (*Eruca sativa* L.) und Weizen (*Triticum aestivum* L.): Einfluss von Einstrahlung, Stickstoffangebot, Düngungsart und Hornkieselapplikation auf Wachstum und Differenzierung. Dissertation Universität Bonn, 310 S. • BALZER-GRAF U., BALZER F. (1991): Steigbild und Kupferchloridkristallisation – Spiegel der Vitalaktivität von Lebensmitteln. In: Meier-Ploeger, A. & Vogtmann H. (Hrsg.): Lebensmittelqualität. Komplementäre Methoden und Konzepte. C.F. Müller Karlsruhe, 2. Aufl. 163–210 • BLOKSMA J., NORTHOLT M., HUBER M., VAN DER BURGH G.J., VAN DE VUIVER L. (2007): A new food quality concept based on life processes. In: Cooper J., Niggli U., Leifert C. (eds.): Handbook of organic food safety and quality. Woodhead Publishing, Cambridge, England: 53–73 • BRANDT K., MØLGAARD J.P. (2001): Organic agriculture: does it enhance or reduce the nutritional value of plant foods? *J. Sci. Food Agric.* 81: 924–931 • DOESBURG P., HUBER M., ANDERSEN J. O., ATHMANN M., VAN DER BIE G., FRITZ J., GEIER U., HOEKMAN J., KAHL J., MERGARDT G., BUSSCHER N. (2014): Standardization and performance of a visual Gestalt evaluation of biocrystallization patterns reflecting ripening and decomposition processes in food samples. *Biological Agriculture & Horticulture* 31 (2): 128–145 • FRITZ J., ATHMANN M., KAUTZ T., KÖPKE U. (2011): Grouping and classification of wheat from organic and conventional production systems by combining three image forming methods. *Biological Agriculture & Horticulture* 27: 320–336 • KAHL J. (2006): Entwicklung, in-house Validierung und Anwendung des ganzheitlichen Verfahrens Biokristallisation für die Unterscheidung von Weizen-, Möhren- und Apfelproben aus unterschiedlichem Anbau und Verarbeitungsschritten. Habilitationsschrift, Universität Kassel, FB Ökologische Agrarwissenschaften • KLEIN, J. (1968): Der Einfluss verschiedener Düngungsarten in gestaffelter Dosierung auf Qualität und Haltbarkeit pflanzlicher Produkte. Institut für Biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt • KLETT, M. (1968): Untersuchungen über Licht- und Schattenqualität in Relation zum Anbau und Test von Kieselpräparaten zur Qualitätshebung. Institut für Biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt • KOEPEL, H.H. (ohne Jahr): Research in biodynamic agriculture: Methods and results. Michael Field's Agricultural Institute, East Troy, Wisconsin. Biodynamic Farming and Gardening Association Inc., P.O. Box 550, Kimberton, PA 19442, USA, 78 S. • MEISSNER, G. (2015): Untersuchungen zu verschiedenen Bewirtschaftungssystemen im Weinbau unter besonderer Berücksichtigung der biologisch-dynamischen Wirtschaftsweise und des Einsatzes der biologisch-dynamischen Präparate. Dissertation Universität Gießen, 210 S. • SCHAUMANN, W. (1972): Die Bildung der Pflanzenqualität als Ergebnis der Wirkungen von Sonne und Erde. *Lebendige Erde* 4: 2–8 • SCHUPHAN, W. (1974): Nutritional value of Crops as influenced by organic and inorganic fertilizer treatments – Results of 12 years' experiments with vegetables (1960–1972). *Qualitas Plantarum - Plant Foods for Human Nutrition* 23 (4): 333–358 • VON WISTINGHAUSEN, E. (1979): Was ist Qualität? Wie entsteht sie und wie ist sie nachzuweisen? Versuche zur Qualitätsfindung im Feldgemüsebau, Verlag Lebendige Erde, Darmstadt