

1 Einleitung

Innerhalb der genetischen Reaktionsnorm bildet die Pflanze die Umweltbedingungen ihres Wuchsortes ab. Die Reaktion erfolgt auf der Ebene der Morphologie und auf der Ebene der inhaltsstofflichen Zusammensetzung. Produktqualität wird während der gesamten Entwicklung im Zusammenspiel von Wachstum (Aufbau und Vermehrung der Pflanzenmasse) und Differenzierung (Form- und Funktionsänderung zur Anlage und Ausbildung der Pflanzenorgane und Bildung höhermolekularer Verbindungen) gebildet (BAEUMER 1992).

Wachstumsprozesse sind geprägt von der Aufnahme und Akkumulation niedermolekularer Verbindungen wie Nitrat als Grundbausteine für die Biomassebildung (Primärstoffwechsel). Im Sekundärstoffwechsel werden durch artspezifische Stoffumlagerungen komplexe höhermolekulare Substanzen gebildet. Nur eine Integration von Wachstum und Differenzierung, gekennzeichnet durch ein ausgewogenes Verhältnis von Primär- und Sekundärstoffwechsel in den einzelnen Entwicklungsphasen, führt zu vollständiger Ausreifung mit Stoffumlagerung in ertragsbildende Organe. Neben dem Aufbau von Nährstoffen, insbesondere Proteinen, wird auch die Bildung von Farb- und Aromastoffen und weiterer sekundärer Pflanzenstoffe wie z.B. Polyphenolen, Saponinen oder Glucosinolaten durch vollständige Ausreifung gefördert. Diese Syntheseprodukte haben nicht für jede Zelle, jedoch für den Organismus als Ganzes Bedeutung; sie sind eine integrale Leistung der differenzierten Pflanze (SCHOPFER & BRENNICKE 2006). Für den Menschen sind diese Verbindungen von hohem ernährungsphysiologischem Wert (WATZL & LEITZMANN 2005).

Wachstum und Differenzierung werden maßgeblich durch die Umweltfaktoren Sonneneinstrahlung sowie Nährstoffversorgung und Wasser bestimmt. Ein ausgewogenes Verhältnis der physiologischen Prozesse wird bei Wildpflanzen i.d.R. durch optimale Anpassung an die in ihren natürlichen Habitaten jeweils vorherrschenden Standortbedingungen im Zuge der Evolution gewährleistet.

Agrarökosysteme sind demgegenüber durch ein im Vergleich deutlich höheres Nährstoffangebot geprägt. Rascher als allein durch Evolution erfolgt die Anpassung an diese veränderten Bedingungen bei Kulturpflanzen durch gezielte Züchtung. Höhere Aufnahmekapazität für Nährstoffe, insbesondere Stickstoff, sowie eine starke Verschiebung der Allokation von Assimilaten zugunsten der ertragsbildenden Organe (hoher Ernteindex) sind Folgen dieser gezielten Adaptation durch den menschlichen Eingriff. Im Vergleich zu Wildpflanzen sind Standortbedingungen von Kulturpflanzen somit stärker wachstumsgeprägt, mit positiver Wirkung auf Ertrag und Gehalte an Grundnährstoffen. Züchterische Selektion führte in den vergangenen Jahrzehnten zu einer ausgeprägten Anpassung der Kulturpflanzen an nährstoffreiche Umwelten. Die veränderte Genetik und hohe Nährstoffversorgung können die Qualität in Agrarökosystemen negativ beeinflussen. Bei Mangel anderer Standortfaktoren,

insbesondere Licht und Wärme, kann der aufgenommene Stickstoff nicht immer vollständig zu pflanzen- und ernährungsphysiologisch günstigeren Höhermolekularen Verbindungen umgelagert werden – das Optimum der Nährstoffgabe liegt daher für den Inhaltsstoff in der Regel unter dem des Ertrags (WEICHMANN 2002).

Landwirtschaftliche Kulturmaßnahmen beeinflussen das Verhältnis von Einstrahlungsintensität und Stickstoffangebot und können Wachstums- und Differenzierungsprozesse in den verschiedenen pflanzlichen Entwicklungsstadien in unterschiedlichem Maße fördern oder hemmen. Während im konventionellen Landbau Züchtung und pflanzenbauliche Maßnahmen – insbesondere die vor allem wachstumsfördernde N-Düngung – auf vollständige Ausnutzung der photosynthetisch nutzbaren Lichtenergie und damit auf Ertragsmaximierung ausgerichtet sind (FISCHBECK 1997), unterliegt die Stickstoffverfügbarkeit im Organischen Landbau durch den Verzicht auf N-Mineraldünger natürlichen Begrenzungen, so dass Differenzierungsprozesse relativ verstärkt werden. Bei der in Agrarökosystemen allgemein hohen Nährstoffversorgung müsste sich der in Relation größere Differenzierungseinfluss unter den Bedingungen des Organischen Landbaus positiv auf die Integration von Wachstum und Differenzierung auswirken, da mehr Assimilate für Sekundärstoffwechsel und Ausreifung zur Verfügung stehen (BRANDT & MØLGAARD 2001).

Dem Leitbild des Organischen Landbaus gemäß soll durch Förderung der natürlich angelegten biologischen Eigenschaften und Lebensprozesse in der Pflanze und im Tier das natürliche Leistungsvermögen des Gesamtsystems gesteigert werden (KÖPKE 1997). Arttypische Entwicklung und ausgewogene physiologische Prozesse werden daher als wichtige Voraussetzung für hohe Produktqualität betrachtet (BALZER-GRAF & BALZER 1991). Speziell in der biologisch-dynamischen Wirtschaftsweise ist die Integration von Wachstum und Differenzierung im Sinne einer harmonischen pflanzlichen Entwicklung primäres Ziel der pflanzlichen Erzeugung. Dem in der biologisch-dynamischen Anbaupraxis eingesetzten Hornkieselpräparat wird eine Verstärkung des differenzierenden Lichteinflusses und damit eine tendenziell positive Wirkung auf Integration und Produktqualität zugeschrieben (KOEPPF et al. 1996).

Bisher fehlen im Organischen Landbau sowohl eine schlüssige Definition dieses Qualitätsbegriffes als auch Konzepte zu dessen Erfassung (vgl. KAHL et al. 2010a). Die wissenschaftliche Erfassung der Integration von Wachstum und Differenzierung als „Ausgewogenheit“ pflanzenphysiologischer Prozesse stellt eine große Herausforderung dar. Die derzeitigen offiziellen Standards der Qualitätsbewertung (EU-Normen und Codex Alimentarius der FAO/WHO) sind vorwiegend an Kriterien der äußeren Qualität und dem Gebrauchswert ausgerichtet (HUYSKENS-KEIL & SCHREINER 2003, GRUDA 2005). Vor allem aufgrund der gewandelten Verbraucheransprüche findet außerdem die inhaltsstoffliche Zusammensetzung des Endproduktes zunehmend Berücksichtigung (SCHREINER et al. 2000). Die Erfassung der Produktqualität als Resultat der Umweltbedingungen während der pflanzlichen Entwicklung bzw. mit Blick auf hohe

Integration von Wachstum und Differenzierung gelingt mit den derzeitigen Ansätzen nur unvollständig.

Sekundäre Pflanzenstoffe wie z.B. Glucosinolate können als inhaltsstoffliche Indikatoren für hohe Integration herangezogen werden; umgekehrt führt ungenügende Ausreifung zu Akkumulation niedermolekularer Verbindungen wie Nitrat. Je nach untersuchter Kulturpflanzenart können weitere inhaltsstoffliche Indikatoren für hohe bzw. ungenügende Integration ausgewählt werden. Aufgrund der für die Analyse nötigen Isolation der untersuchten Inhaltsstoffe können aber immer nur aus der Matrix des Pflanzengewebes herausgelöste Teilkomponenten erfasst werden. Eine Untersuchung qualitätsrelevanter Parameter ausschließlich mittels analytischer Verfahren wird der Komplexität biologischer Systeme daher nicht gerecht.

Lebendige Systeme sind in beständiger Entwicklung begriffen und können deshalb nur durch ihren gesamten Entwicklungsgang vollständig charakterisiert werden. Der Verlauf der pflanzlichen Ontogenese kann durch die Erfassung morphologischer Parameter verfolgt werden und ermöglicht eine Interpretation von Inhaltsstoffgehalten vor dem Hintergrund ihrer pflanzenphysiologischen Bedeutung. Innerhalb des Organischen Landbaus finden außerdem ergänzend zu Inhaltsstoffanalysen die sogenannten „Bildschaffenden Methoden“ Kupferchloridkristallisation, Steigbildmethode und Rundfilterchromatographie zunehmend Anwendung für Qualitätsuntersuchungen an pflanzlichen Nahrungsmitteln. Diese Methoden zeigen messbare Erfolge bei der Differenzierung und Identifizierung landwirtschaftlicher Produkte aus ökologischen und konventionellen Anbauverfahren. Im Unterschied zu inhaltsstofflichen Analysen werden alle Komponenten des Pflanzengewebes in die Untersuchung einbezogen. Mit diesen Verfahren werden möglicherweise emergente Eigenschaften biologischer Systeme erfasst, die auf Ebene der Formbildung in der Interaktion der Komponenten wirksam werden. Die auf Basis der Ergebnisse dieser Verfahren getroffenen Qualitätsaussagen beruhen auf indirekten Korrelationen zu pflanzenphysiologischen Prozessen über Vergleichsreihen. So können Ausgewogenheit bzw. Ungleichgewichte von Wachstums- und Differenzierungsprozessen während der pflanzlichen Entwicklung möglicherweise vollständiger erfasst werden als mit inhaltsstofflichen Analysen. Die wissenschaftliche Gültigkeit der getroffenen Qualitätsaussagen wird allerdings kontrovers diskutiert (TAUSCHER et al. 2003, SIDERER et al. 2005).

Mit der vorliegenden Arbeit wird der Versuch unternommen, den komplexen Prozess der Qualitätsbildung pflanzlicher Nahrungsmittel mit einem umfassenden Ansatz faktorieller Versuchsanstellung an Weizen und Salatrauke zu beschreiben. Ziel der Arbeit ist die Untersuchung einerseits der Auswirkung von Einstrahlungsintensität und Stickstoffangebot, andererseits von organischer im Vergleich zu mineralischer Düngung auf Wachstum, Differenzierung und Integration.