

Messtation der Freien Universität Bozen zur kontinuierlichen Überwachung der CO₂-, Wasser- und Energieflüsse zwischen der Apfelanlage und der Atmosphäre in Kaltern.

Der CO₂-Fußabdruck des Apfels aus Trentino-Südtirol

Damiano Zanotelli, Fabrizio Mazzetto, Simon Josef Unterholzner, Massimo Tagliavini, Fakultät für Naturwissenschaften und Technik, Freie Universität Bozen

Die Zahl der Verbraucher, die einen nachhaltigen Produktionsprozess fordern und sich beim Einkauf für umweltverträglich hergestellte Produkte entscheiden, steigt. Der mit der Apfelproduktion, Lagerung und dem Transport zusammenhängende Energieeinsatz beeinflusst den CO₂-Fußabdruck. Diese und andere Überlegungen waren für diese Studie ausschlaggebend.

Der moderne Obstbau ist, obwohl er eine hohe Produktivität garantiert, stark von nicht erneuerbaren Energiequellen, von deren Verfügbarkeit sowie von deren Preisen abhängig. Gleichzeitig steigt die Zahl der Verbraucher, die einen nachhaltigen Produktionsprozess fordern und sich beim Einkauf für umweltverträglich hergestellte Produkte entscheiden. Diese Aspekte, obwohl nur anscheinend weit voneinander entfernt, drängen einige Betriebe und die



landwirtschaftliche Forschung dazu, Analyseverfahren zu entwickeln, mit denen man die Energiekosten eines landwirtschaftlichen Produkts von der Produktion bis zum Verkaufspunkt ermitteln und quantifizieren kann. Dabei werden sowohl der Energieverbrauch als auch die Emission von Kohlendioxid (CO₂) erhoben. Das Ziel ist eine effizientere Nutzung der eingesetzten Energie und der Produktionshilfsmittel während der gesamten Herstellung ohne Verzicht auf die hohen Produktionsstandards (Quantität und Qualität), die mittlerweile von der modernen Landwirtschaft erreicht worden sind. Mit anderen Worten: es sollen pro Produktionseinheit weniger Ressourcen (Produktionshilfsmittel) verbraucht werden. Eine der dafür am häufigsten verwendeten Methoden, die Ergebnisse so objektiv und vergleichbar wie möglich zu bewerten, ist die sogenannte "Analyse des Lebenszyklus" eines Produkts (LCA = Life Cycle Assessment). Das Ergebnis wird oft auch als Ökobilanz bezeichnet. Sie ist nicht nur für die Bewertung von landwirtschaftlichen Produkten geeignet, sondern für alle Güter und Dienstleistungen, bei denen menschliches Zutun erforderlich ist. Ein wichtiger Aspekt bei dieser Analyse, wenn auch nicht der einzige, ist der sogenannte CO₂-Fußabdruck

(Carbon footprint). Er quantifiziert den CO₂-Ausstoß während der verschiedenen Produktionsphasen und bestimmt das sogenannte Potenzial der globalen Erderwärmung, oft auch als Treibhauspotential bezeichnet (GWP = Global Warming Potential), das mit der Herstellung eines bestimmten Produkts verbunden ist. Diese Emissionen hängen sehr stark vom direkten und indirekten Energieverbrauch ab, der erforderlich ist, um dieses Produkt herzustellen (Grafik 1).

Es wird darauf hingewiesen, dass im Gegensatz zu Industrieprodukten die landwirtschaftlichen Erzeugnisse den Vorteil haben, im Feld in einem biologischen System heranzuwachsen, in dem der Atmosphäre bei der Photosynthese Kohlendioxid entzogen wird. Wir haben es also mit einem Produktionssystem zu tun, das Kohlendioxid im Feld sammelt und somit wenigstens teilweise den CO₂-Ausstoß ausgleichen kann, der durch die menschlichen Eingriffe bei der Produktion der landwirtschaftlichen Produkte entsteht (Grafik 2).

Die Rolle der Forschung

"Assomela" vereinigt die meisten großen Erzeugerorganisationen (OP) der Region Trentino-Südtirol (Melinda, Trentina, VI.P, VOG) und anderer

Regionen. Dieser genossenschaftlich organisierte Branchenverband fördert schon seit Jahren Forschungsprojekte mit dem Ziel, die Umwelteinflüsse zu bewerten, die mit der Apfelproduktion zusammenhängen. Die laufende Zusammenarbeit zwischen Assomela und der Fakultät für Naturwissenschaften und Technik der Freien Universität Bozen hat den Zweck:

- den CO₂-Ausstoß zu quantifizieren, wobei die einzelnen Phasen im Produktionsprozess des Apfels analysiert werden,
- die Umweltverträglichkeit der in der Region erzeugten Äpfel in einen internationalen Zusammenhang zu stellen, indem diese mit landwirtschaftlichen Produkten aus verschiedenen Ländern verglichen werden und
- Produktionstechniken zu ermitteln, mit denen die Effizienz der eingesetzten Ressourcen im Produktionsprozess des Apfels verbessert werden können.

Die Freie Universität Bozen betreibt schon seit einigen Jahren wissenschaftliche Studien zur Kohlendioxid-, Wasser- und Energiebilanz in einer Apfelanlage in Kaltern (BZ). Die kontinuierlichen physikalischen Messungen werden durch biometrische Erhebungen über die Verteilung der Photosyntheseprodukte auf die verschiedenen Pflanzenorgane (Blätter, Früchte, Holz und Wurzeln) ergänzt. Das ermöglicht sehr klar, das Schicksal der neu gebildeten Biomasse zu erkennen und ihre Verweildauer im Ökosystem einzuschätzen. Der Zweck dieser Studien ist es zu verstehen, ob und wie viel CO₂ mit der Zeit in einer Apfelanlage angesammelt wird.

Was den Energiekonsum und den CO₂-Ausstoß anbelangt, die auf die Pflegemaßnahmen in der Apfelanlage zurückgehen, ist bereits eine erste Studie in einem typischen Golden Delicious-Obstbaubetrieb durchgeführt worden. Nachfolgend hat man sich auf den Einfluss der diversen Grundstücke des Betriebs und deren Entfernung vom Betriebsitz auf den Treibstoffverbrauch konzentriert. Dieser beeinflusst den CO₂-Fußabdruck

Tabelle 1: Ausstoß an CO₂ (Potenzial an globaler Erderwärmung, GWP, ausgedrückt in kg CO₂-äquivalent pro kg Apfel), während der Apfelproduktion, Ertrag Golden Del. 62 t pro ha (Unterholzner, 2008).

Quellen		CO ₂ -Ausstoß (GWP)	
		kg CO ₂ /kg Apfel	%
Anlage und Maschinen (anteilig)	Gebäude	0,002	4
	Maschinen	0,013	25
	Stützgerüst	0,001	2
	Bewässerungsanlage	0,007	14
	Pflanzmaterial	0,001	2
Jährliche Pflege (gesamt)	Dünger	0,006	12
	Herbizide	0,002	4
	Insektizide/Fungizide	0,003	6
	Handarbeit	0,001	2
	Treibstoff	0,015	29
Summe		0,051	100

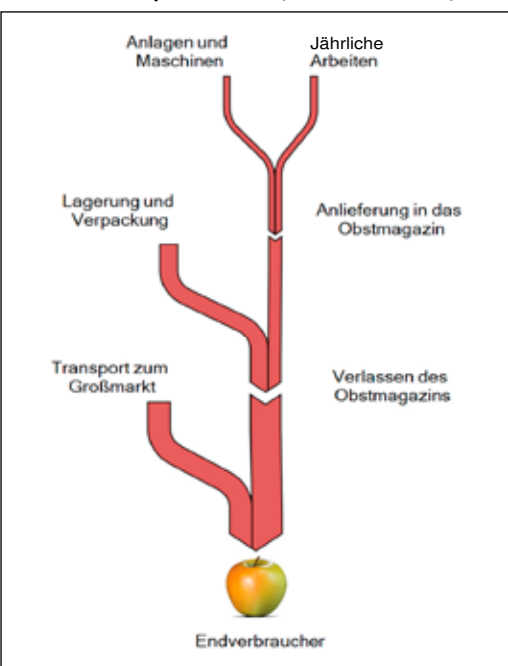
während der Produktionsphase maßgeblich.

In der zweiten Phase, die noch nicht abgeschlossen ist, analysieren wir im Detail die Lagerung und Verpackung der Äpfel in den Genossenschaften der Region sowie den Einfluss des Transports.

Der Beitrag der Photosynthese und Atmung

Die Messungen, die wir in Kaltern durchgeführt haben, erlaubten es nachzuweisen, wie das "System Apfelanlage" im Laufe mehrerer Jahre imstande ist, eine bestimmte CO_2 -Menge dauerhaft in seinen eigenen Bestandteilen anzureichern, hauptsächlich im Holz und in den Wurzeln. Obwohl diese CO_2 -Menge nur eine geringe ist im Vergleich zur gesamten, die im Laufe der Vegetationsphase in das Ökosystem fließt und die wir gemessen haben, (bildlich durch die Größe der Pfeile in Grafik 2 dargestellt), kann sie 30 bis 40%

Grafik 1: Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch und die CO_2 -Emissionen in der Apfelproduktion. Die Größe der Pfeile entspricht den Anteilen der einzelnen Komponenten (Literaturdaten).



Der Antrieb der Maschinen zur Pflege der Apfelanlage verursacht rund ein knappes Drittel des CO_2 -Fußabdrucks.

der CO_2 -Emissionen binden, die bei der Pflege der Apfelanlage entstehen. Die CO_2 -Bindung im Holz und in den Wurzeln trägt also dazu bei, den CO_2 -Fußabdruck in der Apfelproduktion zu verkleinern.

CO_2 -Fußabdruck und Pflegemaßnahmen

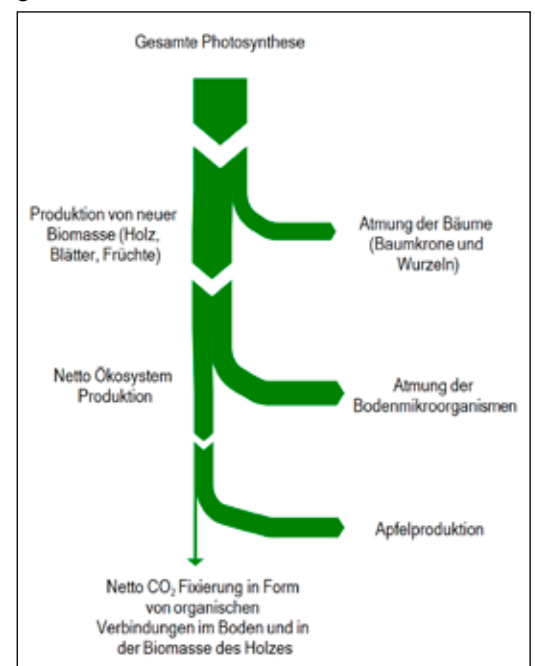
Die Analyse des CO_2 -Fußabdrucks bei der Produktion des Golden Delicious-Apfels erlaubt es uns, den CO_2 -Ausstoß und die damit zusammenhängenden Energiekosten zu beziffern, die mit der Amortisation der Maschinen und Geräte und des Materials zur Erstellung der Anlage anteilmäßig verbunden sind. Sie machen 47% des gesamten CO_2 -Ausstoßes aus. Wir haben auch den CO_2 -Ausstoß ermittelt, der mit der Bewirtschaftung der Apfelanlage im Laufe des Jahres entsteht, er beträgt 53% des gesamten CO_2 -Ausstoßes (Tabelle 1).

Der gesamte CO_2 -Fußabdruck des Apfels (bis zur Übergabe im Lagerhaus) beträgt $0,051 \text{ kg CO}_2$ pro kg Apfel. Das steht im Einklang mit dem, was unabhängig davon für die Umwelterklärung des Produkt erhoben wurde (EPD 2013, GWP – Global Warming Potential). Der Energieeinsatz, der erforderlich ist, um ein Kilogramm Apfel

zu produzieren, beträgt hingegen $0,67$ Megajoule (Tabelle 2). Zum Vergleich: eine Kilowattstunde (kWh) entspricht $3,6$ Megajoule (MJ).

Um diese Ergebnisse in einen größeren Zusammenhang zu stellen und sie besser verständlich zu machen, wollten wir sie mit ähnlichen Daten aus

Grafik 2: Natürliche CO_2 -Fixierung und Produktion in einer Apfelanlage. Die Größe der Pfeile entspricht der CO_2 -Menge, die im Versuchsfeld Kaltern der Freien Universität Bozen gemessen wurde.



anderen Ländern oder mit anderen landwirtschaftlichen Produkten vergleichen. In Tabelle 2 geben wir eine Zusammenfassung von Literaturstudien wieder, deren Ergebnis die Energiemenge ist, die man für die Produktion eines Kilogramms des entsprechenden Produkts benötigt (MJ/kg). Diese Maßeinheit, die man durch die Division der gesamten eingesetzten Energie während des Produktionszyklus durch die erzeugte Menge erhält, drückt aus, wie effizient die Ressourcen entlang der Produktionskette genutzt werden. Die Effizienz kann durch die Verminderung

der eingesetzten Energie bei gleichbleibender Erntemenge oder die Erhöhung der Menge bei gleichbleibendem Energieeinsatz verbessert werden. Aus Tabelle 2 geht auch hervor, dass der Energieaufwand, der für die Erzeugung unserer heimischen Äpfel erforderlich ist, etwa mit dem anderer Länder vergleichbar ist, die mit ähnlichen Produktionssystemen (Pflanzabstände, schwach wachsende Unterlagen, maschinelle Ausstattung) arbeiten, wie Neuseeland, USA, Schweiz und Frankreich. Der geringe Energieaufwand pro Produktionseinheit

geht in erster Linie auf die hohen Erträge zurück, die es ermöglichen, die eingesetzten Ressourcen auf eine hohe Produktmenge aufzuteilen. Eine der Besonderheiten der Landwirtschaft in der Region Trentino-Südtirol ist die Zersplitterung der landwirtschaftlichen Betriebe, d.h., ein Betrieb besteht aus mehreren kleinen Grundstücken. Vor allem die Entfernung eines Grundstücks von der Hofstelle hat einen erheblichen Einfluss auf den Verbrauch von fossilen Treibstoffen. Sie schlägt sich als Parameter mit dem größten prozentuellen Anteil am

Tabelle 2: Energieverbrauch in Megajoule (MJ) pro kg Apfel und anderer Lebensmittel in diversen Veröffentlichungen.

Produkt	Land	Wichtige Merkmale der Studie	MJ pro kg	Autor
Apfelanbau	Schweiz	12 Betriebe mit Integriertem Anbau	1,2	Mouron et al., 2006
	Neuseel.	5 Betriebe mit Integriertem Anbau	0,4-0,5	Mila i Canals et al., 2006
	Griechenl.	26 Betriebe, geringe Pflanzdichte	2,4	Strapatsa et al., 2006
	USA, WA	nur Ertragsphase	0,9-1,0	Reganold et al., 2001
	USA, WA	Jugend- und Ertragsphase	1,2-1,3	Reganold et al., 2001
	USA	Durchschnitt Anbau im Osten der USA	3,8	Pimentel, 2006
	Schweden		0,5	Stadig, 1997
	Frankreich		0,6	Stadig, 1997
	Iran	56 Anlagen, Provinz Teheran	2,1	Rafiee et al., 2010
	Türkei	90 Betriebe, Provinz Antalya	1,6	Akdemir et al., 2012
Italien	Betriebe in Südtirol	0,7	Mazzetto et al., 2012	
Orangen	Sizilien	Bio- und konventioneller Anbau	2,4-2,9	Pergola et al., 2013
	Türkei		1,5	Ozkan et al., 2004
	Iran		1,9	Namdari et al., 2011
Kirschen	Türkei	Intensiver Anbau	2,0	Kizislan, 2009
Kiwi	Iran		1,2	Mohammadi et al., 2010
Erdbeeren	Spanien	Intensiver Anbau unter Glas	5,3	Denstedt et al., 2010
Bananen	Türkei		1,0	Ackaoz, 2011
Trauben	Türkei		2,3	Ozkan et al., 2007
	Iran		4,9	Yuzbashkandi et al., 2013
Hühnerfl.	Großbrit.	nur Aufzucht ohne Schlachtung	17,0	Williams et al., 2006
Schweinefl.	Großbrit.	nur Aufzucht ohne Schlachtung	23,0	Williams et al., 2006
Rindfleisch	Großbrit.	nur Aufzucht ohne Schlachtung	30,0	Williams et al., 2006
Weizen	Neuseel.		2,0-2,5	Safa et al., 2011
Soja	USA		3,2-3,7	Woods et al., 2010
Mais	USA		2,4	Farrell, 2006
Yoghurt		aromatisiertes Erdbeerjoghurt	31,7	Sörguven and Özilgen, 2012
Kaffee		Tasse in der Bar (100 ml x 10)	19,4	Humbert et al., 2009
Hamburger		Hamburger (250 g x 4)	30,0-70,0	Kanyama and Faist, 2000
Maischips		Säckchen (400 g x 2,5)	19,1	Grant and Beer, 2008



Der Einfluss des Transports vom Verpackungsbetrieb zu den Verkaufspunkten wird lebhaft diskutiert.

gesamten CO₂-Fußabdruck unter jenen nieder, die in Tabelle 1 aufgezählt werden.

Diese ersten Beobachtungen des Energieverbrauchs, der durch die Zerteilung der Betriebe und der z.T. großen Entfernung der einzelnen Apfelanlagen zur Hofstelle und von einander bedingt ist, lenken die Aufmerksamkeit auf die Flurbereinigung oder die gemeinsame Nutzung von Maschinen. Beide Ansätze wären dazu geeignet, nicht nur die Kosten im Betrieb zu senken, sondern auch den CO₂-Fußabdruck der Obstwirtschaft in Trentino-Südtirol zu verkleinern, einer Region, in der die Apfelanlagen sehr stark parzelliert sind.

Weitere Untersuchungen in für die Region typischen Obstbaubetrieben sind im Gang, um die Bedeutung dieser logistischen und innerbetrieblichen Organisation auf den CO₂-Fußabdruck der Apfelproduktion noch besser darstellen zu können.

Lagerung, Verpackung und Transport

Die Zusammenarbeit zwischen der Freien Universität Bozen und Assomela wird mit der Analyse der Energiekosten und der CO₂-Freisetzung fortgesetzt, die mit der Lagerung, Sortierung und Verpackung in den Genossenschaften der Region Trentino-Südtirol sowie dem Transport zu den Verkaufspunkten zusammenhängen.

Soweit es aus der Literatur hervorgeht, ist der CO₂-Fußabdruck eines Apfels in der gebräuchlichsten Verpackungsform ungefähr doppelt so groß wie der, wenn er nach der Ernte beim Lagerhaus angeliefert wird. Der Fußabdruck hängt natürlich auch von der Lagerungsdauer und Verpackungsart ab. Der Einfluss des Transports ist ein Argument, über das sehr lebhaft diskutiert wird. Die Meinungen dazu liegen eher weit auseinander, weil dahinter erhebliche Interessen stehen. Darauf konzentriert sich das „Umweltargument“, Äpfel aus der Region zu essen und nicht solche aus Ländern mit einem gegenläufigen saisonalen Produktionszyklus.

Eine erste Studie aus Deutschland wies auf den wesentlichen Unterschied im CO₂-Fußabdruck zwischen Äpfeln verschiedener Herkunft hin, der durch den höheren Energieaufwand aufgrund des Transports und der Kühlkette bedingt ist. Dabei schnitten Äpfel aus der südlichen Hemisphäre (besonders Neuseeland) schlechter ab als europäische Äpfel, obwohl diese 5 Monate im Kühllager waren. Der Mehraufwand an Primärenergie für die Importware aus der südlichen Halbkugel betrug, laut dieser Studie, 27%.

Eine Studie aus Neuseeland ergab hingegen, dass Obst aus der südlichen Erdhalbkugel aus der Sicht des Energieverbrauchs durchaus mit europäischen Äpfeln auf den europäischen

Märkten konkurrenzfähig ist, die im späten Frühjahr und Sommer schon lange gelagert werden mussten. Eine genaue Untersuchung der Gegebenheiten in der Region Trentino-Südtirol ist deshalb mehr als notwendig, um diese Frage zu klären.

Schlussfolgerungen

Diese Untersuchung erlaubt es, mit besonderem Bezug auf die regionalen Produktionsgegebenheiten, jene Aspekte zu verstehen, die hauptsächlich den Energieverbrauch und den CO₂-Fußabdruck beim Apfel bewirken und gleichzeitig Verbesserungsmöglichkeiten zu erkennen.

Wenn diese Überlegungen in den Betrieben umgesetzt werden, würde das zu einer verbesserten Nutzung der Ressourcen, der Ökobilanz und der betriebswirtschaftlichen Gesamtrechnung führen.

Der Landwirt hat den Vorteil, Primärenergie sowie Betriebsmittel einzusparen, und das System „Apfelproduktion“ gewinnt ebenfalls. Diesbezüglich wird darauf hingewiesen, dass Assomela bereits 2012 die Umweltprodukt-erklärung für Äpfel aus Trentino-Südtirol erhalten hat (EPD – Environmental Product Declaration). Sie ist im Internet einsehbar: www.environdec.com/en/Detail/?Epd=8793#.UzvNDKiS-zg8



massimo.tagliavini@unibz.it