



# UNTERSUCHUNG ÜBER DIE CO<sub>2</sub>- AUFNAHME DURCH DIE WICHTIGSTEN ANBAUPFLANZEN IN DER REGION MURCIA.

Prof. Micaela Carvajal

Profesora de Investigación  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)



# **UNTERSUCHUNG ÜBER DIE CO<sub>2</sub>-AUFNAHME DURCH DIE WICHTIGSTEN ANBAUPFLANZEN IN DER REGION MURCIA.**

**Cesar Mota, Carlos Alcaraz-López, María Iglesias, M.C. Martínez-Ballesta y Micaela Carvajal\*.**

Departamento de Nutrición Vegetal  
CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
30100-Espinardo, (Murcia), SPANIEN

*\*Forschungsleiterin und Koordination: Prof. Micaela Carvajal. E-Mail: mcarvaja@cebas.csic.es*

## **1.- EINFÜHRUNG**

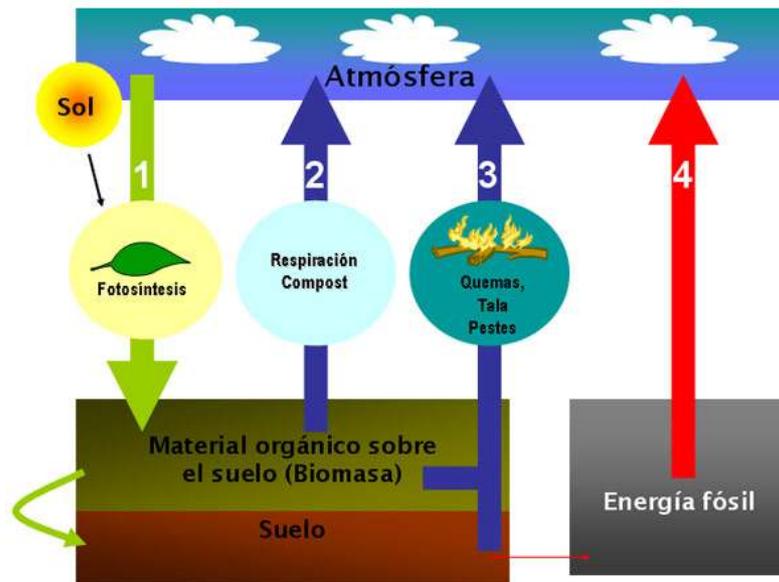
### **1.1.- CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre**

"Treibhauseffekt" nennt man das Phänomen, durch das ein Teil der von der Erdhülle abgegebenen Wärmeenergie durch bestimmte atmosphärische Gase zurückgehalten und reflektiert wird, und so eine fortschreitende Auskühlung der Erde verhindert wird. Ohne die Wirkung dieser Gase wäre das Leben, so wie wir es kennen, nicht möglich, da die von unserem Planeten abgegebene Wärme in den Weltraum abgeleitet würde und auf der Erde extrem niedrige Temperaturen herrschen würden. Zu diesen Gasen zählen Kohlendioxyd, Stickstoffoxyd (Lachgas) und Methan, die hauptsächlich von Industrie, Landwirtschaft und Viehzucht sowie beim Verbrennen fossiler Brennstoffe freigesetzt werden. Die auf unserem Planeten erreichte industrielle Entwicklung hat dazu geführt, dass die Konzentration dieser Gase seit dem vergangenen Jahrhundert um bis zu 30% gestiegen ist, so dass die Natur inzwischen nur noch begrenzt in der Lage ist, einen Ausgleich der Gaskonzentrationen in der Atmosphäre herzustellen.

Von all diesen Gasen kommt dem CO<sub>2</sub> wegen seiner Wirkung auf die klimatischen Bedingungen unseres Planeten eine besondere Bedeutung zu, da es ein langlebiges Gas ist und somit über einen großen Zeitraum in der Atmosphäre aktiv bleibt. So dauert es beispielsweise 30 Jahre bis ca. 50% des

an die Atmosphäre abgegebenen CO<sub>2</sub> abgebaut sind, 30% wirken mehrere hundert Jahre, und die verbleibenden 20% überdauern mehrere tausend Jahre (Solomon et al, 2007).

Pflanzen haben die Fähigkeit, das in der Atmosphäre enthaltene CO<sub>2</sub> aufzunehmen und durch ihren Fotosynthese-Stoffwechsel in Zucker und andere Verbindungen umzuwandeln, die sie für ihren Vitalkreislauf benötigen (Bild 1. Fotosynthese, (1)). Allgemein gesagt, entziehen die Pflanzen durch die Fotosynthese der Atmosphäre Kohlenstoff (in Form von CO<sub>2</sub>) und wandeln diesen dann in Biomasse um. Bei der Zersetzung wird die Biomasse Teil des Bodens (Humus) oder sie wird in CO<sub>2</sub> gewandelt (durch die Atmung der Mikroorganismen, die die Biomasse verarbeiten (Fig. 1 (2)).



**Bild 1** Kohlenstoffkreislauf: CO<sub>2</sub>-Emissionsquellen und -Senken

Verschiedene Faktoren haben Einfluss darauf, wie viel Kohlenstoff sich sowohl in pflanzlicher Biomasse als auch im Boden ansammelt. Der Holzeinschlag und das Verbrennen von pflanzlichem Material zur Umwandlung von Waldflächen zu landwirtschaftlich bzw. viehwirtschaftlich genutzten Flächen und auch die Holzwirtschaft setzen den in den Pflanzen und im Boden akkumulierten Kohlenstoff frei (Bild 1 (3)), der dann als CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre zurückkehrt.

In der Zwischenzeit hat der CO<sub>2</sub>-Anstieg das Ergebnis des vorher beschriebenen Kohlestoffkreislaufs verändert und beeinflusst die Klimabedingungen entscheidend. Einerseits nehmen die Pflanzen CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre durch die Fotosynthese auf. Andererseits wird die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre durch Pflanzenatmung, Abbrennen der Wälder und Holzeinschlag erhöht, was im Zusammenhang mit zunehmendem Kahlschlag und unzureichenden Wiederaufforstungsmaßnahmen das Gleichgewicht zwischen Ausstoß und Aufnahme stört. So steigt die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre weiter an. Zu diesen durch Landwirtschaft und Holzwirtschaft erzeugten CO<sub>2</sub>-Nettoemissionen müssen noch weitere hinzu gezählt werden, die durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe für Transport und Energieerzeugung entstehen (Bild 1 (4)).

### **1.2.- Kohlenstoffsenken**

Als Senke wird ein System bzw. ein Prozess bezeichnet, durch den der Atmosphäre ein Gas bzw. mehrere Gase entzogen und gespeichert werden. Aufgrund ihrer hauptsächlichen Vitalfunktion, der Fotosynthese, wirken Pflanzen als Kohlenstoffsenken. Durch diese Funktion absorbieren die Pflanzen das CO<sub>2</sub> und kompensieren somit die durch die Pflanzenatmung verursachten Verluste an diesem Gas sowie den durch andere natürliche Prozesse entstandenen Ausstoß (Zersetzung organischen Materials).

Die Aufnahme von CO<sub>2</sub> durch pflanzliche Ökosysteme auf der Erde ist eine wichtige Komponente des globalen Kohlenstoff-Gleichgewichts. Man geht davon aus, dass die Biosphäre weltweit ca. 2.000.000 Tonnen/Jahr fixiert (UNESA, 2005). Dieser Wert resultiert aus der kleinen Differenz zwischen der CO<sub>2</sub>-Absorption durch Fotosynthese und den Verlusten durch Atmung, Zersetzung organischen Materials und weiteren Störungen unterschiedlicher Natur. Dieser Wert wird Nettoproduktion der Biosphäre genannt, und bezeichnet die Menge der langfristig in der Senke gespeicherten Gase.

Das von den Pflanzen aufgenommene CO<sub>2</sub> ist die Differenz aus dem während der Fotosynthese absorbierten atmosphärischen CO<sub>2</sub> und dem CO<sub>2</sub>, das durch die Atmung an die Atmosphäre abgegeben wird. Diese Differenz wird

in Biomasse umgewandelt, deren Gewicht zwischen 45-50 % des Trockengewichts der Pflanze beträgt. Somit werden bei starkem Wachstum die natürliche Vegetation und der landwirtschaftliche Anbau zu Kohlenstoffsenken. Wird das berücksichtigt, kann der Landbau zu einem wirksamen Mittel zu Bekämpfung des CO<sub>2</sub>-Anstiegs in der Atmosphäre werden.

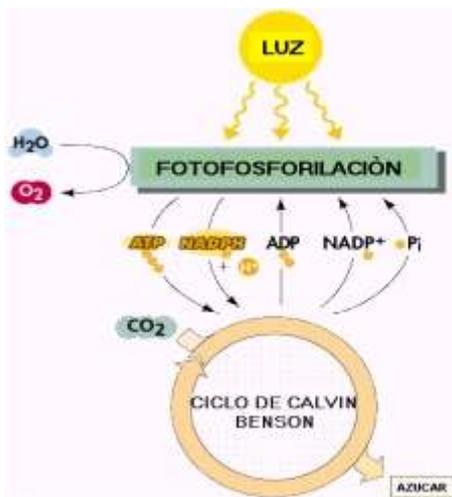
## **Der Boden**

Um den in den Ökosystemen gespeicherten Kohlenstoff (C) bestimmen zu können, muss der im Boden enthaltene stabile Kohlenstoff berücksichtigt werden. Da die Akkumulierung von C im Boden langsamer vonstatten geht als in Biomasse, ist die Stabilität von C im Boden größer. Deshalb ist die Speicherfähigkeit des Bodens für C aufgrund des enthaltenen und sich zersetzenden Pflanzenmaterials für den entstehenden Humus-Kohlenstoff so wichtig. Der Baumschnitt und das Laub können als Kohlenstoffverlust der Anbaupflanze gewertet werden, wenn sie aus der Pflanzung entfernt bzw. wenn sie verbrannt werden, lässt man den Baumschnitt jedoch natürlich am Boden zerfallen, trägt dies zu einer langfristigen Fixierung von CO<sub>2</sub> bei (Lal, 1997). Der größte Teil des Kohlenstoffs kehrt ein Jahr nach Zurücklassen der Pflanzenreste auf der Erde als CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre zurück, ein Fünftel bis ein Drittel bleibt jedoch im Boden, als lebende Biomasse oder als Bodenumus (Brady und Weil, 2004).

### **1.3.- Fotosynthese**

Die Fotosynthese ist ein grundlegender Stoffwechselprozess für alle lebenden Organismen und nutzt die Lichtenergie für die Herstellung von Zellkomponenten. Die Sonnenenergie ist nicht nur Energiequelle für alle Grünpflanzen und andere photosynthetische Autotrophen, sondern aufgrund der Nahrungskette in der Biosphäre auch für fast alle nichtgrünen Organismen. Außerdem macht die durch Fotosynthese gespeicherte Sonnenenergie ca. 90% der vom Menschen verwendeten Energie für Wärme, Strom und Kraft aus, da auch Kohle, Erdöl und Gas, die vom Menschen hauptsächlich genutzt werden, Produkte aus zerfallenem biologischen Material sind, das seinerseits vor Millionen Jahren aus photosynthetischen Organismen entstanden ist.

Die Fotosynthese läuft in zwei Phasen ab (Bild 2). Die erste Phase ist *lichtabhängig* (Lichtreaktion). In dieser Phase wird direkte Lichtenergie benötigt, um chemische Energie und Reduktionsenergie zu erzeugen, die in der zweiten Phase genutzt werden. In der vom Licht unabhängigen Phase (*Dunkelphase*) werden die in der Lichtreaktion entstandenen Produkte verwendet, um auf einer CO<sub>2</sub>-Grundlage aus den Kohlehydraten im Calvin-Zyklus kovalente Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen (C-C) herzustellen. Dieser Teil der Fotosynthese findet in den Chloroplasten der Zellen statt.

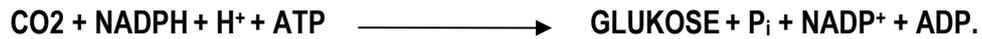


**Bild 2** Schema der Fotosynthese

In der Lichtreaktion wird für die Nutzung der Lichtenergie durch die Pigmente, die das Licht absorbieren und in chemische Energie (ATP) und Reduktionskraft (NADPH) umwandeln, ein Wasserstoffmolekül benötigt. Als Folge daraus wird O<sub>2</sub> molekular freigesetzt. Die allgemeine Gleichung für diesen ersten Schritt der Fotosynthese ist somit:



In der zweiten Phase der Fotosynthese werden die energiereichen Bindungen aus der ersten Phase, NADPH und ATP als Energiequellen für die Reduktion des CO<sub>2</sub> und die Erzeugung von Glukose verwendet. Als Folge entsteht erneut ADP und NADP<sup>+</sup>. Dieser zweite Schritt der Fotosynthese wird allgemein beschrieben als:



Diese Reaktion findet aufgrund konventioneller chemischer Reaktionen statt, die durch Enzyme, die kein Licht benötigen, katalysiert werden.

In der Dunkelphase wird das  $\text{CO}_2$  aus der Atmosphäre (oder aus dem Wasser bei fotosynthetischen aquatischen/marinen Organismen) durch das Hinzufügen von Wasserstoff ( $\text{H}^+$ ) gebunden und reduziert und bildet Kohlehydrate  $[(\text{CH}_2\text{O})]$ . Das Zusetzen von Kohlendioxyd in organischen Verbindungen ist als Kohlenstofffixierung bzw. Kohlenstoffassimilation bekannt. Die für den Prozess verwendete Energie stammt aus der ersten Phase der Fotosynthese. Lebewesen können Lichtenergie zwar nicht direkt nutzen, aber durch eine Reihe fotochemischer Reaktionen können sie die Energie in C-C-Bindungen von Kohlehydraten speichern, die dann später durch die Atmung oder andere Stoffwechselprozesse freigesetzt werden.

### **Kohlenstofffixierung der C3-, C4- und CAM-Pflanzen.**

Je nach Art der  $\text{CO}_2$ -Fixierung hat die Pflanze einen anderen Stoffwechsel, deshalb wird unterschieden in C3-, C4-, bzw. CAM-Pflanzen. Bei ihnen sind sowohl die Effizienz der Wassernutzung als auch die  $\text{CO}_2$ -Fixierung unterschiedlich.

C3-Pflanzen: Sie behalten die Spaltöffnungen während des Tages offen, um die  $\text{CO}_2$ -Fixierung zu ermöglichen, dadurch entsteht ein ständiger Wasserverlust durch Transpiration. Um einem durch Umweltstress verursachten Dehydrationsrisiko zu begegnen, können diese Pflanzen die Spaltöffnungen schließen, was eine verringerte Fotosyntheseleistung nach sich zieht.

C4-Pflanzen: Sie behalten die Spaltöffnungen während des Tages offen. Da sie eine  $\text{CO}_2$ -Pumpe in der Zelle besitzen, können sie ihre Spaltöffnungen auch unvorhergesehen schließen und die Fotosynthese dank des  $\text{CO}_2$ -Reservoirs fortsetzen.

CAM-Pflanzen: Geöffnete Spaltöffnungen während der Nacht. Der Wasserverlust durch Transpiration ist sehr niedrig. Außerdem besitzen sie ein CO<sub>2</sub>-Reservoir, so dass sie ihre Spaltöffnungen schließen können, ohne die Fotosyntheseleistung zu verringern.

Die Eigenschaften der C4- und der CAM-Pflanzen ermöglichen ihnen ein Überleben in wasserarmen Umgebungen.

**Tabelle 1** Unterschiede zwischen C3-, C4- und CAM-Pflanzen

| <i>Typische Arten mit wirtschaftlicher Bedeutung</i>   | <i>C3 Weizen, Gerste, Paprika, Obst, Reis, Tomaten...</i>  | <i>C4 Mais, Sorghum, Zuckerrohr</i>          | <i>CAM Ananas, Feigenkaktus</i> |
|--|--|--|---------------------------------|
| % der weltweiten Flora nach Anzahl der Arten   | 89%  | <1%  | 10%                             |
| Standort   | Weite Verbreitung  | Warmgebiete und große Wiesen                 | Trockengebiete, Epiphyten       |
| Erstes stabiles Produkt der CO <sub>2</sub> -Fixierung                                       | PGA  | Malat  | Malat                           |
| Anatomie   | Gefäßbündelscheide nicht vorhanden oder ohne Chloroplasten | Gefäßbündelscheide mit Chloroplasten (Kranz) | Sukkulente Zellen bzw. Gewebe   |
| Fotorespiration  | Bis zu 40% der Fotosynthese                                | Nicht feststellbar                           | Nicht feststellbar              |
| Kompensationspunkt für die CO <sub>2</sub> -Assimilierung                                    | 40-100 µl l <sup>-1</sup>                                  | 0-10 µl l <sup>-1</sup>                      | 0-10 µl l <sup>-1</sup>         |
| [CO <sub>2</sub> ] im Zellinnern bei Tageslicht (µl l <sup>-1</sup> )                        | 200  | 100  | 10000                           |
| Häufigkeit der Spaltöffnungen<br>Spaltöffnungen mm <sup>-2</sup> .                           | 40 - 300   | 100 - 160                                    | 1 - 8                           |
| Effektive Wassernutzung (g fixiertes CO <sub>2</sub> pro kg transpiriertes H <sub>2</sub> O) | 1 - 3  | 2 - 5  | 10 - 40                         |
| Maximales Wachstum (g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )                                      | 5-20   | 40-50  | 0.2                             |
| Maximale Produktivität (t ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> )                              | 10-30  | 60-80  | Normalerweise kleiner 10*       |

#### **1.4. Auswirkungen von Umweltstress auf die CO<sub>2</sub>-Fixierung**

Umweltstress wie Versalzung, Trockenheit, hohe oder tiefe Temperaturen oder die Abnahme der Sonneneinstrahlung verändern die Struktur und den Stoffwechsel der Pflanzen, was deren Wachstum und ihre Rolle als CO<sub>2</sub>-Speicher beeinträchtigt (Martínez-Ballesta et al., 2009). Diese Umweltfaktoren sind Schlüsselvariablen, die die Entwicklung der Pflanzen beeinflussen, da sie wesentlich für die Absorption und den Transport von Wasser und Nährstoffen sind. Deshalb kann dieser Stress vielfältige Auswirkungen auf die Anbaupflanzen haben, angefangen bei kurzfristigen physiologischen Reaktionen in einzelnen Pflanzen bis hin zu langfristigen Veränderungen in Struktur und Funktion der Pflanzen. In zahlreichen Studien wurde nachgewiesen, dass Pflanzen über eine große Bandbreite an Reaktionen auf Umweltfaktoren verfügen, die normalerweise zu einem Wassermangel führen (Kimball et al., 2002).

Angesichts der stark austrocknenden Eigenschaften der Atmosphäre war die Kontrolle über Wasserverluste immer ein entscheidender Aspekt für Pflanzen. Einerseits muss der Wasserfluss durch die Pflanze ausreichend groß sein, um die Versorgung und Einbindung von CO<sub>2</sub> aufrechtzuerhalten. Andererseits sind Assimilation und Transpiration in fast allen Pflanzen eng miteinander verknüpft, die Wasserverfügbarkeit setzt der Produktivität (Entwicklung) eine Maximalgrenze (Steudle und Peterson, 1998). Zugleich muss genügend Wasser über die Wurzeln aufgenommen werden, um den Wasserverlust über die Blätter auszugleichen und so eine Austrocknung der oberirdischen Pflanzenteile zu verhindern. Da die physiologischen Abläufe extrem empfindlich auf Wassermangel reagieren, ist die Wasserkonservierung zum Erhalt eines angemessenen hohen Wasserpotenzials das Hauptproblem in warmen und niederschlagsarmen Klimazonen.

Bei steigenden Temperaturen kann sich die Fotorespiration, ein Schutzmechanismus der Fotosynthese, der keine CO<sub>2</sub>-Fixierung beinhaltet, verstärken (Sofa et al., 2005). Das gemeinsame Wirken verschiedener Umwelteinflüsse (Wasserdampf in der Atmosphäre und Temperaturanstieg) könnte zu einer Zunahme der Biomasseproduktion führen, aber nur, wenn die

Pflanzen mit weiteren essenziellen Stoffen versorgt würden wie Stickstoff, Phosphor und Kalium (der Mensch könnte Stickstoff in die natürlichen Ökosysteme eintragen, da dieser ein Abfallprodukt vieler unserer kontaminierender Emissionen ist).

Man schätzt, dass die CO<sub>2</sub>-Fixierung in den kommenden 60 Jahren durch steigende Temperaturen zunehmen wird. Ausgegangen wird von einer Steigerung der CO<sub>2</sub>-Fixierung um 1% pro °C in Gebieten mit einer mittleren Jahrestemperatur von 30 °C und um 10% in Gebieten mit einer mittleren Jahrestemperatur von 10 °C. Die Fotosynthese soll bei C3-Pflanzen (die in mittleren und größeren Höhen die größte Verbreitung haben) um 25-75% zunehmen, während sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration verdoppeln soll. Die Angaben zur Fotosynthese in C4-Pflanzen, die typisch für Warmgebiete sind, sind weniger schlüssig, da die mögliche Zunahme von 0% bis 10-25% variiert (UNESA, 2005).

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, Studien zu den Auswirkungen der verschiedenen Umweltbedingungen auf die CO<sub>2</sub>-Aufnahme sowie zu den Wasser- und Nährstoffanforderungen der Anbaupflanzen durchzuführen.

### **1.5.- Landwirtschaft in der Region Murcia**

Die Landwirtschaft nimmt im BIP der Region Murcia eine mittlere Position ein. Sie ist eine der rentabelsten Landwirtschaften im spanischen und europäischen Vergleich dank ihrer hohen und weit über dem nationalen Durchschnitt liegenden Produktivität. Die murcianische Landwirtschaft ist exportorientiert, was den Aufbau einer starken ernährungswirtschaftlichen Industrie sowie den Bedarf nach einem erstklassigen Verkehrsnetz mit sich bringt. Zählen wir noch all die indirekten Aktivitäten, die die Landwirtschaft erzeugt, hinzu, wird ihre beachtliche Bedeutung für die regionale Wirtschaft deutlich.

Die ausgezeichneten Klimabedingungen unserer Region und die intensive Nutzung der durch die grüne Revolution gemachten Fortschritte

erhöhen die Rentabilität unserer Landwirtschaft beträchtlich. Die Wasserknappheit in der Region wirkt sich nun als Einschränkung aus und führt dazu, dass heutzutage die Bewässerung von unterirdischen Wasservorkommen abhängt (die aufgrund der übermäßigen Nutzung und des Eindringens von Meerwasser einen hohen Salzgehalt haben), da sich der Tajo-Segura-Kanal als unzureichend für die Deckung des Wasserbedarfs in der Region erwiesen hat.

Früchte und Gemüse sind mit ihren vielfältigen Varianten die wichtigsten Produkte murcianischer Landwirtschaft: Tomaten, Kopfsalat, Paprika, Artischocken usw., auch Zitrusfrüchte (besonders Zitronen) haben großen Anteil, Getreide, gefolgt von Wein und hochrentablen Baumfruchterzeugnissen wie Mandeln, Pfirsichen, Kirschen usw.

Die Waldwirtschaft hat allgemein nur eine geringe wirtschaftliche Bedeutung und nimmt nur wenig Raum in der Region ein. Der größte Teil liegt in den Berggebieten und kann den Bedarf der Region nicht decken. Der heimische Wald war einschneidenden Eingriffen durch den Menschen ausgesetzt, so dass nun der Baumbestand im Wald hauptsächlich aus wiederaufgeforsteten Pinien sowie aus Pappeln an den Flussufern besteht.

Die Anwendung anerkannter Methoden in der Landwirtschaft und eine nachhaltige Führung der Höfe (den Boden nicht unbedeckt lassen, exakte Mengen Dünger im richtigen Moment und am richtigen Ort verwenden, die Ernte nicht verbrennen und weniger pflügen) könnten den Ausstoß von Treibhausgasen um Millionen Tonnen verringern. Deshalb wird nun ein Katalog anerkannter Methoden in der Landwirtschaft erarbeitet, der den Schutz der Böden, den Erhalt von organischem Material Bodenstruktur sowie den Schutz von Lebensräumen, Landschaften und Dauerweiden beinhaltet. Dieser Wandel in der Landwirtschaft könnte sich positiv auf das CO<sub>2</sub>-Gleichgewicht der landwirtschaftlich genutzten Flächen auswirken. Durch entsprechende Kenntnisse und angemessenen Umgang könnte dieser Bereich zur Reduzierung des Treibhausgasausstoßes beitragen z.B. durch eine Anpassung der Bodenbearbeitung, die Förderung ökologischer Erzeugung und die wirkungsvolle Nutzung landwirtschaftlicher Geräte, um so auch endlich effizient zu werden.

Deshalb wird in dieser Untersuchung, die Teil des Projektes ist, die jährliche CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch die in der Region Murcia am weitesten verbreiteten Anbaupflanzen auf der Grundlage von Produktionsdaten zur Biomasse und deren Kohlenstoffgehalt bestimmt. Ausgewählt wurden Pflanzungen, die sich auf Flächen von über 1000 ha erstrecken. Berechnet wurde die Kohlenstoffaufnahme durch Einzelpflanzen, wobei ausschließlich die jährliche Biomasse berücksichtigt wurde. Auf diese Art wurde die gesamte fixierte Kohlenstoff- bzw. CO<sub>2</sub>-Menge ermittelt.

## **2.- MATERIAL UND METHODEN**

### **2.1.- Pflanzenmaterial und verarbeitetes Material**

Für die Untersuchung der CO<sub>2</sub>-Aufnahme wurde bei allen analysierten Arten ausschließlich die jährliche Biomasseproduktion der Pflanze bzw. des Baumes berücksichtigt und hier sowohl die oberirdischen Teile (Früchte) als auch die Wurzeln (IPCC, 2003).

#### **Früchte und Gemüse**

*Tomaten, Paprika, Wasser- und Honigmelone, Kopfsalat und Brokkoli*

Sie wurden am Ende ihres Anbauzyklus geerntet. Von jeder Art wurden drei Pflanzen mit einer Schaufel vorsichtig ausgegraben, um die Sekundärwurzeln nicht zu beschädigen, und für die weitere Verarbeitung im Labor je in einen Plastikbeutel verpackt. Dann wurden Frucht, Blätter, Stiel und Wurzeln voneinander getrennt, um das jeweilige Frischgewicht zu bestimmen. Anschließend wurden sie in einen Warmluftofen bei 70°C bis zum Erreichen eines konstanten Gewichtes gelegt, um das Trockengewicht zu bestimmen. Die Trocknungszeit ist abhängig von der Feuchtigkeit und dem Gesamtgewicht der Probe. Nachdem das Trockengewicht jedes einzelnen Pflanzenteils ermittelt worden war, wurden diese in einer Labormühle, IKA, Modell A10, gemahlen.

Das Ergebnis war sehr homogen mit Teilchen von 5 bis 7mm Durchmesser. Die gesamte Kohlenstoffmenge wurde wie folgt beschrieben analysiert.



**Foto 1** - Probennahme und Verarbeitung von Früchten und Gemüse

## **Getreide**

### *Hafer, Gerste und Weizen*

Auf dem Feld wurden insgesamt 10 Proben von jeder Art genommen, diese wurden manuell ausgewählt, in dichte Beutel verpackt, etikettiert und ins Labor gebracht, wo sie jeweils in einen oberirdischen Teil und die Wurzel zerlegt wurden, für das spätere Wiegen und die Erhebung der statistischen Werte des Frischgewichtes jeder Pflanze. Zur Bestimmung des Trockengewichtes wurden die Proben ca. 5 Tage in einen Warmluftofen bei 70°C gelegt und mit einer Präzisionslaborwaage gewogen. Das Mahlen wurde wie im vorstehenden Abschnitt erläutert durchgeführt, die C-Bestimmung wird im Folgenden beschrieben.



**Foto 2** - Verarbeitung der Getreidepflanzen im Labor

## **Obstbäume**

### *Aprikose, Kirsche, Pfirsich und Tafeltrauben*

Bei der Probennahme der Obstbäume wurde ein destruktives Verfahren angewandt, in dem drei produktive, 17-jährige Obstbäume mithilfe schwerer Maschinen herausgerissen wurden, die dann mit einer Diesel-Motorsäge in Stamm, Äste und Wurzeln geteilt wurden. Daraufhin wurden sie manuell vollständig entlaubt und die diesjährigen jungen Äste und Zweige geschnitten. Der Rest des Stammes und der vorjährigen Äste und Zweige wurde für das folgende Wiegen in Stücke geteilt. Von jedem Organ wurden Repräsentativproben für den Transport ins Labor in Beutel verpackt und etikettiert. Ähnlich wurde auch mit der Wurzel verfahren, nachdem diese von anhaftenden Bodenresten gereinigt war. Die diesjährigen Wurzeln wurden geschnitten und gewogen. Wie auch vom oberirdischen Teil wurde eine Repräsentativprobe zur Verarbeitung ins Labor gebracht.

Für den Transport von Probenmaterial vom Probennahmeort bis zur Kooperative wurden Paletten mit Holzkistenaufsatz von 30 kg und motorisierte Palettenhubwagen verwendet. In der Kooperative wurden die Proben einzeln auf einer Bodenwaage gewogen, die aus einer gerieften, rutschfesten Stahlblech-Brückenwaage, vier mobilen Wägezellen und einem Bedienterminal bestand.

Die Fruchtproben wurden anhand der geernteten Früchte durchgeführt. Eine Repräsentativprobe der Früchte wurde wie vorab beschrieben zur Bestimmung des Trockengewichtes und des Gesamtkohlenstoffgehaltes ins Labor gebracht. Die Gesamtmenge der Früchte wurde anhand der Durchschnittsmenge aller Bäume aus der Probeparzelle ermittelt.



**Foto 3** - Probennahme und Verarbeitung der Obstbäume

## Zitruspflanzen

### *Zitrone, Orange und Mandarine*

Für die Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch Zitruspflanzen und deren jährliche Quantifizierung wurden Proben von 15-jährigen Bäumen verwendet. Die Bäume wurden sowohl oberirdisch als auch an den Wurzeln mit einem Caterpillar 938G (135 kW) umgerissen und herausgezogen. Nach dem Fällen hat dasselbe Gerät 3 Proben abgetrennt, aus denen das Frischgewicht ermittelt wurde. Mit einer mechanischen Säge wurden die Äste (nach Ernte der Früchte), der Stamm und die Wurzel voneinander getrennt und es wurde das Frischgewicht wie oben beschrieben bestimmt. Die Gesamtmenge der Fruchternte wurde anhand der Gesamtertragsmenge eines Baumes aus den entsprechenden vorherigen Ernten für ein ganzes Jahr ermittelt.

Für jedes Organ wurde das Trockengewicht, wie oben beschrieben, anhand einer Repräsentativprobe sowie einer Fruchtprobe im Labor bestimmt.

Für die Angabe der gesamten Kohlenstoffaufnahme pro Baum und Jahr, wurde davon ausgegangen, dass sich die Biomasse des Blattes alle 3 Jahre erneuert und das Gesamtgewicht des oberirdischen Teils zu dem der Wurzel in einem Verhältnis von 70/30 in Relation zur gesamten Biomasse des Baumes steht (Morgan et al., 2006). Das Verfahren wurde wie im Folgenden beschrieben durchgeführt.



**Foto 4** - Probennahme und Verarbeitung von Zitruspflanzen

## 2.2 - Bestimmung der gesamten Kohlenstoffmenge

Die gesamte Kohlenstoffmenge wurde anhand von Unterproben (ca. 2-3 mg PS) von Blättern, Stielen, Früchten und Wurzeln mit einem NC-Thermo Finnigan 1112 EA in Elementaranalyse (Thermo Finnigan, Mailand, Italien) untersucht.



Foto 5 - Kohlenstoffanalyse der CEBAS-CSIC

## 3 - ERGEBNISSE

### 3.1 Ermittlung der Kohlenstoffmenge und CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch Krautpflanzen

Die ermittelten CO<sub>2</sub>-Ergebnisse für die Krautpflanzen Tomate, Paprika, Wassermelone, Honigmelone, Kopfsalat und Brokkoli werden in Tabelle 1 bis 6 dargestellt.

In den Tabellen sind die durchschnittlichen Jahreswerte für Biomasse und CO<sub>2</sub>-Aufnahme auf der Grundlage des prozentualen Kohlenstoffanteils für die einzelnen Teile, in die die Pflanze geteilt war, enthalten. Da diese Pflanzen ganzjährig wachsen, wurde die gesamte Kohlenstoffmenge aus der ganzen Pflanze und unter Berücksichtigung der gesamten Fruchtproduktion der Pflanze und des Beschnitts bestimmt.

Bei den Tomatenpflanzen (Tabelle 1) wird ein höherer Kohlenstoffgehalt und eine höhere CO<sub>2</sub>-Aufnahme beobachtet als bei den Paprikapflanzen (Tabelle 2), weil die Tomate einen höheren Biomasseanteil als Paprika besitzt. Berechnet man allerdings die gesamte Kohlenstoffmenge pro Hektar, werden die Unterschiede geringer, da die Pflanzdichte von Paprika (2,2 Pflanzen m<sup>-2</sup>) über der von Tomaten (2 Pflanzen m<sup>-2</sup>) liegt. Heutzutage gibt es viele verschiedene Tomatensorten und unterschiedliche Anbauarten in der Region. Für die Studie wurde eine Salattomate (Sorte Corvey) aus Bodenbau gewählt.

Tabelle 3 enthält die Werte für die CO<sub>2</sub>-Absorption und den Kohlenstoffgehalt von Wassermelonen. Man erkennt, dass die Werte pro Pflanze denen für Tomaten ähnlich sind. Allerdings ist die Gesamtmenge des aufgenommenen C pro Hektar aufgrund der geringeren Pflanzdichte niedriger. Vergleicht man die Werte für Wassermelonen mit denen für Honigmelonen (Tabelle 4), wird deutlich, dass trotz der deutlich niedrigeren Werte für absorbierten Kohlenstoff pro Honigmelonenpflanze (etwa die Hälfte), die auf den höheren Biomasseanteil der Wassermelone zurückzuführen sind, der Gesamtwert pro Hektar ähnlich ist aufgrund der größeren Pflanzdichte der Honigmelone.

Aus Tabelle 5 wird ein unterschiedlicher Kohlenstoffgehalt für zwei verschiedene landwirtschaftlich interessante Sorten Kopfsalat ersichtlich. Die Werte pro Pflanze liegen für die Sorte Romana höher aufgrund der größeren Biomasse in Trockengewicht. Allerdings bestehen für die beiden Sorten keine großen Unterschiede in Bezug auf die Kohlenstoff-Aufnahme pro Flächeneinheit, da Cogollo eine wesentlich höhere Pflanzdichte als Romana hat. Für den Salatanbau werden bei der Berechnung der Kohlenstoffmenge pro Jahr und Hektar drei Ernten pro Jahr in unserer Region berücksichtigt.

Tabelle 6 bezieht sich auf zwei Sorten Brokkoli und weist keine großen Unterschiede in der CO<sub>2</sub>-Aufnahme zwischen den beiden Anbaupflanzen auf, wobei die Pflanze Naxos leicht höhere Werte aufgrund der etwas größeren Biomasse aufweist. Wie auch beim Salatanbau werden bei der Berechnung der

Kohlenstoffmenge pro Jahr und Hektar drei Ernten pro Jahr in unserer Region berücksichtigt.

Die für Blumenkohl ermittelten Werte Tabelle 7 liegen deutlich höher als die der anderen analysierten Brassica, dem Brokkoli. Diese Werte ergeben sich hauptsächlich aus der größeren Biomasse, da die Pflanzdichte ähnlich ist, so dass die Werte für die Kohlenstofffixierung pro Pflanze und pro Flächeneinheit höher sind.

Die höchsten Werte für die CO<sub>2</sub>-Aufnahme bei Früchten und Gemüsen wurden für Artischockenpflanzen ermittelt (Tabelle 8). Grund für dieses Ergebnis ist ihre große Biomasse in Trockengewicht. Auch wenn die Pflanzdichte bei Artischockenpflanzen gering ist, ergibt sich daraus eine höhere Kohlenstoffkonzentration pro Flächeneinheit.

**Tabelle 1** Werte für Kohlenstoff und CO<sub>2</sub>-Anstieg in den verschiedenen Biomassefraktionen (g) der Tomatenpflanze

| TOMATE        | Frischgewicht              | Trockengewicht             | Feuchte | %C                      | C gesamt                                | C gesamt                                 | PFLANZE GESAMT            |   |
|---------------|----------------------------|----------------------------|---------|-------------------------|---|--|---------------------------|---|
|               | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Pflanze <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Pflanze <sup>-1</sup> |
| Wurzel        | 134                        | 22,5                       | 83,23   | 38,96                   | 17,5                                    | 0,2                                      | 8,8                       | 32,3                                    |
| Stiel         | 1.434                      | 296,8                      | 79,30   | 40,36                   | 240                                     | 2,4                                      | 120                       | 440                                     |
| Blätter       | 866                        | 169,7                      | 80,40   | 40,99                   | 139                                     | 1,4                                      | 69,6                      | 255                                     |
| Frucht        | 3.394                      | 510,8                      | 84,95   | 46,05                   | 470,4                                   | 4,7                                      | 235,2                     | 862                                     |
| <b>gesamt</b> | <b>5.827</b>               | <b>1.000</b>               |         |                         | <b>867</b>                              | <b>8,7</b>                               | <b>433</b>                | <b>1.590</b>                            |

Pflanzdichte: 2 Pflanzen m<sup>-2</sup>

**Tabelle 2** Werte für Kohlenstoff und CO<sub>2</sub>-Anstieg in den verschiedenen Biomassefraktionen (g) der Paprikapflanze

| PAPRIKA       | Frischgewicht              | Trockengewicht             | Feuchte | %C                      | C gesamt                                   | C gesamt                                 | PFLANZE GESAMT            |   |
|---------------|----------------------------|----------------------------|---------|-------------------------|--|--|---------------------------|---|
|               | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Pflanze <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Pflanze <sup>-1</sup> |
| Wurzel        | 53,4                       | 30,3                       | 43,23   | 43,15                   | 28,8                                       | 0,3                                      | 13,1                      | 48,0                                    |
| Stiel         | 458                        | 269,1                      | 41,24   | 40,82                   | 241,7                                      | 2,4                                      | 109,8                     | 402,6                                   |
| Blätter       | 519                        | 305,6                      | 41,12   | 31,14                   | 209  | 2,1                                      | 95,2                      | 349,1                                   |
| Frucht        | 683                        | 135                        | 80,25   | 46,34                   | 137,5                                      | 1,4                                      | 62,5                      | 229,2                                   |
| <b>gesamt</b> | <b>1.713</b>               | <b>740</b>                 |         |                         | <b>617</b>                                 | <b>6</b>                                 | <b>281</b>                | <b>1.029</b>                            |

Pflanzdichte: 2,2 Pflanzen m<sup>-2</sup>

**Tabelle 3** Werte für Kohlenstoff und CO<sub>2</sub>-Anstieg in den verschiedenen Biomassefraktionen (g) der Wassermelone

| WASSERMELONE  | Frischgewicht              | Trockengewicht             | Feuchte | %C                      | C gesamt                                | C gesamt                                 | PFLANZE GESAMT            |   |
|---------------|----------------------------|----------------------------|---------|-------------------------|---|--|---------------------------|---|
|               | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Pflanze <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Pflanze <sup>-1</sup> |
| Wurzel        | 46,8                       | 8,5                        | 81,87   | 37,83                   | 1,3                                     | 0,01                                     | 3,2                       | 11,73                                   |
| Stiel         | 2.369                      | 285                        | 87,99   | 39,29                   | 45                                      | 0,5                                      | 112                       | 411                                     |
| Blätter       | 2.691                      | 322                        | 88,05   | 37,54                   | 48                                      | 0,5                                      | 121                       | 444                                     |
| Frucht        | 15.989                     | 398                        | 97,51   | 42,71                   | 68                                      | 1  | 170                       | 623                                     |
| <b>gesamt</b> | <b>21.096</b>              | <b>1.013</b>               |         |                         | <b>162</b>                              | <b>1,6</b>                               | <b>406</b>                | <b>1.489</b>                            |

Pflanzdichte: 0,4 Pflanzen m<sup>-2</sup>

**Tabelle 4** Werte für Kohlenstoff und CO<sub>2</sub>-Anstieg in den verschiedenen Biomassefraktionen (g) der Honigmelone

| HONIG-<br>MELONE | Frischgewicht              | Trockengewicht             | Feuchte | %C                      | C gesamt                                | C gesamt                                 | PFLANZE GESAMT            |   |
|------------------|----------------------------|----------------------------|---------|-------------------------|---|--|---------------------------|---|
|                  | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Pflanze <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Pflanze <sup>-1</sup> |
| Wurzel           | 23,6                       | 5                          | 80,53   | 39,69                   | 2                                       | 0,02                                     | 2                         | 7,3                                     |
| Stiel            | 1071                       | 134                        | 87,47   | 33,62                   | 45,1                                    | 0,5                                      | 45,1                      | 165,4                                   |
| Blätter          | 764                        | 90                         | 88,17   | 36,72                   | 33                                      | 0,3                                      | 33,0                      | 121,0                                   |
| Frucht           | 2972                       | 319                        | 89,25   | 43,43                   | 138,5                                   | 1,4                                      | 138,5                     | 507,8                                   |
| <b>gesamt</b>    | <b>4.831</b>               | <b>549</b>                 |         |                         | <b>219</b>                              | <b>2</b>                                 | <b>219</b>                | <b>802</b>                              |

Pflanzdichte: 1 Pflanze/m<sup>2</sup>

**Tabelle 5** Werte für Kohlenstoff und CO<sub>2</sub>-Anstieg in den verschiedenen Biomassefraktionen (g) der unterschiedlichen Kopfsalatpflanzen

|                | Frischgewicht              | Trockengewicht             | Feuchte | %C                      | C gesamt                                   | C gesamt                                 | PFLANZE GESAMT            |   |
|----------------|----------------------------|----------------------------|---------|-------------------------|--|--|---------------------------|---|
|                | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Pflanze <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Pflanze <sup>-1</sup> |
| <b>COGOLLO</b> |                            |                            |         |                         |  |  |                           |   |
| Wurzel         | 56,6                       | 12,8                       | 77,44   | 39,90                   | 229,8                                      | 2,3                                      | 5,1                       | 18,7                                    |
| Stiel          | 96,6                       | 6,1                        | 93,70   | 36,75                   | 100,9                                      | 1,0                                      | 2,2                       | 8,1                                     |
| Blätter        | 430,2                      | 22,3                       | 94,81   | 35,08                   | 352,5                                      | 3,5                                      | 7,8                       | 28,6                                    |
| <b>gesamt</b>  | <b>583,4</b>               | <b>41,2</b>                |         |                         | <b>682,7</b>                               | <b>6,8</b>                               | <b>15,1</b>               | <b>55,4</b>                             |
| <b>LATTICH</b> |                            |                            |         |                         |  |  |                           |   |
|                | Frischgewicht              | Trockengewicht             | Feuchte | %C                      | C gesamt                                   | C gesamt                                 | PFLANZE GESAMT            |   |
|                | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Pflanze <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Pflanze <sup>-1</sup> |
| Wurzel         | 65,4                       | 18,4                       | 71,90   | 38,69                   | 138,9                                      | 1,4                                      | 7,1                       | 26,0                                    |
| Stiel          | 185,2                      | 12,6                       | 93,17   | 37,91                   | 93,1                                       | 0,9                                      | 4,8                       | 17,6                                    |
| Blätter        | 1121,5                     | 65,8                       | 94,13   | 35,79                   | 459,2                                      | 4,6                                      | 23,5                      | 86,2                                    |
| <b>gesamt</b>  | <b>1372,1</b>              | <b>96,8</b>                |         |                         | <b>691,2</b>                               | <b>6,9</b>                               | <b>35,4</b>               | <b>129,8</b>                            |

Pflanzdichte: Cogollo: 15 Pflanzen/m<sup>2</sup>. Lattich: 6,5 Pflanzen/m<sup>2</sup>

**Tabelle 6** Werte für Kohlenstoff und CO<sub>2</sub>-Anstieg in den verschiedenen Biomassefraktionen (g) in zwei Brokkoli-Sorten

| BROKKOLI<br>PARTHENON | Frischgewicht              | Trockengewicht             | Feuchte | %C                      | C gesamt                                   | C gesamt                                    | PFLANZE GESAMT            |   |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|---------|-------------------------|--|---|---------------------------|---|
|                       | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Pflanze <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Pflanze <sup>-1</sup> |
| Wurzel                | 228,5                      | 42,9                       | 81,23   | 41,48                   | 186,8                                      | 1,9   | 17,8                      | 65,3                                    |
| Stiel                 | 600,9                      | 63,0                       | 89,52   | 41,50                   | 274,5                                      | 2,7   | 26,1                      | 95,7                                    |
| Blätter               | 103,9                      | 11,0                       | 89,41   | 42,04                   | 48,6                                       | 0,5   | 4,6                       | 16,9                                    |
| Blütenstand           | 207,4                      | 22,2                       | 89,57   | 43,98                   | 101,8                                      | 0,5   | 9,7                       | 32,5                                    |
| <b>gesamt</b>         | <b>1140,7</b>              | <b>139,1</b>               |         |                         | <b>611,75</b>                              | <b>6,1</b>                                  | <b>58,2</b>               | <b>210,4</b>                            |
| BROKKOLI<br>NAXOS     | Frischgewicht              | Trockengewicht             | Feuchte | %C                      | C gesamt                                   | C gesamt                                    | PFLANZE GESAMT            |   |
|                       | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Pflanze <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Pflanze <sup>-1</sup> |
| Wurzel                | 196,5                      | 43,9                       | 77,66   | 39,35                   | 181,4                                      | 1,8   | 17,3                      | 63,4                                    |
| Stiel                 | 848,5                      | 101,7                      | 88,01   | 40,00                   | 427,1                                      | 4,3   | 40,7                      | 149,2                                   |
| Blätter               | 51,4                       | 6,4                        | 87,55   | 41,81                   | 27,9                                       | 0,3   | 2,7                       | 9,9                                     |
| Blütenstand           | 186,5                      | 19,9                       | 88,55   | 44,21                   | 96,0                                       | 0,5   | 4,4                       | 16,1                                    |
| <b>gesamt</b>         | <b>1182,7</b>              | <b>161,9</b>               |         |                         | <b>682,4</b>                               | <b>6,8</b>                                  | <b>65,0</b>               | <b>238,7</b>                            |

Pflanzdichte: 3,5 Pflanze/m<sup>2</sup>

**Tabelle 7** Werte für Kohlenstoff und CO<sub>2</sub>-Anstieg in den verschiedenen Biomassefraktionen (g) der Blumenkohlpflanze

| BLUMENKOHL    | Frischgewicht              | Trockengewicht             | Feuchte | %C                      | C gesamt                                   | C gesamt                                    | PFLANZE GESAMT            |   |
|---------------|----------------------------|----------------------------|---------|-------------------------|--|---|---------------------------|---|
|               | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Pflanze <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Pflanze <sup>-1</sup> |
| Wurzel        | 83,75                      | 20,7                       | 75,31   | 38,19                   | 83,0                                       | 0,8   | 7,9                       | 29,0                                    |
| Stiel         | 235,35                     | 24,1                       | 89,76   | 36,27                   | 97,2                                       | 1,0   | 8,7                       | 31,9                                    |
| Blätter       | 1.246,50                   | 118,9                      | 90,46   | 38,40                   | 479,4                                      | 4,8   | 45,7                      | 167,6                                   |
| Blütenstand   | 801,00                     | 74,5                       | 90,69   | 41,77                   | 326,7                                      | 3,3   | 31,1                      | 114,0                                   |
| <b>gesamt</b> | <b>2.366,60</b>            | <b>238,2</b>               |         |                         | <b>986</b>                                 | <b>9,9</b>                                  | <b>93,4</b>               | <b>342,5</b>                            |

Pflanzdichte: 3,5 Pflanze/m<sup>2</sup>

**Tabelle 8** Werte für Kohlenstoff und CO<sub>2</sub>-Anstieg in den verschiedenen Biomassefraktionen (g) der Artischockenpflanze

| ARTISCHOCKE   | Frischgewicht              | Trockengewicht             | Feuchte | %C                      | C gesamt                                   | C gesamt                                    | PFLANZE GESAMT            |   |
|---------------|----------------------------|----------------------------|---------|-------------------------|--|---|---------------------------|---|
|               | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Pflanze <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Pflanze <sup>-1</sup> |
| Wurzel        | 827                        | 277,5                      | 66,5    | 42,20                   | 82   | 0,8   | 117,1                     | 429,4                                   |
| Stiel         | 1281                       | 397,5                      | 69,0    | 39,00                   | 108,5                                      | 1,1   | 155                       | 568,3                                   |
| Blätter       | 2281                       | 439                        | 80,7    | 39,15                   | 120,3                                      | 1,2   | 171,6                     | 629,2                                   |
| Blütenstand   | 598                        | 146                        | 75,7    | 42,33                   | 43,2                                       | 0,4   | 61,8                      | 226,6                                   |
| <b>gesamt</b> | <b>4987</b>                | <b>1260</b>                |         |                         | <b>354</b>                                 | <b>3,5</b>                                  | <b>506</b>                | <b>1.854</b>                            |

Pflanzdichte: 0,7 Pflanze/m<sup>2</sup>

### **3.2 Ermittlung des CO<sub>2</sub>- und Kohlenstoffgehaltes in Getreide**

In den Tabellen 9, 10 und 11 wird die Gesamtmenge des assimilierten Kohlenstoffs pro Pflanze und Jahr sowie die Biomassefraktionen von Hafer, Gerste und Weizen in Gramm sowie die Gesamtmenge des von diesen Getreidesorten aufgenommenen CO<sub>2</sub> dargestellt. Die drei Getreidesorten weisen keine großen Abweichungen voneinander in den verschiedenen Absorptionswerten bei der Berechnung pro Pflanze auf. Bei der Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Fixierung pro Flächeneinheit sind die Werte für Gerste wegen ihrer geringeren Pflanzdichte allerdings leicht niedriger.

**Tabelle 9** Jährliche CO<sub>2</sub>-Absorption und Kohlenstoff-Assimilation in Haferpflanzen

| HAFER              | Frischgewicht              | Trockengewicht             | Feuchte | %C                      | C gesamt                                | C gesamt                                 | PFLANZE GESAMT            |   |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|---------|-------------------------|---|--|---------------------------|---|
|                    | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Pflanze <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Pflanze <sup>-1</sup> |
| Wurzel             | 4,7                        | 0,4                        | 91,03   | 34,21                   | 17,5                                    | 0,2                                      | 0,1                       | 0,37                                    |
| Oberirdischer Teil | 18,5                       | 6,7                        | 63,89   | 42,02                   | 360,4                                   | 3,6                                      | 2,8                       | 10,27                                   |
| <b>gesamt</b>      | <b>23,1</b>                | <b>7,1</b>                 |         |                         | <b>378</b>                              | <b>3,8</b>                               | <b>3,0</b>                | <b>10,63</b>                            |

Pflanzdichte: 128 Pflanzen/m<sup>2</sup>

**Tabelle 10** Jährliche CO<sub>2</sub>-Absorption und Kohlenstoff-Assimilation in Gerstenpflanzen

| GERSTE             | Frischgewicht              | Trockengewicht             | Feuchte | %C                      | C gesamt                                   | C gesamt                                    | PFLANZE GESAMT            |   |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|---------|-------------------------|--|---|---------------------------|---|
|                    | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Pflanze <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Pflanze <sup>-1</sup> |
| Wurzel             | 2,1                        | 0,9                        | 53,63   | 27,65                   | 24,9                                       | 0,2   | 0,2                       | 0,7                                     |
| Oberirdischer Teil | 61,8                       | 7,9                        | 87,29   | 42,73                   | 300  | 3,0   | 3                         | 12,3                                    |
| <b>gesamt</b>      | <b>63,9</b>                | <b>8,8</b>                 |         |                         | <b>325</b>                                 | <b>3,2</b>                                  | <b>3,6</b>                | <b>13,0</b>                             |

Pflanzdichte: 100 Pflanze/m<sup>2</sup>

**Tabelle 11** Jährliche CO<sub>2</sub>-Absorption und Kohlenstoff-Assimilation in Weizenpflanzen

| WEIZEN             | Frisch-<br>gewicht         | Trockengewicht             | Feuchte | %C                      | C gesamt                                | C gesamt                                 | PFLANZE GESAMT               |   |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|---------|-------------------------|---|--|------------------------------|---|
|                    | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | (g Pflanze <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | g C<br>Pflanze <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Pflanze <sup>-1</sup> |
| Wurzel             | 1,5                        | 0,7                        | 49,80   | 26,54                   | 23,2                                    | 0,2                                      | 0,2                          | 0,7                                     |
| Oberirdischer Teil | 16,8                       | 6,7                        | 60,23   | 42,26                   | 354                                     | 3,5                                      | 2,8                          | 10,3                                    |
| <b>gesamt</b>      | <b>18,3</b>                | <b>7,4</b>                 |         |                         | <b>377,2</b>                            | <b>3,8</b>                               | <b>3,0</b>                   | <b>11,0</b>                             |

Pflanzdichte: 125 Pflanze/m<sup>2</sup>

### **3.3. Ermittlung der Kohlenstoffmenge und CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch Obstbäume**

Die Ergebnisse der CO<sub>2</sub>-Ermittlung für die Baumarten Aprikose, Kirsche, Pfirsich, Nektarine, Tafeltraube, Zitrone, Orange und Mandarine sind in Tabellen 12 bis 16 aufgeführt.

In den Tabellen sind die durchschnittlichen Jahresgesamtwerte für Biomasse und CO<sub>2</sub>-Aufnahme auf der Grundlage des prozentualen Kohlenstoffanteils für die einzelnen Fraktionen, in die die Pflanze geteilt war, enthalten. Die gesamte Kohlenstoffmenge wurde aus der ganzen Pflanze und unter Berücksichtigung der gesamten Fruchtproduktion und des Wachstums bestimmt.

Tabelle 12 zeigt die Analysewerte der Aprikose, die beim Kohlenstoffgehalt und der CO<sub>2</sub>-Aufnahme pro Baum höher liegen als bei den anderen Steinobstbäumen. Berücksichtigt man jedoch, dass die Pflanzdichte der Aprikose nur halb so groß wie die der anderen Steinobstbäume ist, so hat der Pfirsich die besten Werte pro Flächeneinheit (Tabelle 14). Berücksichtigten wir tatsächlich nur den Kohlenstoffgehalt und die CO<sub>2</sub>-Aufnahme pro Flächeneinheit, so wäre der Aprikosenbaum die Art mit den schlechtesten Werten gefolgt von der Kirsche (Tabelle 13). Die besten Werte erzielen der Pfirsich- und der Nektarinenbaum (Tabelle 14 und 15). Dabei ist zu beachten, dass die Kirsche der Steinobstbaum mit dem geringsten Trockengewicht (Biomasse) der vier untersuchten ist, was eine höhere CO<sub>2</sub>- und Kohlenstoff-Aufnahmefähigkeit anzeigt.

Die für Tafeltraubenstöcke ermittelten Werte (Tabelle 16) zeigen, dass diese, obwohl sie nur halb soviel Trockengewicht wie der Nektarinenbaum aufweisen, ähnliche Werte für die Kohlenstoff-Aufnahme pro Flächeneinheit erzielen. Vergleicht man andererseits die Werte für die Kohlenstoff- und CO<sub>2</sub>-Aufnahme pro Stock mit den für das Steinobst ermittelten Daten, liegen die Werte deutlich darunter (bis zu 75% beim Vergleich mit der Aprikose).

**Tabelle 12** Gesamte jährliche CO<sub>2</sub>-Akkumulation pro Biomassefraktion des Aprikosenbaums.

| APRIKOSE        | Frischgewicht           | Trockengewicht          | Feuchte | %C                      | C gesamt                                   | C gesamt                                 | BAUM GESAMT            |                                      |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|--|--|------------------------|--------------------------------------|
|                 | (g Baum <sup>-1</sup> ) | (g Baum <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Baum <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Baum <sup>-1</sup> |
| Wurzel          | 25.217                  | 15.130                  | 40,00   | 43,04                   | 132,8                                      | 1,3                                      | 6.512                  | 23.870                               |
| Äste und Zweige | 10.185                  | 6.057                   | 40,53   | 46,74                   | 57,8                                       | 0,6                                      | 2.831                  | 10.381                               |
| Blätter         | 12.081                  | 5.074                   | 58,00   | 45,13                   | 46,7                                       | 0,5                                      | 2.290                  | 8.396                                |
| Frucht          | 125.000                 | 18.588                  | 85,13   | 64,5                    | 174,3                                      | 1,7                                      | 8.545                  | 31.331                               |
| Stamm           | 10.297                  | 6.134                   | 40,53   | 46,74                   | 58,5                                       | 0,6                                      | 2.867                  | 10.512                               |
| <b>gesamt</b>   | <b>182.780</b>          | <b>50.983</b>           |         |                         | <b>470,1</b>                               | <b>4,7</b>                               | <b>23.045</b>          | <b>84.498</b>                        |

Pflanzdichte: 0,0204 Pflanze/m<sup>2</sup>

**Tabelle 13** Gesamte jährliche CO<sub>2</sub>-Aufnahme pro Biomassefraktion des Kirschbaums.

| KIRSCHKE           | Frischgewicht           | Trockengewicht          | Feuchte | %C                      | C gesamt                                   | C gesamt                                    | BAUM GESAMT            |                                      |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|--|---|------------------------|--------------------------------------|
|                    | (g Baum <sup>-1</sup> ) | (g Baum <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Baum <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Baum <sup>-1</sup> |
| Wurzel             | 12.600                  | 7.840                   | 37,78   | 48,21                   | 215,0                                      | 2,2   | 3.780                  | 13.859                               |
| Äste und<br>Zweige | 2.882                   | 1.487                   | 48,40   | 47,09                   | 39,9                                       | 0,4   | 700                    | 2.568                                |
| Blätter            | 1.737                   | 722                     | 58,43   | 42,41                   | 17,5                                       | 0,2   | 306                    | 1.123                                |
| Früchte            | 75.000                  | 10.583                  | 85,89   | 49,38                   | 297,9                                      | 3,0   | 5.226                  | 19.161                               |
| Stamm              | 4.792                   | 2.355                   | 50,86   | 47,09                   | 63   | 1   | 1.109                  | 4.066                                |
| <b>gesamt</b>      | <b>97.011</b>           | <b>22.987</b>           |         |                         | <b>633.3</b>                               | <b>6.3</b>                                  | <b>11.121</b>          | <b>40.777</b>                        |

Pflanzdichte: 0,057 Bäume/m<sup>2</sup>

**Tabelle 14** Gesamte jährliche CO<sub>2</sub>-Aufnahme pro Biomassefraktion des Pfirsichbaums.

| PFIRSICH        | Frischgewicht           | Trockengewicht          | Feuchte | %C                      | C gesamt                                | C gesamt                                 | BAUM GESAMT            |                                      |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|---|--|------------------------|--------------------------------------|
|                 | (g Baum <sup>-1</sup> ) | (g Baum <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Baum <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Baum <sup>-1</sup> |
| Wurzel          | 15.308                  | 9.832                   | 35,77   | 48,02                   | 268,9                                   | 2,7                                      | 4.721                  | 17.312                               |
| Äste und Zweige | 4.200                   | 2.259                   | 46,22   | 45,56                   | 58,9                                    | 0,6                                      | 1.029                  | 3.773                                |
| Blätter         | 11.700                  | 5.005                   | 57,22   | 44,13                   | 125,9                                   | 1,3                                      | 2.209                  | 8.099                                |
| Früchte         | 78.000                  | 8.182                   | 89,51   | 46,84                   | 218,5                                   | 2,2                                      | 3.833                  | 14.053                               |
| Stamm           | 7.273                   | 3.911                   | 46,22   | 45,56                   | 101,6                                   | 1,0                                      | 1782                   | 6.534                                |
| <b>gesamt</b>   | <b>116.481</b>          | <b>25.122</b>           |         |                         | <b>773.8</b>                            | <b>7.7</b>                               | <b>13.574</b>          | <b>49.771</b>                        |

Pflanzdichte: 0,057 Bäume/m<sup>2</sup>

**Tabelle 15** Gesamte jährliche CO<sub>2</sub>-Aufnahme pro Biomassefraktion des Nektarinenbaums.

| NEKTARINE       | Frischgewicht           | Trockengewicht          | Feuchte | %C                      | C gesamt                                | C gesamt                                 | BAUM GESAMT            |                                      |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|---|--|------------------------|--------------------------------------|
|                 | (g Baum <sup>-1</sup> ) | (g Baum <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Baum <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Baum <sup>-1</sup> |
| Wurzel          | 13.308                  | 8.548                   | 35,77   | 48,02                   | 234,0                                   | 2,3                                      | 4.105                  | 15.052                               |
| Äste und Zweige | 3.200                   | 1.721                   | 46,22   | 45,56                   | 41,9                                    | 0,4                                      | 784                    | 2.875                                |
| Blätter         | 9.700                   | 4.150                   | 57,22   | 44,13                   | 52                                      | 0,5                                      | 1.831                  | 6.714                                |
| Früchte         | 75.000                  | 9.608                   | 87,19   | 49,01                   | 299,2                                   | 3  | 4.709                  | 17.266                               |
| Stamm           | 5.273                   | 2.836                   | 46,22   | 45,56                   | 80                                      | 0,8                                      | 1.292                  | 4.738                                |
| <b>gesamt</b>   | <b>106.481</b>          | <b>26.862</b>           |         |                         | <b>739,8</b>                            | <b>7</b>                                 | <b>12.721</b>          | <b>46.644</b>                        |

Pflanzdichte: 0,057 Bäume/m<sup>2</sup>

**Tabelle 16** Jährliche CO<sub>2</sub>-Absorption und Kohlenstoff-Assimilation in Tafeltraubenstöcken

| TAFELTRAUBEN    | Frischgewicht           | Trockengewicht          | Feuchte | %C                      | C gesamt                                   | C gesamt                                 | BAUM GESAMT            |                                      |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|--|--|------------------------|--------------------------------------|
|                 | (g Baum <sup>-1</sup> ) | (g Baum <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Baum <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Baum <sup>-1</sup> |
| Wurzel          | 6.242                   | 2.788                   | 55,33   | 44,98                   | 103  | 1,0                                      | 1.254                  | 4.599                                |
| Äste und Zweige | 3.615                   | 1.387                   | 61,62   | 45,89                   | 52,2                                       | 0,5                                      | 637                    | 2.335                                |
| Blätter         | 5.187                   | 1.737                   | 66,58   | 46,18                   | 65,8                                       | 0,7                                      | 802                    | 2.941                                |
| Früchte         | 47.500                  | 6.992                   | 85,28   | 47,17                   | 270,4                                      | 2,7                                      | 3.298                  | 12.093                               |
| Stamm           | 1.624                   | 800                     | 50,74   | 45,89                   | 30   | 0  | 367                    | 1.347                                |
| <b>gesamt</b>   | <b>64.168</b>           | <b>13.704</b>           |         |                         | <b>521.4</b>                               | <b>5.2</b>                               | <b>6.358</b>           | <b>23.315</b>                        |

Pflanzdichte: 0,082 Pflanze/m<sup>2</sup>

### 3.4 CO<sub>2</sub>-Ermittlung in Zitruspflanzen

Aus jeder der für Zitruspflanzen aufgeführten Tabellen (Tabellen 17 - 19) sind die Gesamtgewichte nach Biomasseklassen und -fraktionen sowie die jährlich assimilierte CO<sub>2</sub>-Menge pro Baum ersichtlich.

Der Zitronenbaum (Tabelle 17) erzielt die besten Werte, nicht nur im Vergleich mit den anderen Zitruspflanzen, sondern auch zu den anderen Baumarten. Er weist die besten Aufnahme- und Akkumulationswerte sowohl pro Baum (er verfügt über die größte Biomasse im Vergleich zu den anderen Arten), als auch pro Flächeneinheit auf. Allgemein erweist er sich als Anbaupflanze mit der besten Fähigkeit zur CO<sub>2</sub>-Fixierung. Der Orangenbaum (Tabelle 18) weist wesentlich schlechtere Werte als der Zitronenbaum auf, die aber denen der Steinobstbäume ähnlich sind, während der Mandarinenbaum (Tabelle 19) die schlechtesten Werte hat.

**Tabelle 17** Jahreswerte zu CO<sub>2</sub>-Absorption und Kohlenstoff-Assimilation in Zitronenbäumen

| ZITRONE             | Frischgewicht           | Trockengewicht          | Feuchte | %C                      | C gesamt                                | C gesamt                                    | BAUM GESAMT            |                                      |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|---|---|------------------------|--------------------------------------|
|                     | (g Baum <sup>-1</sup> ) | (g Baum <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Baum <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Baum <sup>-1</sup> |
| Wurzel              | 26.833                  | 13.953                  | 48,00   | 43,87                   | 174,9                                   | 1,7   | 6.121                  | 22.446                               |
| Äste und<br>Zweige  | 17.000                  | 8.898                   | 47,66   | 44,23                   | 112,4                                   | 1,1   | 3.935                  | 14.430                               |
| Blätter +<br>Stiele | 36.667                  | 15.576                  | 57,52   | 43,30                   | 192,7                                   | 1,9   | 6.744                  | 24.729                               |
| Früchte             | 200.000                 | 26.540                  | 86,73   | 42,51                   | 322,3                                   | 3,2   | 11.282                 | 41.368                               |
| Stamm               | 4.330                   | 2.266                   | 47,66   | 44,23                   | 28,6                                    | 0,3   | 1.080                  | 3.960                                |
| <b>gesamt</b>       | <b>284.830</b>          | <b>67.233</b>           |         |                         | <b>831</b>                              | <b>8,3</b>                                  | <b>29.163</b>          | <b>106.933</b>                       |

Pflanzdichte: 0,028 Bäume/m<sup>2</sup>

**Tabelle 18** Jahreswerte zu CO<sub>2</sub>-Absorption und Kohlenstoff-Assimilation in Orangenbäumen

| ORANGE              | Frischgewicht           | Trockengewicht          | Feuchte | %C                      | C gesamt                                | C gesamt                                    | BAUM GESAMT            |                                      |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|---|---|------------------------|--------------------------------------|
|                     | (g Baum <sup>-1</sup> ) | (g Baum <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Baum <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Baum <sup>-1</sup> |
| Wurzel              | 7.555                   | 2.420                   | 67,97   | 44,13                   | 44,8                                    | 0,4   | 1.068                  | 3.916                                |
| Äste und<br>Zweige  | 6.217                   | 3.362                   | 45,93   | 44,13                   | 62,3                                    | 0,6   | 1.483                  | 5.439                                |
| Blätter +<br>Stiele | 8.893                   | 3.945                   | 55,64   | 40,80                   | 67,6                                    | 0,7   | 1.610                  | 5.902                                |
| Früchte             | 100.000                 | 20.568                  | 82,86   | 41,90                   | 362,0                                   | 3,6   | 8.618                  | 31.599                               |
| Stamm               | 2.845                   | 1.538                   | 45,93   | 44,13                   | 28,5                                    | 0,3   | 679                    | 2.489                                |
| <b>gesamt</b>       | <b>133.510</b>          | <b>31.833</b>           |         |                         | <b>565,2</b>                            | <b>5,6</b>                                  | <b>13.458</b>          | <b>49.345</b>                        |

Pflanzdichte: 0,042 Bäume/m<sup>2</sup>

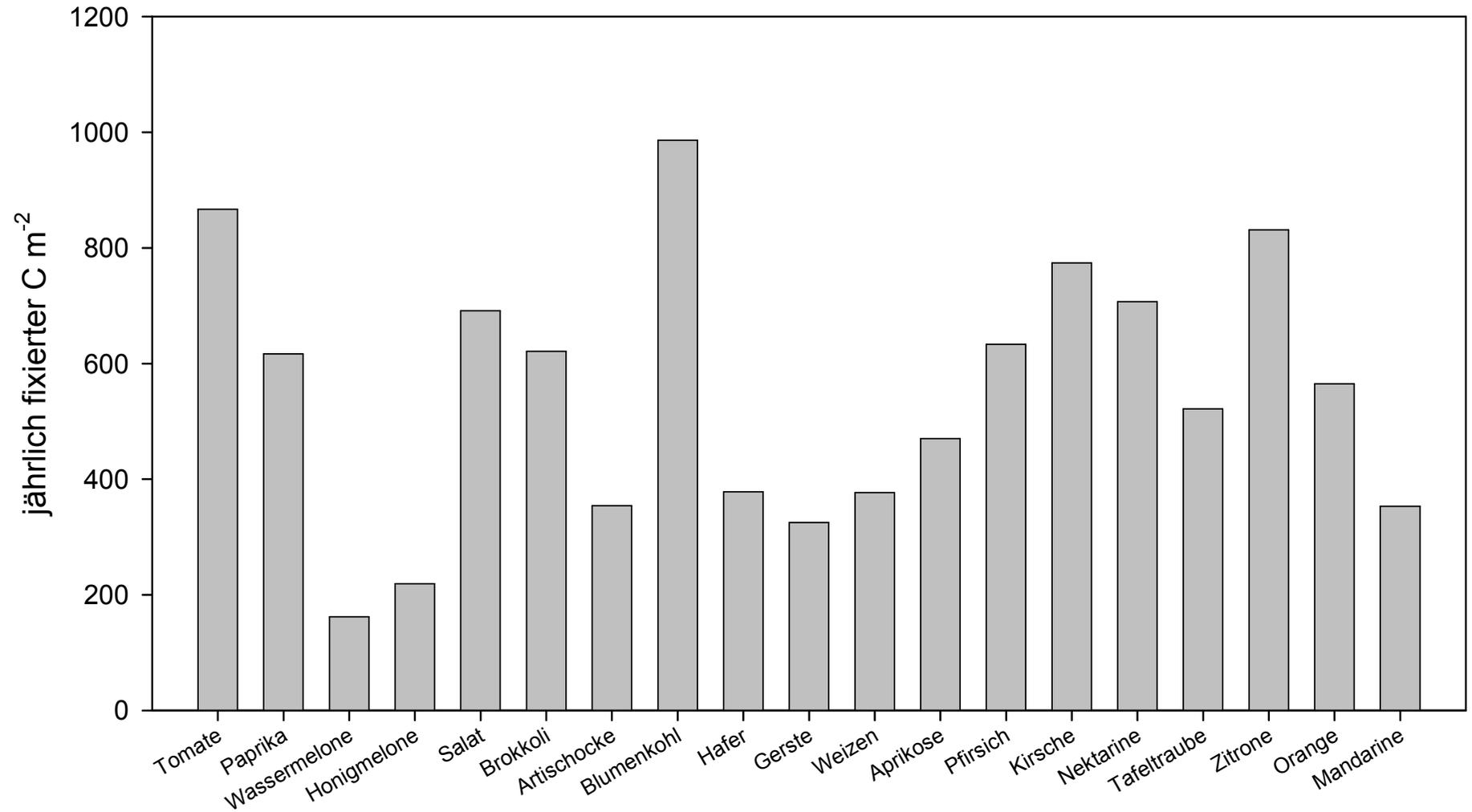
**Tabelle 19** Jahreswerte zu CO<sub>2</sub>-Absorption und Kohlenstoff-Assimilation in Mandarinenbäumen

**MANDARINE**

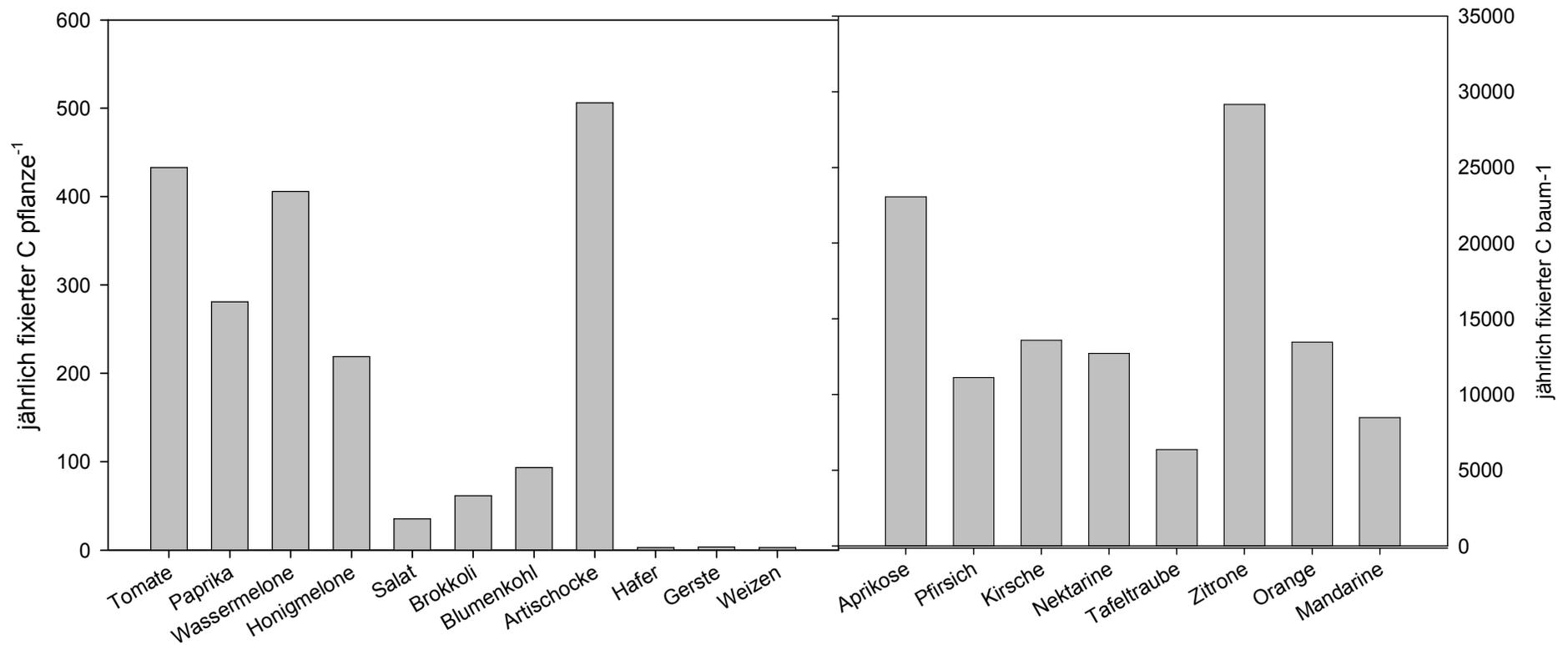
| MANDARINE           | Frischgewicht           | Trockengewicht          | Feuchte | %C                      | C gesamt                                   | C gesamt                                 | BAUM GESAMT            |                                      |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|--|--|------------------------|--------------------------------------|
|                     | (g Baum <sup>-1</sup> ) | (g Baum <sup>-1</sup> ) | %       | (% Trocken-<br>gewicht) | (g m <sup>-2</sup><br>Jahr <sup>-1</sup> ) | (T ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> ) | g C Baum <sup>-1</sup> | g CO <sub>2</sub> Baum <sup>-1</sup> |
| Wurzel              | 2.858                   | 957                     | 66,52   | 44,98                   | 17,9                                       | 0,2                                      | 430,5                  | 1578,5                               |
| Äste und<br>Zweige  | 1.050                   | 632                     | 39,78   | 44,98                   | 11,8                                       | 0,1                                      | 284,4                  | 1042,8                               |
| Blätter +<br>Stiele | 4.667                   | 2.239                   | 52,02   | 40,57                   | 37,8                                       | 0,4                                      | 908,4                  | 3330,8                               |
| Früchte             | 80.000                  | 15.496                  | 80,63   | 43,50                   | 280,8                                      | 2,8                                      | 6740,8                 | 24716,3                              |
| Stamm               | 435                     | 262                     | 39,78   | 44,98                   | 5  | 0,05                                     | 118                    | 432                                  |
| <b>gesamt</b>       | <b>89.010</b>           | <b>19.587</b>           |         |                         | <b>353</b>                                 | <b>3,5</b>                               | <b>8.482</b>           | <b>31.101</b>                        |

Pflanzdichte: 0,042 Bäume/m<sup>2</sup>

Zusammenfassend werden in Bild 3 und 4 die Werte für den jährlich fixierten Kohlenstoff für die verschiedenen Anbaupflanzen sowohl pro Flächeneinheit ( $\text{m}^2$  in Bild 3 als auch pro Pflanze bzw. Baum in Figur 4) angegeben. In Bild 4 werden die Bäume aufgrund ihrer abweichenden Größe getrennt von den anderen Anbaupflanzen angegeben. Man erkennt, dass 50% der Anbaupflanzen, sowohl Früchte und Gemüse als auch Bäume über 500 g Kohlenstoff pro  $\text{m}^2$  fixieren, das entspricht mehr als 1800 g  $\text{CO}_2$  pro  $\text{m}^2$ .



**Bild 3** Gesamter jährlich fixierter Kohlenstoff der untersuchten Anbaupflanzen pro Flächeneinheit in m<sup>2</sup>.



**Bild 4** Gesamter jährlich fixierter Kohlenstoff der untersuchten Anbaupflanzen pro Pflanze bzw. Baum.

#### 4.- ERÖRTERUNG

Die in dieser Arbeit vorgestellten Daten wurden anhand landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten aus der Region Murcia erhoben. Die Proben wurden in verschiedenen Teilen der Region entnommen, für die die jeweilige Anbaupflanze repräsentativ ist. So wurde ein allgemein gültiges Abbild der ganzen Region erstellt, auch wenn in manchen Teilen das Wachstum oder die Arten unterschiedlich sein können.

In dieser Arbeit werden Angaben zur CO<sub>2</sub>-Aufnahme pro Pflanze gemacht, um die verschiedenen landwirtschaftlich genutzten Arten vergleichen zu können; aber für eine genauere Betrachtung im Gesamtzusammenhang müssen die Ergebnisse pro Hektar und die Erkenntnisse über die Pflanzdichte berücksichtigt werden.

Generell können wir aufgrund der in dieser Arbeit ermittelten Daten feststellen, dass die Artischocke von den untersuchten Früchten und Gemüsen die effizienteste Pflanze in der CO<sub>2</sub>-Aufnahme ist, gefolgt von Tomate und Wassermelone (Bild 1). Analysiert man jedoch die Ergebnisse pro Flächeneinheit, erweist sich der Blumenkohl als effizienteste Art und die Artischocke wird zusammen mit Wassermelone und Honigmelone zu einer der weniger effizienten. Bei der Untersuchung von Getreide pro Pflanze erweist sich dieses als sehr effizient in der CO<sub>2</sub>-Fixierung und übertrifft die für Früchte und Gemüse ermittelten Werte. Auf die Fläche bezogen müssen die Ergebnisse aber als sehr niedrig bewertet werden.

Pfirsich und Nektarine sind die effizientesten CO<sub>2</sub>-Fixierer pro Einheit Anbaufläche, gefolgt von der Kirsche und zuletzt der Aprikose. Obwohl die Aprikose am meisten CO<sub>2</sub> pro Baum fixiert, ist die Effizienz niedriger aufgrund des für den Anbau verwendeten Pflanzrasters (7mx7m), der deutlich über dem sonst für Steinobst üblichen (3,5mx5m) liegt. Berücksichtigen wir aber andererseits das Verhältnis von kg Kohlenstoff / kg Trockenmaterie, das bei allen Arten sehr ähnlich ist, dann erkennen wir, dass außer dem Pflanzraster auch die vegetative Fähigkeit der Arten die Fähigkeit zur CO<sub>2</sub>-Aufnahme pro

Pflanze beeinflusst. Die Kirsche wird zum Beispiel in demselben Pflanzraster wie der Pfirsich und die Nektarine angebaut, hat aber aufgrund ihrer geringeren vegetativen Tätigkeit eine verminderte Fähigkeit zur CO<sub>2</sub>-Fixierung im Vergleich zu den anderen.

Von den in dieser Arbeit analysierten Bäumen zeigte der Zitronenbaum die besten CO<sub>2</sub>-Aufnahmewerte, sowohl bezogen auf die Fläche als auch auf den einzelnen Baum. In diesem Fall ist die große vegetative Aktivität, die der Zitronenbaum im Laufe seines Lebens entwickelt, ausschlaggebend für die CO<sub>2</sub>-Aufnahme. Er entwickelt sich zu dem Baum mit den meisten Blättern, der größten Blattfläche und somit der größten CO<sub>2</sub>-Aufnahmefähigkeit. In der modernen Landwirtschaft werden der Orangenbaum und der Mandarinenbaum wesentlich niedriger gehalten als der Zitronenbaum. Und obwohl deren Pflanzraster kleiner ist, liegen ihre CO<sub>2</sub>-Aufnahmewerte deutlich unter denen der Zitrone, sogar noch unter denen des Pfirsichs und der Nektarine, die ein geringeres Trockengewicht als der Orangenbaum haben. In diesem Fall schränkt das für den korrekten Anbau der Orange genutzte Pflanzraster die CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch die Pflanze ein.

Zuletzt zeigt die Tafeltraube die akzeptabelsten Werte in der CO<sub>2</sub>-Aufnahme im Vergleich mit den anderen Arten, wenn wir berücksichtigen, dass das die Anbaupflanze mit der geringsten Biomasse aller untersuchten ist. In diesem Fall wird die CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch die hohe Anbaudichte (3,5mx3,5m) begünstigt.

Zu berücksichtigen ist zudem die Abfallmenge, die von jeder Anbaupflanze erzeugt wird und wie diese verwendet wird. So macht zum Beispiel das beim Baumschnitt in den Forstgebieten erzielte Pflanzenmaterial eine Kohlenstoff-Fixierung am Boden von 20-35% des Kohlenstoffgehaltes des Baumschnitts pro Jahr aus (Brady und Weil, 2004). Mit dieser Methode könnten die Bodenbedingungen verbessert und die CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Atmosphäre verringert werden, da das Verbrennen von Pflanzenresten bzw. Baumbeschnitt nicht nur der Umwelt schadet, weil dadurch CO<sub>2</sub> erzeugt wird, sondern auch weil die Anbauflächen veröden, u.a. durch die Ausrottung kleiner Insekten und Mikroorganismen in den oberen Bodenschichten (Blanco-Roldán und Cuevas,

2002). Außerdem können diese Abfälle als Rohstoff für die Gewinnung erneuerbarer Energien genutzt werden, wie zum Beispiel von Biodiesel. Zählen wir nun die Abfälle aus dem Baumschnitt zu den durch Behandlung und/oder Verarbeitung von Gartenbauerzeugnissen in der Industrie gewonnenen hinzu (Schalen, Mark, Kerne und Samen), so könnten wir über eine beträchtliche Menge möglicher Rohstoffe für die Erzeugung von Biodiesel, Aromen, Viehfutter und/oder Wasser, sowohl für die Bewässerung als auch gereinigtes Wasser verfügen. All diese Nebenprodukte würden die ökologische Effizienz des Anbaus erhöhen und insgesamt eine nachhaltige Landwirtschaft fördern.

Auf der anderen Seite müssen wir aber auch die Düngemethoden für jede Anbaupflanze berücksichtigen. Der massive Einsatz chemischer Düngemittel in der Landwirtschaft lässt eine nachlassende Fruchtbarkeit der Böden und einen Anstieg der Treibhausgas-Emissionen befürchten. Der Abbau von Nährstoffen im Boden ist das Ergebnis eines wachsenden Drucks auf die landwirtschaftlichen Flächen, der nicht kompensierte Nährstoffverluste fördert (Wopereis et al., 2006). Deshalb ist das Zusetzen organischer Substanzen so notwendig, um sicherzustellen, dass die intensiven Systeme die nachhaltige Verwendung der Böden nicht gefährdet. Allerdings haben kleinere Erzeuger Bedenken beim Einsatz organischer Abfälle oder Kompost, weil Gewinne und Sicherheit schwer einzuschätzen sind. Und tatsächlich hat der Anbau mit organischem Dünger den Nachteil, weniger ertragreich zu sein als der mit konventionellen Mitteln (Mäder et al., 2002; Dumas et al., 2003), da organischer Dünger die Nährstoffe nicht so schnell und gleichmäßig bereitstellen wie mineralische Dünger (Båth, 2000; Kirchmann et al., 2002; Gunnarsson, 2003). Deshalb wachsen Pflanzen, die mit organischem Dünger angebaut werden, normalerweise langsamer als die mit leicht zugänglichen, mineralischen Düngemitteln gezogenen Pflanzen (Robertson et al., 2000). Wenn auch nicht abschließend nachgewiesen werden konnte, dass organische Erzeugnisse nahrhafter sind als konventionell angebaute (Winter, 2006), konnte festgestellt werden, dass die Verwendung organischer Dünger den Ausstoß von Treibhausgasen verringert (Matson et al., 1990). Die in der Landwirtschaft eingesetzten Dünger können als die größte vom Menschen verursachte N<sub>2</sub>O-

Quelle betrachtet werden, ein Gas, das 70% des Treibhauseffektes ausmacht (Bouwman 1994; Watson et al., 1992).

Die in dieser Arbeit gemachten Berechnungen zeigen auch die Richtungen auf, in die die Politik gehen müsste, wenn man den CO<sub>2</sub>-Wert in der Atmosphäre senken möchte. Gebiete, die natürlich wenig bewachsen sind, müssten stärker landwirtschaftlich genutzt und somit auf größerer Fläche mit Pflanzen bedeckt sein; außerdem muss man berücksichtigen, dass eine verstärkte Bewässerung für eine größere Menge landwirtschaftlicher Biomasse sorgt. Das in weiten Teilen der Region vorherrschende Halbwüstenklima sorgt zudem für eine stark ansteigende Evapotranspiration und so für einen erhöhten Wasserbedarf (Cubasch et al., 2001).

## **5.- SCHLUSSFOLGERUNGEN**

Aus dieser Arbeit wird ersichtlich, dass wir von den Pflanzen abhängig sind, um den Treibhauseffekt aufzuhalten. Deshalb ist ein wichtiger Teil zur Bewältigung des Klimawandels der Erhalt möglichst vieler bewachsener Gebiete. Wir müssen ihre Aufnahmefähigkeit durch eine Verbesserung der landwirtschaftlichen Methoden und der Verwendung von Nebenprodukten optimieren. Außerdem müssen wir die immense Anpassungsfähigkeit von Pflanzen, die sie die großen Veränderungen über Milliarden Jahre hat überdauern lassen, als Forschungsgrundlage nutzen, um die Situation unserer Landwirtschaft unter den zukünftigen klimatischen Bedingungen bewerten zu können.

Insgesamt zeigen die erzielten Ergebnisse die Notwendigkeit auf, die landwirtschaftlichen Systeme in unserer Region mit einer stärkeren Bewässerungsleistung zu erhalten, was zu einem Anwachsen der landwirtschaftlich erzeugten Biomasse und somit zu einer höheren CO<sub>2</sub>-Aufnahme aus der Atmosphäre führt. Daneben müssen wir uns verpflichten, die Nebenprodukte für die Energieerzeugung und als Dünger wieder zu verwenden sowie auch das in den Organen und im Gewebe der Pflanzen enthaltene Wasser.

## Danksagungen

Die Autoren danken folgenden Unternehmen und Vereinigungen für ihre Bereitschaft, Proben zur Verfügung zu stellen, sowie für die technische Unterstützung und Beratung im Laufe der Studie: LANGMEAD FARMS, Finca experimental del CEBAS-CSIC, JOSÉ PEÑALVER FERNÁNDEZ, CDTA EL MIRADOR, MORTE QUILES, FRUTAS ESTHER, PATRICIO PEÑALVER AZNAR, FRUTAS TORERO, APROEXPA y FECOAM

## BIBLIOGRAFIE

- Báth, B. (2000) Matching the availability of N mineralisation from green-manure crops with the N-demand of field vegetables, PhD Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Biodisol.com (2009) <http://www.biodisol.com/biocombustibles/investigadores-la-upv-crean-un-proceso-para-reutilizar-los-desechos-de-los-citricos-usados-para-zumos-energias-renovables-biocombustibles-investigacion-e-innovacion/>
- Blanco-Roldán, G., Cuevas, S. (2002). La importancia de la maquinaria para la poda y manejo de restos. *Vida Rural*. 1 de Febrero de 2002, 56-58.
- Bouwman, A. F. (1994) *Direct Emission of Nitrous Oxide from Agricultural Soils* (Report No. 773004004, National Institute of Public Health and Environmental protection, Bilthoven, the Netherlands)
- Brady, N.C. and Weil, R.R. (2004). *Elements of the Nature and Properties of Soils*, 2/E. Ed. Pearson Prentice Hall, N.J.
- Cubasch U, Meehl GA, Boer GJ et al. (2001) Projections of future climate change. In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Houghton JT), pp. 525–582. Cambridge University Press, Cambridge.
- Dumas Y., Dadomo M., Di Lucca G., Grolier P. (2003) Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes, *J. Sci. Food Agric.* 83, 369–382.

- Gunnarsson S. (2003) Optimisation of N release – Influence of plant material chemical composition on C and N mineralization, PhD Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. (2003). Edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner.
- Kimball B.A., Kobayashi K., Bindi M. (2002) Responses of agricultural crops to free-air CO<sub>2</sub> enrichment, *Adv. Agron.* 77, 293–368.
- Kirchmann H., Johnston A. E. J., Bergström L. F. (2002) Possibilities for reducing nitrate leaching from agricultural land, *Ambio* 31, 404–408
- Lal R. (1997). Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. *Soil Tillage Res* 43:81–107
- Mäder P., Fliessbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P., Niggli U. (2002) Soil fertility and biodiversity in organic farming, *Science* 296, 1694–1697.
- Martínez-Ballesta, M.C., Lopez-Perez, L. Muries, B, Muñoz-Azcarate, O., Carvajal, M. (2009) Climate change and plant water balance. The role of aquaporins. *Sustainable Agricultural Reviews* (E. Lichtfouse, Ed.) Vol 2, 71-89.
- Matson, P.A., Naylor, R. Ortiz-Monasterio I. (1999) Integration of environmental, agronomic, and economic aspects of fertilizer management. *Science* 280: 112-115.
- Morgan, K.T., Scholberg J.M.S., Obreza T.A. Wheaton T.A. Size, (2006) Biomass, and Nitrogen Relationships with Sweet Orange Tree Growth J. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 131(1):149–156..
- Robertson GP, Paul EA and Harwood R, (2000). Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 289:1922–1925
- Sofa, A., Nuzzo, V., Palese, A.M., Xiloyannis, C., Celano, G., Zukowsky P., Dichio. B. (2005) Net CO<sub>2</sub> storage in Mediterranean olive and peach orchards. *Sci. Hortic.* 107:17–24.

- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood y D. Wratt. (2007): Technical Summary. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge y New York: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller ed. Pp, 25.
- Steudle E., Peterson C. (1998) How does water get through roots? *J. Exp. Bot* 49, 775-788.
- UNESA, (2005). Forestación y Reforestación. Sumideros de Carbono. En: *Metodologías para la Implementación de los Mecanismos flexibles de Kioto – Mecanismo de Desarrollo Limpio en Latinoamérica*. Rivero Torre, Pedro, León, Gonzalo, Eichhamer, Wolfgang, Deputy, Gázquez Mateos, José Luis, González Santaló, José Miguel, Ferrando Bravo, Gerardo, Cisneros Gárate, Pablo, Pérez Pallarés, Diego. Capítulo 8.
- Watson, R. T., L. G. Meiro Filho, E. Sanhueza, A. Janetos, (1992) in *Climate Change 1992—The Supplementary Report to the Intergovernmental Panel on Climate Change Scientific Assessment* (Cambridge Univ. Press, New York, 1992), pp. 25–46.
- Winter C.K., Davis S.F. (2006) Organic foods, *J. Food Sci.* 71, R117–R124.
- Wopereis M.C.S., Tamélokpo A., Ezui K., Gnakpénou D., Fofana B., Breman H. (2006) Mineral fertilizer management of maize on farmer fields differing in organic inputs in the West African savanna, *Field Crop. Res.* 96, 355–362.