
CO₂-Bindungsvermögen der für die Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen

- Bericht -

Auftragnehmer

Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte
an der Humboldt-Universität zu Berlin
Philippsstraße 13
10115 Berlin

☎ 030-2093 9061 Fax: 030-2093 9065

E-Mail: iasp@agrار.hu-berlin.de



Auftraggeber

Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e. V. (FBB)
Kanalstraße 2
D-66130 Saarbrücken

☎ 0681 / 98 80 570

E-Mail: info@fbb.de

Wissenschaftliche Bearbeitung: Dipl.-Ing. Susanne Herfort
Dipl.-Ing. Steffi Tschuikowa
Andrés Ibañez

Projektlaufzeit: 01.06.2012 bis 31.12.2012

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel und Aufgabenstellung der Studie	9
2	Recherchen zur CO₂-Bindungskapazität.....	9
2.1	Pflanzen allgemein	9
2.2	Pflanzen für die extensive Dachbegrünung.....	13
2.3	Pflanzen für die intensive Dachbegrünung	15
3	Pflanzenversuche zur CO₂-Bindungskapazität von ausgewählten Pflanzen und Vegetationsformen extensiver Dachbegrünungen .	16
3.1	Versuche mit ausgewählten Pflanzen.....	16
3.1.1	Problem- und Zielstellung	16
3.1.2	Material und Methoden.....	16
3.1.3	Ergebnisse der Praxisuntersuchungen	20
3.2	Untersuchungen zur Biomasseproduktion von begrünten Dachflächen.....	22
3.2.1	Problem- und Zielstellung	22
3.2.2	Material und Methoden.....	22
3.2.3	Ergebnisse der Praxisuntersuchungen	25
4	Modellrechnungen anhand der ermittelten Daten und Recherchen zur CO₂-Bindungskapazität	30
4.1	Übersichtstabelle zur CO ₂ -Bindungskapazität in Abhängigkeit der Vegetationsform.....	30
4.2	Berechnung der CO ₂ -Bindungskapazität begrünter Dachflächen.....	31
5	Zusammenfassung.....	33
Literatur		35
Anhang		36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	CO ₂ -Messung in großer Plexiglasbox	17
Abbildung 2	CO ₂ -Messung in kleiner Plexiglasbox.....	17
Abbildung 3	CO ₂ -Messung in Plexiglaszylinder.....	17
Abbildung 4	Messgeräte zur Aufnahme von CO ₂ , PAR und klimarelevanten Parametern.....	18
Abbildung 5	Messaufbau zur CO ₂ -Messung mit einer vorkultivierten Vegetationsmatte	18
Abbildung 6	Dachbegrünung auf der UFA-Fabrik in Berlin-Tempelhof.....	19
Abbildung 7	Dachbegrünung auf dem Saturnkomplex am Alexanderplatz in Berlin-Mitte	19
Abbildung 8	CO ₂ -Gehalt in der großen Plexiglasbox mit Sedum-Gras-Kraut-Matte.....	20
Abbildung 9	CO ₂ -Gehalt in der kleinen Plexiglasbox mit Sedum-Matte	20
Abbildung 10	CO ₂ -Gehalt der Luft gemessen im geschlossenen System (kleine Plexiglasbox) auf ver- schiedenen Vegetationsformen (Dachabdichtung, Substrat und Sedum).....	21
Abbildung 11	CO ₂ -Gehalt der Luft gemessen im offenen System über verschiedenen Medien (Sedum und Sedum-Gras-Kraut und Kies)	22
Abbildung 12	Dachfläche 1 auf dem Saturnkomplex am Alexanderplatz in Berlin-Mitte	23
Abbildung 13	Dachflächen 2a und 2b auf dem Saturnkomplex am Alexanderplatz in Berlin-Mitte	23
Abbildung 14	Biomassebestimmung auf der Dachbegrünung am Alexanderplatz in Berlin-Mitte	24
Abbildung 15	Auswahl der Fläche für die Biomassebestimmung auf der Dachbegrünung.....	24
Abbildung 16	Abgeerntete Fläche für die Biomassebestimmung auf der Dachbegrünung.....	24
Abbildung 17	Dachbegrünung an der Humboldt-Universität zu Berlin in Berlin-Mitte	25
Abbildung 18	Frischmasseerträge (mit Mittelwertabweichung, n=3) der untersuchten Dachflächen (1, 2a, 2b) auf dem Saturnkomplex am Alexanderplatz in Berlin-Mitte	26
Abbildung 19	Trockenmasseerträge (mit Mittelwertabweichung, n=3) der untersuchten Dachflächen (1, 2a, 2b) auf dem Saturnkomplex am Alexanderplatz in Berlin-Mitte.....	27
Abbildung 20	Berechnete CO ₂ -Aufnahme (mit Mittelwertabweichung, n=3) der untersuchten Dachflächen (1, 2a, 2b) auf dem Saturnkomplex am Alexanderplatz in Berlin-Mitte.....	28
Abbildung 21	Frisch- und Trockenmasse (mit Mittelwertabweichung, n=3) von verschiedenen Sedumarten (Vegetationsmatten) der Dachbegrünung an der Humboldt-Universität zu Berlin Ende Oktober 2012.....	29
Abbildung 22	Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt und Aschegehalt von verschiedenen Sedumarten (Vegetationsmatten) der Dachbegrünung an der Humboldt-Universität zu Berlin Ende Oktober 2012.....	29

Abbildung 23	Berechnete CO ₂ -Aufnahme (mit Mittelwertabweichung, n=3) von verschiedenen Sedumarten (Vegetationsmatten) der Dachbegrünung an der Humboldt-Universität zu Berlin Ende Oktober 2012	30
Abbildung 24	Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt und Aschegehalt der Pflanzen der Dachbegrünung des Saturnkomplexes am Alexanderplatz in Berlin- Mitte (Dach 1)	37
Abbildung 25	Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt und Aschegehalt der Pflanzen der Dachbegrünung des Saturnkomplexes am Alexanderplatz in Berlin- Mitte (Dach 2a).....	37
Abbildung 26	Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt und Aschegehalt der Pflanzen der Dachbegrünung des Saturnkomplexes am Alexanderplatz in Berlin- Mitte (Dach 2b)	37
Abbildung 27	Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt und Aschegehalt von verschiedenen Sedumarten (Vegetationsmatten) der Dachbegrünung an der Humboldt-Universität zu Berlin Ende Oktober 2012	38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Kohlenstoffvorrat (C) in Wäldern verschiedener Regionen aus WEBER ET AL. (2009).....	10
Tabelle 2	Kohlenstoffvorrat (C) nach Vegetationstypen aus WEBER ET AL. (2009)	11
Tabelle 3	Ertragsmittel von Kurzumtriebsgehölzen nach NABU (2008)	11
Tabelle 4	Wirtschaftsgrünland: Die bedeutendsten Bestandstypen in Deutschland nach Angaben der KTBL (2003) sowie deren Festsetzung von Kohlenstoff.....	12
Tabelle 5	Untersuchungsergebnisse zum C-Gehalt von verschiedenen Dachbegrünungen mit <i>Sedum</i> nach GETTER ET AL. (2006)	13
Tabelle 6	Erträge und C-Festlegung bzw. CO ₂ -Aufnahme von Stauden aus VOLLRATH ET AL. (2011) und [11]	16
Tabelle 7	Angaben zu den untersuchten Dachflächen	23
Tabelle 8	Versuchsergebnisse zum Gehalt der Trockenmasse (TM) der untersuchten Vegetationsformen und Berechnungen daraus zur notwendigen Aufnahme von CO ₂ bzw. deren Festsetzung in Form von Kohlenstoff (C).....	30
Tabelle 9	Angaben aus der Literatur zum Gehalt der Trockenmasse (TM) ausgewählter Pflanzen und deren dazu notwendigen Aufnahme von CO ₂ bzw. deren Festsetzung in Form von Kohlenstoff (C) in den gemäßigten Breiten (in grün berechnete Werte)	31
Tabelle 10	Modellrechnung zum maximalen Gehalt der Trockenmasse (TM) verschiedener Vegetationsformen und deren dazu notwendigen Aufnahme von CO ₂ bzw. deren Festsetzung in Form von Kohlenstoff (C) in den gemäßigten Breiten	32
Tabelle 11	Modellrechnung zur CO ₂ -Aufnahme von jährlich versiegelten Flächen, die als extensive Dachflächen genutzt werden können	32
Tabelle 12	Versuchsergebnisse zum Gehalt der Trockenmasse (TM) der untersuchten Dachflächen und Berechnungen daraus zur notwendigen Aufnahme von CO ₂ bzw. deren Festsetzung in Form von Kohlenstoff (C).....	33

1 Ziel und Aufgabenstellung der Studie

Im Rahmen einer von der Fachvereinigung für Bauwerksbegrünung e. V. (FBB) in Auftrag gegebenen Studie sollten Pflanzenversuche, Modellrechnungen und Recherchen zur CO₂-Bindungskapazität von Pflanzen durchgeführt werden. Im Vordergrund hierfür standen Pflanzenarten, die bei der horizontalen Bauwerksbegrünung typischer Weise zum Einsatz kommen. Es wurden insbesondere die CO₂-Bindungskapazitäten der Biomasse näher untersucht. Die CO₂-Bindung im Boden stand nicht im Vordergrund.

Mit dieser Studie sollen Hilfestellungen für Unternehmen aus der Branche der Bauwerksbegrünung bzw. des Garten- und Landschaftsbaus gegeben werden, die eine differenzierte Pflanzenauswahl bezüglich des CO₂-Bindungsvermögens treffen wollen. Welche konkreten Unterschiede es zwischen den Pflanzen bezüglich der CO₂-Bindung wirklich gibt, wird in dieser Studie ausführlich erläutert.

2 Recherchen zur CO₂-Bindungskapazität

2.1 Pflanzen allgemein

Kohlendioxid ist ein wesentlicher Bestandteil der Luft und außerordentlich bedeutend für die Photosynthese der Pflanzen. Auch wenn der heutige CO₂-Gehalt der Luft von 0,039 % (entspricht 390 ppm) zunächst sehr niedrig erscheint, so ist das Gegenteil der Fall. Der CO₂-Gehalt der Luft lag über tausende von Jahren um 280 ppm und ist erst seit der Industrialisierung durch das Verbrennen von Kohle, Erdöl und Erdgas stetig gestiegen. Der Zuwachs an CO₂ seit der Industrialisierung beträgt demzufolge etwa 100 ppm. Das entspricht einer Menge von 220 Mrd. t Kohlenstoff [1]. Forscher fordern aufgrund der stetigen Zunahme des CO₂-Gehalts seit der Industrialisierung, den Gehalt des CO₂ unterhalb von 450 ppm zu stabilisieren [2].

Im Jahr 2010 sind weltweit laut Angaben des Energieministeriums in Washington 33,5 Mrd. t CO₂ in die Atmosphäre gelangt [3]. WEBER ET AL. (2009) geben an, dass jedes Jahr 9,5 Mrd. t CO₂ durch terrestrische Ökosysteme aufgenommen werden können, was ungefähr 30 % der jährlichen CO₂-Emissionen (durch Verbrennung fossiler Rohstoffe und Nettoentwaldung) entspricht. Desweiteren macht WEBER ET AL. (2009) darauf aufmerksam, dass die weltweite Vegetation derzeit 466 Mrd. t Kohlenstoff speichert. Das heißt, terrestrische Ökosysteme, insbesondere Wälder, fungieren als Kohlenstoffsinken.

Dennoch wird die größte Menge an CO₂, nämlich ungefähr zwei Drittel, von den Ozeanen aufgenommen. Welchen Beitrag Pflanzen wirklich leisten können, CO₂ aufzunehmen und in Form von Kohlenstoff festzulegen, ist äußerst komplex. Fakt ist, dass alle Pflanzen die Photosynthese nutzen und das CO₂ der Luft zu Glucose umwandeln. Das heißt, das CO₂ der Luft kann durch Pflanzenwachstum fixiert werden. Je höher die Biomasse bzw. die Trockenmasse einer Pflanze ist, desto mehr CO₂ hat sie aufgenommen und in Form von Kohlenstoff gebunden.

Bäume

Bezüglich der Aufnahme von CO₂ durch Bäume gibt es die verschiedensten Berechnungen. Zum einen muss man die Biomasse zum gegenwärtigen Zeitpunkt betrachten. Zum anderen muss man berücksichtigen, in welcher Zeit die Pflanzen diese Biomasse erreichten. Oft wird

zum Beispiel die Frage gestellt, wie viel CO₂ kann ein Baum binden? Hier ist von entscheidender Bedeutung, um welche Baumart es sich handelt und welche klimatischen und pedogenen Bedingungen herrschen. Neben der Unterscheidung nach Baumart, Holzdichte, Bodenbeschaffenheit, Standort- und Wuchsbedingungen spielt auch das nichtlineare Wachstum der Bäume bezüglich der Aufnahmemöglichkeit an CO₂ eine große Rolle.

Aber auch die vorangegangene Nutzung der Böden hat Einfluss auf die CO₂-Aufnahme der Pflanzen. WEBER ET AL. (2009) unterscheiden die entstehende Biomasse in Abhängigkeit von der geographischen Breite. So können in den gemäßigten Breiten in den ersten Jahrzehnten nach der Aufforstung 1 bis 30 t CO₂/ha*a, in der borealen Zone 1 (zwischen 50. und 70. nördlichen Breitengrad) 1 bis 25 t CO₂/ha*a und in den Tropen 3 bis 100 t CO₂/ha*a aufgenommen werden. Desweiteren muss man korrekter Weise die CO₂-Bindung sowohl in der Biomasse als auch im Boden betrachten. Für die Biomassebindung von CO₂ liegen fundierte Erkenntnisse vor, hingegen sind Erkenntnisse zur CO₂-Bindung im Boden noch sehr unzureichend.

Die Abhängigkeit der Kohlenstoffvorräte in den Wäldern von der Klimazone geht aus der Tabelle 1 hervor. Hier muss man insbesondere bezüglich der Kohlenstoffvorräte in der Biomasse und im Mineralboden differenzieren. Betrachtet man lediglich die Kohlenstofffestsetzung in der Biomasse, so liegt diese mit 43,9 t/ha in Europa am niedrigsten. Die Kohlenstofffestsetzung im Mineralboden ist hingegen in Europa am höchsten (112,9 t /ha C).

Tabelle 1 Kohlenstoffvorrat (C) in Wäldern verschiedener Regionen aus WEBER ET AL. (2009)

Region	Kohlenstoffvorrat (C) in t/ha				
	Biomasse	Totholz	Organische Bodenaufgabe	Mineralboden	Gesamt
Afrika	95,8	7,6	2,1	55,3	160,8
Asien	57,0	6,9	2,9	66,1	132,9
Europa	43,9	14,0	6,1	112,9	176,9
Nord- und Mittelamerika	60,1	9,0	14,8	36,6	129,6
Ozeanien	55,0	7,4	9,5	101,2	173,1
Südamerika	110,0	9,2	4,2	71,1	194,6

Bezüglich der Kohlenstoffvorräte in Mitteleuropa kann man diese grob in Wälder und Kulturland einteilen. Hier zeigt sich, dass die Vegetation der Wälder in Bezug auf die Vegetation des Kulturlandes ca. das 10fache an Kohlenstoff speichern kann (Tabelle 2).

Tabelle 2 Kohlenstoffvorrat (C) nach Vegetationstypen aus WEBER ET AL. (2009)

Vegetations-/Nutzungsform	Kohlenstoffvorrat (C) in t/ha		
	Gesamt	Boden ¹	Vegetation ²
Wälder der mittleren Breiten	153	96	57
Kulturland	134	128	6

¹bezieht sich auf unterirdische Biomasse, organische Bodenauflage und Mineralboden

²bezieht sich auf oberirdische Biomasse

Die Bundeswaldinventur II in den Jahren 2001 und 2002 lieferte zuverlässige Daten bezüglich des Waldbestandes in Deutschland. Die Gesamtfläche an Wald beträgt in Deutschland 11,1 Mio. ha Wald. Fichte, Kiefer, Buche und Eiche sind die bedeutendsten Baumarten [4].

Betrachtet man zum Beispiel eine durchschnittliche Fichte (35 m hoch, Alter: 100 Jahre, Stammdurchmesser in 1,3 m Höhe über dem Boden 0,50 m), die in den deutschen Wäldern am meisten vorkommt, so beträgt ihre Biomasse inklusive Äste (aber ohne Wurzeln) ca. 1,4 t, was einer Speicherung von 0,7 t C bzw. 2,6 t CO₂ je Baum entspricht. Eine durchschnittliche Buche (35 m hoch, Alter: 120 Jahre, Stammdurchmesser in 1,3 m Höhe über dem Boden 0,50 m) weist hingegen ein Trockengewicht von 1,9 t auf. Es können demzufolge 0,95 t C bzw. 3,5 t CO₂ je Baum gespeichert werden. [5]

Anhand dieses Beispiels zeigt sich, wie lange es dauert das CO₂ der Luft in Form von Kohlenstoff in der Biomasse festzulegen.

Desweiteren wird davon ausgegangen, dass ein Hektar Wald pro Jahr 3,8 t Kohlenstoff bindet. Das entspricht einer Aufnahme von 13,8 t/ha CO₂. [6]

Kurzumtriebsplantagen

Kurzumtriebsplantagen sind Anpflanzungen schnell wachsender Bäume in erster Linie mit dem Ziel, das Holz einer schnellen energetischen Nutzung zuzuführen. Bei der Betrachtung von Kurzumtriebsplantagen standen bei der Studie des NABU-BUNDESVERBANDES (2008) insbesondere die Pappel, die Weide, die Robinie, die Erle, die Birke und der Bergahorn im Vordergrund. Der NABU zeigte auf, dass diese Bäume zwischen 1,2 t/ha und 13,0 t/ha Trockenmasse pro Jahr liefern, was in etwa einer CO₂-Bindung zwischen 1,8 t/ha und 19,1 t/ha entspricht (Tabelle 3).

Tabelle 3 Ertragsmittel von Kurzumtriebsgehölzen nach NABU (2008)

Baumart	Trockenmasse (TM) in t/ha*a	Kohlenstoff in t/ha	CO ₂ in t/ha
Pappel	bis 13,0	5,2	19,1
Weide	8,0	3,2	11,7
Robinie	6,0-11,0	2,4-4,4	8,8-16,1
Erle	6,0-8,0	2,4-3,2	8,8-11,7
Birke	5,9-6,7	2,4-2,7	8,7-9,8
Bergahorn	1,2	0,5	1,8

Kurzumtriebsplantagen sind zwar bezüglich der CO₂-Aufnahme leistungsfähiger als Waldbestände, dennoch darf nicht unberücksichtigt bleiben, dass durch das Verbrennen des Holzes das gespeicherte CO₂ wieder an die Atmosphäre abgegeben wird und die positive CO₂-Bilanz vermindert.

Nutzpflanzen

Unter Nutzpflanzen werden sowohl wild wachsende als auch Kulturpflanzen verstanden. Näher betrachtet werden soll hier die Nutzung, die außerhalb der Ackernutzung liegt und als Grünlandnutzung bezeichnet wird. Die Vegetationsdecke beim Grünland besteht in der Regel aus mehrjährigen Gräser-, Leguminosen- und Kräuterarten.

Die Bewirtschaftung des Grünlandes erfolgt sowohl durch Schnittnutzung als auch durch Weidenutzung bzw. durch Nutzung als Wiese.

Weiden produzieren bis zu 13 t/ha*a Trockenmasse und können dementsprechend bis ca. 19 t/ha*a CO₂ aufnehmen (Tabelle 4). Die Kohlenstofffestsetzung ist jedoch wiederum nur temporär. Sowie das Gras als Futter genutzt oder der Grasschnitt kompostiert wird, erfolgt letztendlich wieder eine Freisetzung von CO₂.

Tabelle 4 Wirtschaftsgrünland: Die bedeutendsten Bestandstypen in Deutschland nach Angaben der KTBL (2003) sowie deren Festsetzung von Kohlenstoff

Bestandstyp	Ertrag (TM) t/ha*a	Kohlenstoff in t/ha	CO ₂ in t/ha
Mähweiden	8-10	3,2-4,0	11,7-14,7
Vielschnittwiesen	8-12	3,2-4,8	11,7-17,6
Weidelgrasweiden	8-13	3,2-5,2	11,7-19,1
Wiesenfuchsschwanzwiesen	7-11	2,8-4,4	10,3-16,1

Zierpflanzen

Zierpflanzen umfassen ein weites Spektrum und sind Pflanzen, die vom Menschen kultiviert werden. Zu den Zierpflanzen zählen blühende Topfpflanzen, Blatt- und Grünpflanzen, Schnittblumen, Beet- und Balkonpflanzen, Zierbäume, Ziersträucher sowie Zierstauden. [7]

Zierpflanzen werden nicht angebaut, um vorrangig Biomasse für andere Wirtschaftszweige zu produzieren, sondern erfüllen in erster Linie ästhetische Zwecke. Dennoch gibt es Bestrebungen, Zierpflanzen auch hinsichtlich der energetischen Nutzung zu kultivieren wie zum Beispiel bei *Miscanthus*.

Miscanthus (Riesenchinaschilf) gehört zu den Zierpflanzen und wird auch in Europa häufig angebaut, da er eine hohe Biomasseproduktion besitzt. Die Pflanzen erreichen auch im europäischen Raum Höhen bis zu 4 m. Mit 15 bis 25 t/ha Trockenmasse spielt die Pflanze als nachwachsender Rohstoff eine große Rolle. [8] Es können ca. 22 bis 37 t CO₂ je Hektar aufgenommen und in Form von Kohlenstoff festgelegt werden. Der Anbau von *Miscanthus* erfolgte in Deutschland 2010 nach LEL (2011/2012) auf einer Fläche von ca. 2.100 ha und wird im Wesentlichen wie die Kurzumtriebsplantagen zur thermischen Nutzung verwendet. Das heißt, auch hier wird das aus der Luft aufgenommene CO₂ durch die Verbrennung wieder freigesetzt.

2.2 Pflanzen für die extensive Dachbegrünung

Für extensive Dachbegrünungen werden verschiedene Pflanzenarten eingesetzt wie zum Beispiel Sedum, Gräser, Kräuter und Moose. Es gibt reine Sedumdächer, aber auch Dächer mit Sedum-Gras-Kraut-, Moos-Sedum-Kraut-, Moos-Sedum- oder Gras-Kraut-Vegetation sind üblich. In Abhängigkeit der Biomasse können die begrünter Dächer dem entsprechend unterschiedliche Mengen an CO₂ speichern. Neben der überirdischen Biomasse können außerdem das Wurzelwerk sowie das Substrat CO₂ aufnehmen und in Form von Kohlenstoff speichern.

Bezüglich der CO₂-Bilanz muss beachtet werden, dass die Biomasse im Sommer nicht der Biomasse im Winter entspricht. Zum einen geht die Vegetation im Winter zurück bzw. die Pflanzen verlieren ihre Blätter, zum anderen können insbesondere Gräser im Sommer durch hohe Temperaturen vertrocknen. Von Interesse ist insbesondere der Monat, in dem die höchste Biomasse bzw. Trockenmasse vorherrscht. Dieser Wert bildet dann die Grundlage für die maximal aufgenommene Menge an CO₂.

Sedum

Es gibt verschiedene Studien mit der Zielstellung, das CO₂-Aufnahmevermögen von unterschiedlichen Dachbegrünungen zu untersuchen. So wurden zum Beispiel im Jahre 2006 acht Dächer in Michigan und vier Dächer in Maryland (USA) von GETTER ET AL. (2006) untersucht, die ein Alter zwischen 1 und 6 Jahre aufwiesen. Bei den 12 Gründächern handelte es sich um Dächer mit Sedumvegetation mit Substratstärken zwischen 2,5 bis 12,7 cm. Das Pflanzenmaterial wurde im Herbst über dem Substrat geerntet und beinhaltete im Durchschnitt einen Kohlenstoffgehalt von 162 g/m². In einer zweiten Studie in East Lansing (USA) wurden 20 Parzellen mit verschiedenen Sedumarten auf einer Substratstärke von 6 cm errichtet. Der Versuch lief über zwei Jahre. Dabei wurden sowohl die Pflanzen als auch das Substrat siebenmal in dieser Zeit näher untersucht (Tabelle 5).

Tabelle 5 Untersuchungsergebnisse zum C-Gehalt von verschiedenen Dachbegrünungen mit *Sedum* nach GETTER ET AL. (2006)

Sedumart	Kohlenstoffgehalt der Biomasse in g/m ²	Kohlenstoffgehalt der Wurzelmasse in g/m ²	Kohlenstoffgehalt des Substrats in g/m ²	Kohlenstoffgehalt insgesamt in g/m ²
<i>Sedum acre</i>	64±6,5	37±3,4	852±72,0	953±75,0
<i>Sedum album</i>	239±53,6	78±11,3	932±77,0	1249±75,8
<i>Sedum kamtschaticum</i>	202±40,5	185±12,0	887±98,1	1275±183,7
<i>Sedum spurium</i>	166±29,1	126±8,5	981±125,1	1272±118,8
Kontrollgruppe (nur Substrat)			834±50,6	
Durchschnitt	168±23,5	107±14,9	913±34,6	1187±58,8

Es zeigt sich, dass die Biomasse in starkem Maße von der Sedumart (Kohlenstoffgehalt zwischen 64 g/m² und 239 g/m²) abhängig ist. *Sedum album* wies gefolgt von *Sedum kamtschaticum* die höchsten Erträge auf. Bezüglich der Wurzelmasse waren ebenfalls Schwankungen in Abhängigkeit der Sedumart (Kohlenstoffgehalt zwischen 0,37 g/m² und 185 g/m²) zu verzeichnen gewesen. Hier besaßen *Sedum kamtschaticum* und *Sedum spurium* die größte Wurzelmasse. Es zeigt sich aber auch, dass der höchste Kohlenstoffgehalt im Substrat gemessen wurde und somit als Kohlenstoffs Senke fungiert. (Tabelle 5)

Gras-Kraut

Untersuchungen von JIAN-FENG LI (2010) in Hong Kong wurden auf einem begrünten Dach mit Gras-Kraut-Vegetation mit dem Ziel durchgeführt, die CO₂-Konzentration zwischen einer unbegrünten Dachfläche (Betonplatten) und einer begrünten (in einer Box) zu ermitteln. Die Messdaten wurden mit einem CO₂/H₂O-Analysator an einem Sommertag im Juli 2009 zwischen 10.30 Uhr und 20.00 Uhr aufgenommen. Die CO₂-Konzentration schwankte am Tag und hatte einen Durchschnittswert von 700 ppm. Der CO₂-Gehalt direkt über der begrünten Fläche war bis 16.00 Uhr um 12,9 ppm niedriger als der CO₂-Gehalt über der unbegrünten Fläche. Nach 17.00 Uhr betrug der CO₂-Gehalt jedoch 4,9 ppm mehr als über der Kontrollfläche. Im August wurde die Messung wiederholt, wobei die Ergebnisse ähnlich waren wie im Juli.

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass Dachbegrünungen (mit Gräsern/Kräutern) an sonnigen Tagen den CO₂-Gehalt der Umgebung um 2 % vermindert können und damit eine CO₂-Senke darstellen. (JIAN-FENG LI, 2010)

Untersuchungen zum Biomassezuwachs von *Lolium perenne* (Deutsches Weidelgras) im Rahmen eines Forschungsprojektes am IASP haben ergeben, dass bei einer Aussaatstärke von 30 g/m² maximale Erträge von ca. 0,5 kg/m² bzw. 5 t/ha Trockenmasse zu erwarten sind. Das bedeutet, dass durch eine Ansaat von Weidelgras bis zu 2 t/ha Kohlenstoff festgelegt bzw. bis zu 7,3 t/ha CO₂ aufgenommen werden kann. [9]

Moose

Untersuchungen von FRAHM (2009) haben gezeigt, dass Moose ebenfalls sehr gut CO₂ aufnehmen können. FRAHM (2009) kalkulierte, dass bei einer Grundfläche von 2.000 Lux (Schwachlicht) und 9°C (= Mitteltemperatur in Deutschland) 1 g Moos 1 mg/h an CO₂ aufnimmt, d. h. bei einer Frischmasse von 1 kg/m² 1 g/h an CO₂ aufgenommen werden kann.

Weiterhin geht FRAHM (2009) davon aus, dass bei 2.191 Stunden mit Tageslicht im Jahr 2.191 g/m² CO₂ von Moosen aufgenommen werden können. FRAHM (2009) vergleicht diese mögliche CO₂-Aufnahme von Moosen mit der eines Intensivgrünlandes (2,4 kg/m² CO₂) und kommt zu dem Schluss, dass Moose ähnlich hohe Leistungen bezüglich der CO₂-Aufnahme haben wie höhere Vegetation.

Im Rahmen eines am IASP durchgeführten Forschungsprojektes bezüglich der Entwicklung einer feinstaubzurückhaltenden Lärmschutzwand mit integrierten Moosmatten wurden u. a. Trockenmasseerträge von Moosen bestimmt. Die maximale Trockenmasse von Moosen betrug etwa 1 kg/m², was einer CO₂-Aufnahme von ca. 1,5 kg/m² entspricht. [10]

2.3 Pflanzen für die intensive Dachbegrünung

Für intensive Dachbegrünungen können verschiedene Arten von Pflanzen genutzt werden. In der Regel verwendet man Gräser, Stauden, Sträucher und Bäume (Laub- und Nadelgehölze). Auch hier ist wieder die Biomasse der Pflanzenart (bzw. deren Trockenmasse) bezüglich der aufgenommenen Menge an CO₂ von entscheidender Bedeutung.

Untersuchungen zum Biomassepotential von Stauden oder Bäumen für Dachbegrünungen waren bisher kein Forschungsgegenstand. Biomassepotentialberechnungen werden in erster Linie durchgeführt, um den ökonomischen Nutzen des Anbaus für zum Beispiel Biogasanlagen zu beurteilen. Aufgrund dieser Daten können ebenfalls Schlussfolgerungen gezogen werden, was diese Pflanzen, die auch für intensive Dachbegrünungen zum Einsatz kommen, an CO₂ aufnehmen könnten.

VOLLRATH ET AL. (2011) untersuchte in einem FuE-Projekt zur Biomasseproduktion von Wildpflanzenmischungen (2008-2011) in Unterfranken und im Nordwestdeutschen Tiefland mehrjährige, kräuterreiche Blühmischungen über einen Zeitraum von zwei Jahren. Ziel war, Blühmischungen mit einer hohen Biomasse zusammenzustellen, um diese später in Biogasanlagen zu verwerten. Aus 40 selektierten Pflanzenarten wurden vier verschiedene Mischungen zusammengestellt, die sowohl einjährige als auch mehrjährige Arten enthielten. Dabei enthielten zwei Mischungen einheimische Stauden und die anderen Mischungen Stauden auch fremder Herkunft. Die über beide Standjahre höchsten Biomasseerträge wurden in Unterfranken mit der Mischung, die auch fremde Stauden enthielt, erzielt. Hier betragen die Erträge zwischen 19 und 30 t Trockenmasse je Hektar, was 70 bis 80 % der Silomaiserträge in der Region ausmacht. Wildstaudenmischungen sind außerdem in der Lage, das Zwei- bis Dreifache an Trockenmasse von Weiden hervorzubringen.

Rechnet man die Trockenmasse der Wildstaudenpflanzen in festgelegten Kohlenstoff um, so ergibt sich eine Kohlenstofffestlegung von bis zu 12 t/ha C bzw. eine entsprechende CO₂-Aufnahme von bis zu 44 t/ha CO₂ (Tabelle 6).

Stauden wie Riesen- und Zucker-Miscanthus, Swithgras, Gerard-Gras, Spartida-Gras und Sida werden ebenfalls als wertvolle Quelle für Biomasse angesehen. Der höchste Ertrag, der mit Sida-Pflanzungen erreicht werden könnte, soll 100 t/ha an Frischmasse betragen, was bei einem Feuchtigkeitsgehalt von durchschnittlich 50 % eine Trockenmasse von ca. 50 t/ha ausmacht. Deutsche Agrarforschungseinrichtungen ernteten bisher um die 12 t/ha Trockenmasse. In der Literatur werden Trockenmassen bei Sida bis 20 t/ha angegeben. Auch wenn Sida-Pflanzungen für Dachbegrünungen als nicht geeignet erscheinen (Höhe 3 bis 4 m), so wird doch deutlich, dass Stauden einen großen Beitrag leisten können, CO₂ aufzunehmen und festzulegen. (Tabelle 6), [11]

Sowie die Stauden aber für energetische Zwecke genutzt werden, geht der positive Effekt der CO₂-Aufnahme bzw. die dauerhafte Bindung in Form von Kohlenstoff auch hier wieder verloren.

Tabelle 6 Erträge und C-Festlegung bzw. CO₂-Aufnahme von Stauden aus VOLLRATH ET AL. (2011) und [11]

Bestandstyp	Ertrag (TM) in t/ha*a	C in t/ha	CO ₂ in t/ha
Wildmischungen	19,0-30,0	7,6-12,0	27,9-44,0
Ackergras	5,0-19,0	2,0-7,6	7,3-27,9
Steinklee	2,5-7,5	1,0-3,0	3,7-11,0
Sudangras	8,0-17,0	3,2-6,8	11,7-24,9
Zuckerhirse und Topinambur	8,0-20,0	3,2-8,0	11,7-29,3
Sida	12,0-20,0	4,8-8,0	17,6-29,3

3 Pflanzenversuche zur CO₂-Bindungskapazität von ausgewählten Pflanzen und Vegetationsformen extensiver Dachbegrünungen

3.1 Versuche mit ausgewählten Pflanzen

3.1.1 Problem- und Zielstellung

In der Literatur sind bezüglich der CO₂-Aufnahme von Pflanzen für die Dachbegrünung nur wenige Untersuchungen veröffentlicht worden. Auch die Herangehensweise der Methodik bei der Erfassung der CO₂-Aufnahme variierte in der Literatur. Ziel der Untersuchungen war es daher, die Versuche so praxisrelevant wie möglich zu gestalten, um eine möglichst reale CO₂-Aufnahme durch die Pflanzen zu erfassen.

3.1.2 Material und Methoden

Für die Untersuchungen einer typischen Dachbegrünungsvegetation standen folgende Vegetationsformen zur Verfügung:

- Sedum
- Sedum-Gras-Kraut
- Substrat ohne Vegetation
- Dachhaut ohne Vegetation bzw. Kies (Kontrolle)

Die Untersuchungen bezüglich der Messung der CO₂-Konzentration über den verschiedenen Vegetationsformen wurden sowohl in einem geschlossenen als auch in einem offenen System durchgeführt. Als geschlossenes System kamen eine große Plexiglasbox von 1 m x 1 m x 1 m (Abbildung 1) und eine kleinere transportable Plexiglasbox von 0,52 m x 0,32 m x 0,50 m (Abbildung 2) zum Einsatz. Die CO₂-Messung im geschlossenen System wurde zunächst im Labor, später dann auch auf begrünten Dächern angewendet. Es wurden insgesamt 50 verschiedene Messungen vorgenommen.



Abbildung 1 CO₂-Messung in großer Plexiglasbox



Abbildung 2 CO₂-Messung in kleiner Plexiglasbox

Weitere Versuche wurden mit einem offenen System durchgeführt. Hierfür wurde ein nach oben und unten offener Zylinder aus Plexiglas gefertigt (Abbildung 3), in dem die Untersuchungen durchgeführt wurden. Der Zylinder (Durchmesser ca. 40 cm, Höhe 50 cm) wurde auf die Vegetation gestellt und hatte die Aufgabe, den auftretenden Wind abzuschirmen. Im Zylinder wurde in einer Höhe von 18 cm über dem Substrat der CO₂-Gehalt der Luft gemessen.



Abbildung 3 CO₂-Messung in Plexiglaszylinder

Für die Messungen des CO₂-Gehalts im geschlossenen und im offenen System wurde eine ALMEMO[®]-CO₂-Messsonde des Typs FYA600-CO₂H der Firma Ahlborn verwendet. Parallel zu den Messungen des CO₂-Gehalts der Luft wurde die pflanzenverfügbare Licht-

menge mittels einer ALMEMO®-PAR-Sonde des Typs 080017 sowie verschiedene Klimadaten (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck) mit dem ALMEMO®-F-T-Fühler des Typs FHAD36RS gemessen und aufgenommen. (Abbildung 4). Die Messdauer betrug zwischen 30 Minuten und einer Stunde. Die Datenaufnahme erfolgte einmal bzw. zweimal pro Minute.



Abbildung 4 Messgeräte zur Aufnahme von CO₂, PAR und klimarelevanten Parametern

Für die Versuche kamen verschiedene Begrünungssysteme zum Einsatz. Zum einen wurden Vorversuche anhand von vorkultivierten Vegetationsmatten (Sedum und Sedum-Gras-Kraut) mit einer Pflanzendeckung von 100 % vorgenommen (Abbildung 5).



Abbildung 5 Messaufbau zur CO₂-Messung mit einer vorkultivierten Vegetationsmatte

Zum anderen wurden die Untersuchungen auf verschiedenen Dachbegrünungen durchgeführt, hauptsächlich auf der Dachbegrünung der UFA-Fabrik in Berlin-Tempelhof und der Dachbegrünung auf dem Saturnkomplex am Alexanderplatz in Berlin-Mitte (Abbildung 6 und Abbildung 7).



Abbildung 6 Dachbegrünung auf der UFA-Fabrik in Berlin-Tempelhof



Abbildung 7 Dachbegrünung auf dem Saturnkomplex am Alexanderplatz in Berlin-Mitte

Die Dachbegrünung auf der UFA-Fabrik wurde 1994 angelegt und hatte extensiven Charakter. Die Untersuchungen wurden auf Sedumpflanzen auf Substrat, auf reinem Substrat und auf der Dachabdichtung (Kontrolle) durchgeführt. Die Pflanzendeckung der Sedumkultur (hauptsächlich *Sedum spurium*, *Sedum kamschaticum*, *Sedum album*) betrug 100 %. Für die CO₂-Messungen auf dem Dach der UFA-Fabrik kam das geschlossene System zur Anwendung. Die Messung der Parameter erfolgte über einen Zeitraum von einer Stunde im Abstand von 30 Sekunden. Die Messungen wurden nacheinander durchgeführt.

Die Dachbegrünung auf dem Saturnkomplex, ebenfalls ein Extensivdach, wurde im Jahre 2009 auf einem 8 cm starken Extensivsubstrat mittels Trockenansaat angelegt. Für die CO₂-Messungen wurden Flächen ausgewählt, die zum einen nur Sedum und zum anderen Sedum-Gras-Kraut aufwiesen. Die Pflanzendeckung betrug auf allen Flächen auch hier 100 %. Als Kontrolle diente eine Kiesfläche. Auf dem Dach des Saturnkomplexes am Alexanderplatz in Berlin-Mitte wurde zum Messen des CO₂-Gehalts das offene System angewandt. Die Messungen erfolgten innerhalb einer halben Stunde, wobei jede Minute ein Messwert aufgenommen wurde.

3.1.3 Ergebnisse der Praxisuntersuchungen

Die Vorversuche im geschlossenen System wurden zunächst im Labor mit einer Matte (Sedum-Gras-Kraut) in der großen Plexiglasbox durchgeführt. Hier wurde ein stetiger Anstieg der CO₂-Konzentration in der Box über einen Zeitverlauf von einer Stunde festgestellt. Da diese Untersuchungen nicht zielführend waren, wurden diese abgebrochen.

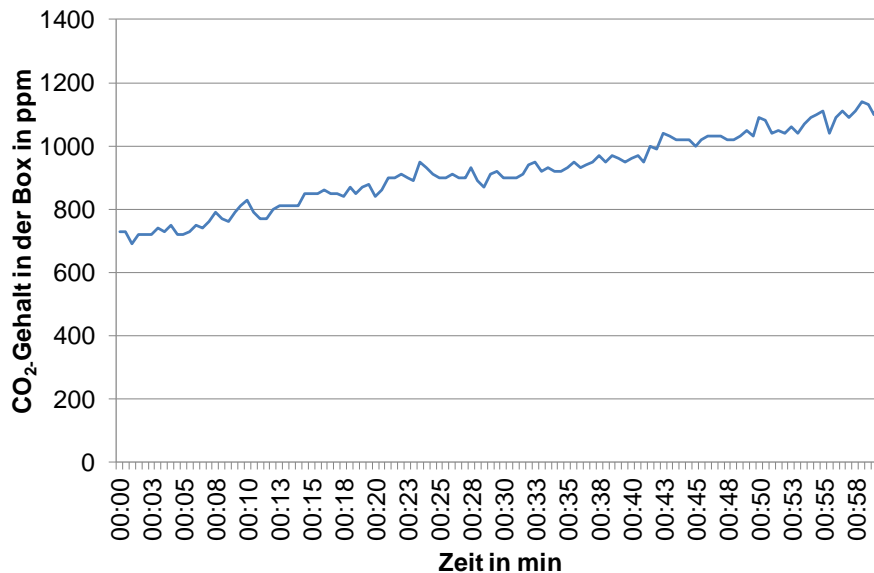


Abbildung 8 CO₂-Gehalt in der großen Plexiglasbox mit Sedum-Gras-Kraut-Matte

Ähnlich verhielt es sich mit den Laboruntersuchungen in der kleinen Plexiglasbox. Auch hier gab es einen Anstieg des CO₂-Gehalts in der Box (Abbildung 9), in der die reine Sedum-Matte platziert war.

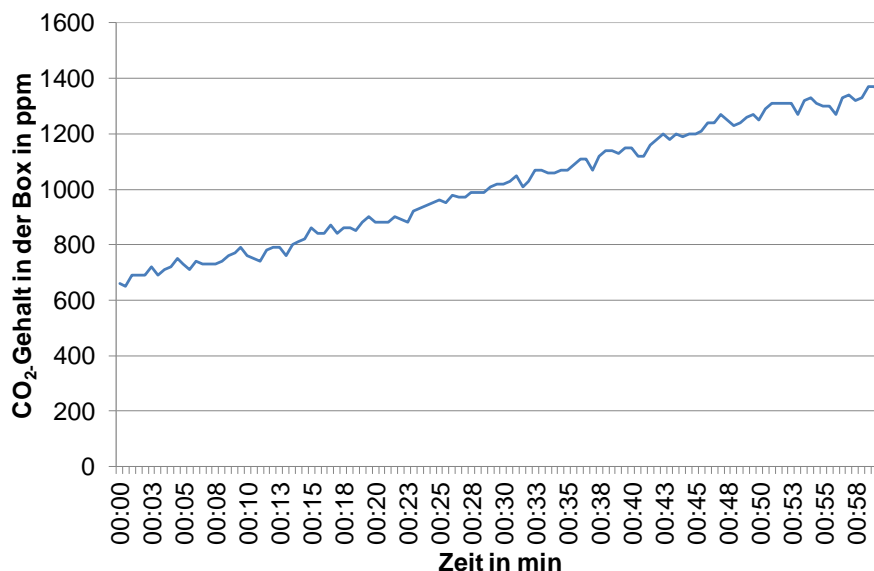


Abbildung 9 CO₂-Gehalt in der kleinen Plexiglasbox mit Sedum-Matte

Zu erklären ist der Anstieg der CO₂-Konzentration in der Box dadurch, dass die Pflanzen auf den Matten (ohne zusätzliche Substratschicht) womöglich zu viel Stress ausgesetzt waren und demzufolge CO₂ abgaben.

Untersuchungen im Freien auf dem Dach der UFA-Fabrik (15.08.2012) mit der kleinen Plexiglasbox zeigten, dass die CO₂-Konzentration über der Sedumkultur innerhalb der Messdauer nahezu konstant war (Abbildung 9). In den ersten 45 Minuten lag die CO₂-Konzentration bei durchschnittlich bei 396 ppm. Danach war ein leichter Anstieg zu verzeichnen. Der höchste Wert der CO₂-Konzentration wurde mit 451 ppm (57. Minute) gemessen. Der CO₂-Gehalt über dem Substrat und über der Dachabdichtung war nahezu identisch. Der durchschnittliche CO₂-Gehalt über dem Substrat lag bei 321 ppm und über der Dachabdichtung bei 324 ppm. Dass ein höherer CO₂-Gehalt über der Vegetation gemessen wurde als über dem Substrat bzw. über der Dachabdichtung kann nur dadurch erklärt werden, dass zu Beginn der Messung über der Sedumvegetation zu viel CO₂ (durch Menschen verursacht, Atmung) in die Box gelangt ist. Auch weitere Untersuchungen zeigten, dass bereits beim Aufbau der Apparatur es stets zu einer „Verunreinigung“ der Luft mit CO₂ durch den Menschen kam und Verfälschungen der Messwerte nicht auszuschließen sind.

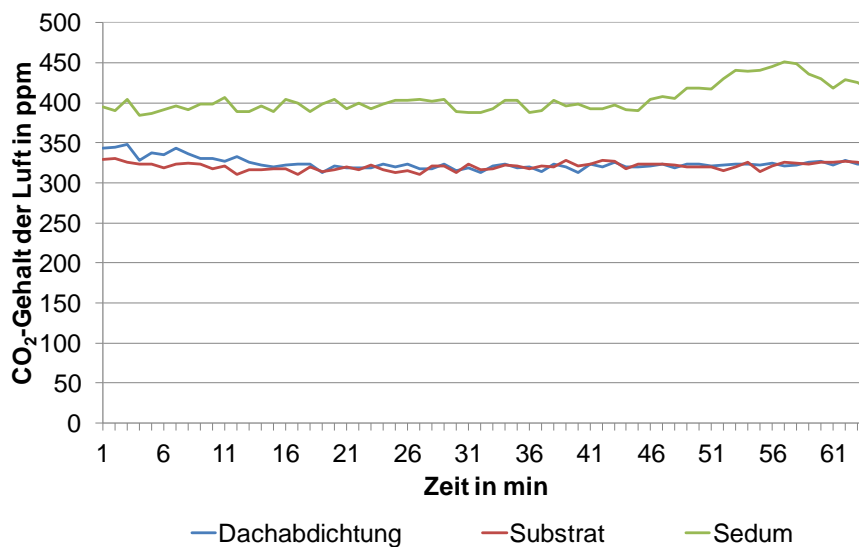


Abbildung 10 CO₂-Gehalt der Luft gemessen im geschlossenen System (kleine Plexiglasbox) auf verschiedenen Vegetationsformen (Dachabdichtung, Substrat und Sedum)

Da sich bei den Versuchen gezeigt hatte, dass es immer wieder zu Messungenauigkeiten in einem geschlossenen System bezüglich der CO₂-Konzentration über einer Vegetation und einer unbegrünten Fläche kam, wurden die Messungen im geschlossenen System abgebrochen und weitere Messungen zum CO₂-Gehalt der Luft in einem offenen System durchgeführt. Beachtet werden musste, dass die Messungen an einem nahezu windstillen Tag durchgeführt wurden, um Luftverwirbelungen zu vermeiden. Am 20.09.2012 wurden dann auf dem Dach des Saturnkomplexes am Berliner Alexanderplatz Messungen durchgeführt. Hier konnten über der Sedum-Gras-Kraut-Vegetation die niedrigsten Werte an CO₂ mit einem mittleren Wert von 371 ppm gemessen werden. Die CO₂-Gehalte über der Sedumvegetation (durchschnittlich 378 ppm) und über dem Kiesstreifen (379 ppm) waren nahezu identisch. (Abbildung 11)

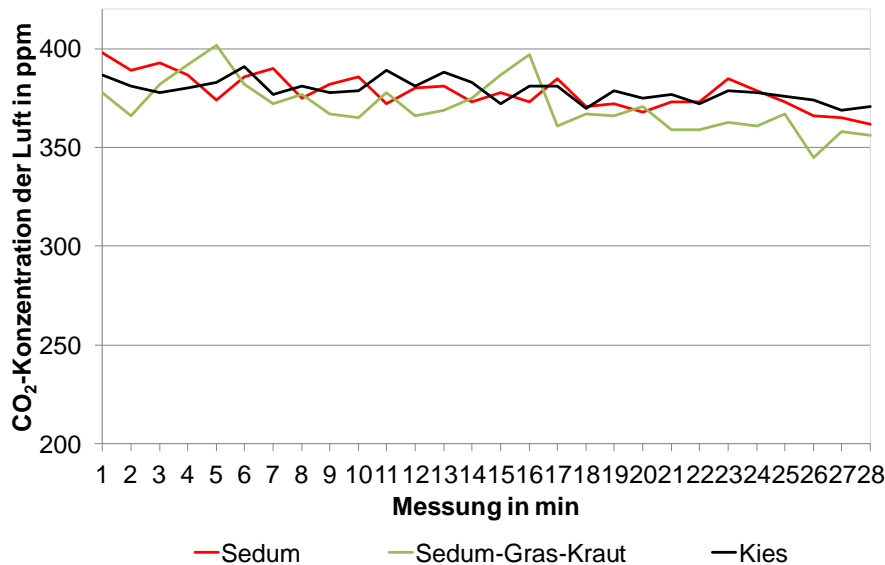


Abbildung 11 CO₂-Gehalt der Luft gemessen im offenen System über verschiedenen Medien (Sedum und Sedum-Gras-Kraut und Kies)

Auch wenn aufgrund des offenen Systems ein Luftaustausch mit der Umgebung erfolgen konnte, so spiegeln dennoch die Untersuchungsergebnisse prinzipiell wider, dass selbst eine dünn-schichtige Vegetation auf einer Dachfläche zu einer CO₂-Verminderung der Luft beitragen kann. Eine genaue Berechnung der CO₂-Reduzierung der Luft durch den Einfluss der Vegetation konnte jedoch mit dieser Messmethodik nicht erfolgen.

3.2 Untersuchungen zur Biomasseproduktion von begrünter Dachflächen

3.2.1 Problem- und Zielstellung

Bezüglich der Aufnahmefähigkeit der Vegetation von CO₂ spielt die Photosynthese eine bedeutende Rolle, denn Pflanzen sind in der Lage, das CO₂ der Luft in Glucose umzuwandeln. Das heißt, das CO₂ der Luft wird letztendlich als Kohlenstoff in den Pflanzen festgelegt. Unabhängig davon, ob es sich bei den Pflanzen um C3-, C4- oder CAM-Pflanzen handelt, letztendlich muss das aufgenommene CO₂ der Luft sich in den Pflanzen als Kohlenstoff wiederfinden lassen. Aus diesem Grund wurden verschiedene Flächen mit Dachbegrünungen bezüglich der Biomasse der Pflanzen näher untersucht und versucht, Angaben zum CO₂-Aufnahmevermögen verschiedener Pflanzenarten zu machen.

3.2.2 Material und Methoden

Für die Untersuchungen zur Biomasse wurden u. a. drei Teilflächen der im Jahr 2009 errichteten Dachbegrünung, die sich auf dem Saturnkomplex am Alexanderplatz in Berlin-Mitte befindet, zwischen Juli und November 2012 näher untersucht.

Bei den untersuchten Vegetationsformen auf den Dachflächen (Tabelle 7) handelte es sich zum einen um eine reine Sedumvegetation auf einer Vegetationsmatte auf Substrat (Dachfläche 1, Abbildung 12). Zum anderen wurden zwei Pflanzengesellschaften (Sedum-Vegetation und Sedum-Gras-Kraut-Vegetation) direkt auf einer Substratschicht untersucht (Dachflächen 2a und 2b), die auch bei der CO₂-Messung Gegenstand waren. Die Dachfläche 1 war vollsonnig, die Dachflächen 2a und 2b wiesen teilweise auch Schattenbereiche auf.

Tabelle 7 Angaben zu den untersuchten Dachflächen

	Dachfläche 1	Dachfläche 2a	Dachfläche 2b
Vegetationsform	Sedum	Sedum	Sedum-Gras-Kraut
Aussaat	Sedumsprossen	Trockenansaat	Trockenansaat
Vegetationstragschicht	Matte auf Substrat	Substrat	Substrat
Schichthöhe	ca. 10 cm	8 cm	8 cm
Dachfläche	ca. 350 m ²	ca. 550 m ²	ca. 550 m ²



Abbildung 12 Dachfläche 1 auf dem Saturnkomplex am Alexanderplatz in Berlin-Mitte



Abbildung 13 Dachflächen 2a und 2b auf dem Saturnkomplex am Alexanderplatz in Berlin-Mitte

Das Dach wurde einmal im Monat beprobt. Für die Untersuchungen der Biomasse wurde die Vegetation über dem Substrat entfernt (dreifache Wiederholung). Es wurde jeweils eine Fläche von 40 cm mal 40 cm beerntet (Abbildung 14 bis Abbildung 16). Der Deckungsgrad der Systeme, die untersucht wurden, betrug zu jeder Zeit 100 %. Es wurde versucht, zu jedem Termin eine einheitliche Sedumvegetation zu untersuchen, was aber nicht immer realisierbar war. Auch die Auswahl der Sedum-Gras-Kraut-Vegetation konnte nicht immer identisch erfolgen.



Abbildung 14 Biomassebestimmung auf der Dachbegrünung am Alexanderplatz in Berlin-Mitte



Abbildung 15 Auswahl der Fläche für die Biomassebestimmung auf der Dachbegrünung



Abbildung 16 Abgeerntete Fläche für die Biomassebestimmung auf der Dachbegrünung

Anschließend wurde die Frisch- und die Trockenmasse sowie der Aschegehalt der entnommenen Vegetation bestimmt. Aus der Differenz der Trockenmasse und des Aschegehalts wurde die Kohlenstoffmenge und daraus die aufgenommene Menge an CO_2 wie folgt berechnet:

Laut Assimilationsgleichung der Photosynthese wurde davon ausgegangen, dass der festgesetzte Kohlenstoff in Form von Glucose vorliegt. Der Kohlenstoffgehalt wurde aus der Differenz der Trockenmasse und des Aschegehalts als Verhältnis Kohlenstoff in der

Glucose/Glucose = 72/180 berechnet. Die CO₂-Aufnahme wurde anschließend als Verhältnis Kohlenstoff/Kohlendioxid=12/44 bestimmt.

Zusätzlich zu diesen Untersuchungen wurden einmalige Biomassebestimmungen von verschiedenen Sedumarten Ende Oktober 2012 vorgenommen, um aufzeigen zu können, wie viel Biomasse bzw. wie viel CO₂ verschiedene Sedumarten bis zum Herbst aufnehmen können. Für diese Untersuchungen wurde eine seit 2006 bestehende Dachbegrünung mit Sedummatten (Vegetationsmatten auf Schafwollbasis, ca. 350 m³) an der Humboldt-Universität zu Berlin in Berlin-Mitte herangezogen. Die Dachbegrünung besitzt sowohl vollsonnige Bereiche als auch viele Schattenbereiche, die verursacht werden durch sich an der Gebäudewand befindende Bäume (Abbildung 17). Unter den Vegetationsmatten befindet sich eine dünnschichtige Substratschicht (4 cm). Es wurden jeweils Pflanzen auf Flächen von 15 cm mal 15 cm bzw. 10 cm mal 10 cm mit dreifacher Wiederholung oberirdisch entnommen. Größere Flächen einer Sedumart waren auf der Matte nicht vorzufinden.



Abbildung 17 Dachbegrünung an der Humboldt-Universität zu Berlin in Berlin-Mitte

Folgende Sedumarten wurden bezüglich der Biomasseleistung untersucht:

- *Sedum album*
- *Sedum spurium*
- *Sedum kamtschaticum*
- *Sedum sexangulare*
- *Sedum hispanicum*

Von den Sprossen wurden die Frischmasse, die Trockenmasse und der Aschegehalt bestimmt. Anhand dieser Daten wurde anschließend der Kohlenstoffgehalt berechnet und daraus die von den Pflanzen aufgenommene Menge an CO₂ ermittelt.

3.2.3 Ergebnisse der Praxisuntersuchungen

Zwischen den Monaten Juli bis November 2012 konnte eine tendenzielle Abnahme der Frischmasse bei allen drei Vegetationsformen festgestellt werden (Abbildung 18).

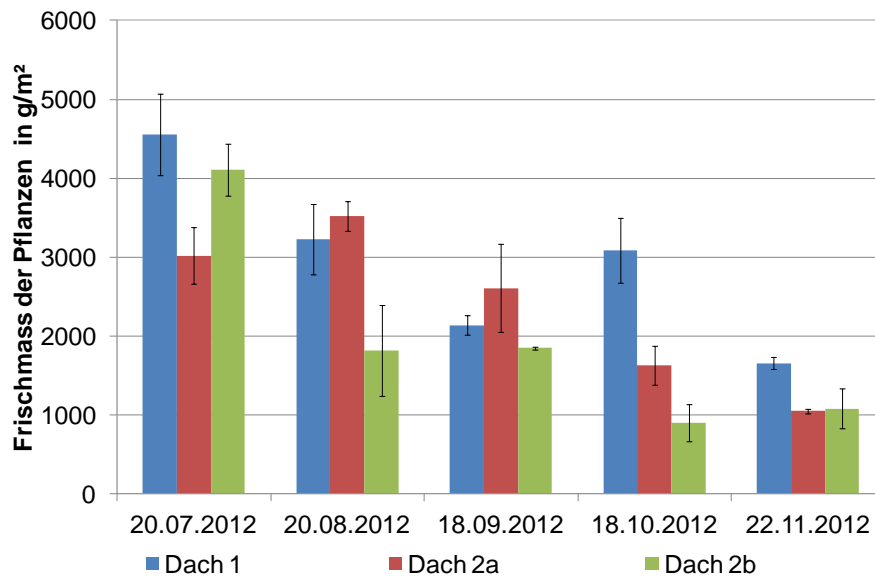


Abbildung 18 Frischmasseerträge (mit Mittelwertabweichung, n=3) der untersuchten Dachflächen (1, 2a, 2b) auf dem Saturnkomplex am Alexanderplatz in Berlin- Mitte

Die Frischmasse des Daches 1 war im Juli mit etwa 4.500 g/m² am höchsten und nahm dann im August und September ab. Im Oktober wurden noch einmal ca. 3.000 g/m² Biomasse geerntet. Der hohe Frischmasseertrag im Oktober (Dach 1) beruhte darauf, dass im wesentlichen *Sedum spurium* geerntet wurde. Dieser Wert ist unter Umständen fehlerbehaftet und fließt nicht in die Bilanzierung der aufgenommenen CO₂-Menge ein. Im November wurde die niedrigste Frischmasse von ca. 1.600 g/m² geerntet.

Auf dem Dach 2a wurden im Juli etwa 3.000 g/m² Sedumpflanzen geerntet, dann gab es einen leichten Anstieg im August (ca. 3.500 g/m²). Ab September wurde die Biomasse wieder weniger. Im November wurde dann die niedrigste Frischmasse von ca. 1.000 g/m² geerntet.

Das Dach 2b wies im Juli die höchste Frischmasse (ca. 4.100 g/m²) auf. Die Erträge in den Monaten August bis November gingen zurück und waren wesentlich niedriger als im Juli. Im November 2012 betrug die Frischmasse – ähnlich wie auf der Dachfläche 2a – durchschnittlich ca. 1.100 g/m².

Untersuchungen zur Trockensubstanz zeigten, dass diese im Verlauf des Untersuchungszeitraumes zunahm. Sie schwankte zwischen 14,3 % im Juli und 29,5 % im November (siehe Anlage).

Untersuchungen zur Trockenmasse zeigten eine tendenzielle Abnahme der Trockenmasse der Pflanzen im Zeitraum Juli bis November 2012 auf den verschiedenen Dachflächen. Die Trockenmasse der Pflanzen des Daches 1 erreichte im Juli den höchsten Wert mit etwa 700 g/m² (unter Vernachlässigung des Oktoberwertes aus oben genannten Gründen). Im November erreichte die Trockenmasse den niedrigsten Wert über dem Erntezeitraum mit etwa 400 g/m².

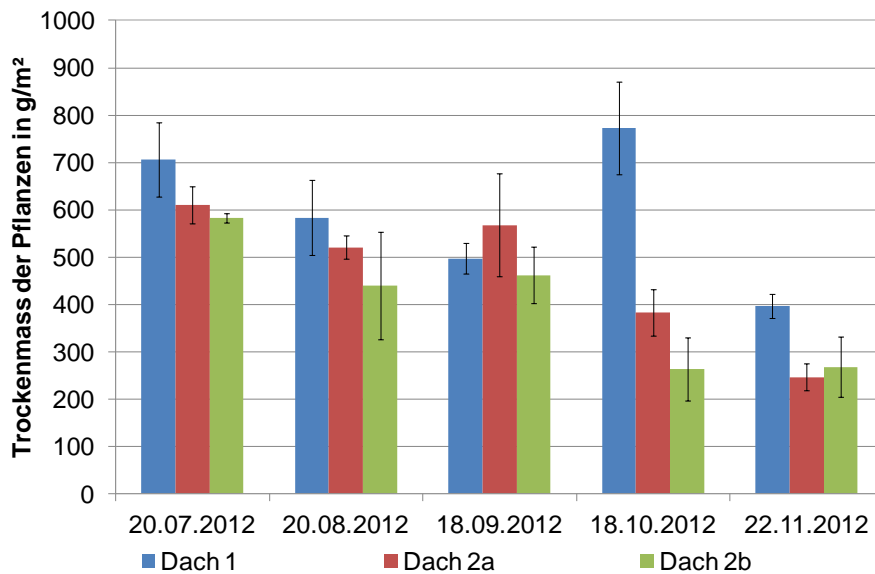


Abbildung 19 Trockenmasseerträge (mit Mittelwertabweichung, n=3) der untersuchten Dachflächen (1, 2a, 2b) auf dem Saturnkomplex am Alexanderplatz in Berlin- Mitte

Die Trockenmassen der Dächer 2a und 2b waren meist niedriger als die des Daches 1. Die höchsten Trockenmassen lagen im Juli bei ca. 610 g/m² (Dach 2a) bzw. 580 g/m² (Dach 2b). Im November 2012 konnte auf beiden Dachflächen nahezu ein gleicher Wert von ca. 250 g/m² ermittelt werden.

Der Aschegehalt der verschiedenen Vegetationsformen betrug im Zeitraum Juli bis November 2012 zwischen 8,0 % und 13,0 %. Eine Abhängigkeit des ermittelten Aschegehalts vom Erntetermin bzw. von der Vegetationsform konnte nicht festgestellt werden (siehe Anlage).

Die höchste berechnete CO₂-Aufnahme erfolgte durch die Vegetation des Daches 1 bis zum Juli 2012 mit umgerechnet durchschnittlich 9,4 t/ha (Abbildung 20). Die Vegetation auf Substrat (Dach 2a und 2b) hatte unabhängig von der Vegetationsform die höchsten Mengen an CO₂ ebenfalls bis zum Juli 2012 aufgenommen (Abbildung 20). Die CO₂-Aufnahme betrug bei der Sedumvegetation 7,8 t/ha und bei der Sedum-Gras-Kraut-Vegetation 7,6 t/ha. Beide Vegetationsformen sind demnach bezüglich der Leistungsfähigkeit der CO₂-Aufnahme vergleichbar.

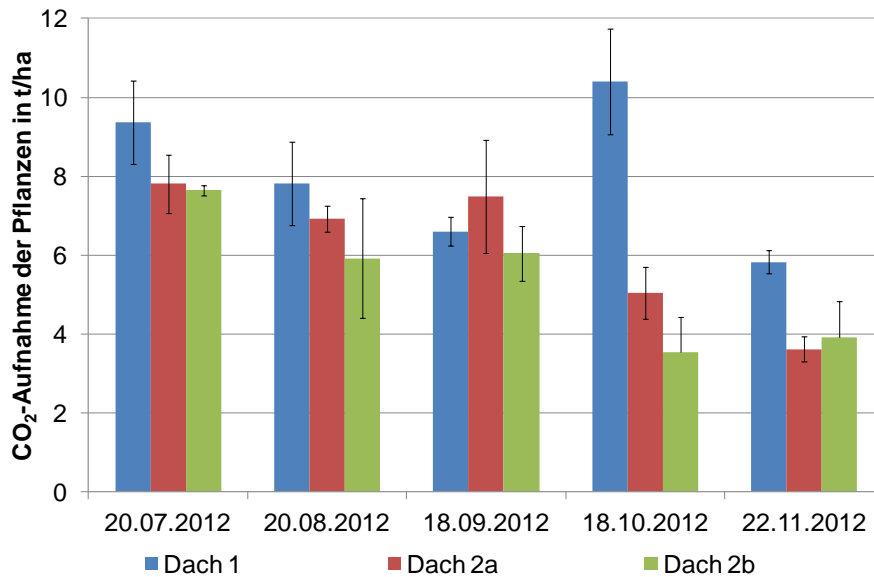


Abbildung 20 Berechnete CO₂-Aufnahme (mit Mittelwertabweichung, n=3) der untersuchten Dachflächen (1, 2a, 2b) auf dem Saturnkomplex am Alexanderplatz in Berlin-Mitte

Bezüglich der Untersuchungen zu den einzelnen Sedumarten auf der Dachbegrünung der Humboldt-Universität zu Berlin wird deutlich, dass *Sedum album* mit ca. 3.800 g/m² den höchsten Frischmasseertrag und *Sedum sexangulare* mit ca. 2.300 g/m² den geringsten Frischmasseertrag erzielte. Der Durchschnitt der Frischmasse aller Sedumarten betrug etwa 3.000 g/m². (Abbildung 21)

Hinsichtlich der Trockenmasse sind die Unterschiede nicht so groß. *Sedum album* wies mit 410 g/m² den niedrigsten Wert auf und *Sedum spurium* mit 477 g/m² den höchsten Wert. Der Durchschnitt der Trockenmasse aller Sedumarten lag bei 445 g/m². (Abbildung 21)

Ursachen für den relativ niedrigen Gehalt der Trockenmasse bei *Sedum album* lagen an der geringen Trockensubstanz von 10,9 % bzw. dem hohen Feuchtegehalt. Der Trockensubstanzgehalt bei *Sedum kamtschaticum* und *Sedum sexangulare* betrug hingegen fast das Doppelte (19,4 % bzw. 19,2 %) von *Sedum album*. (Abbildung 22)

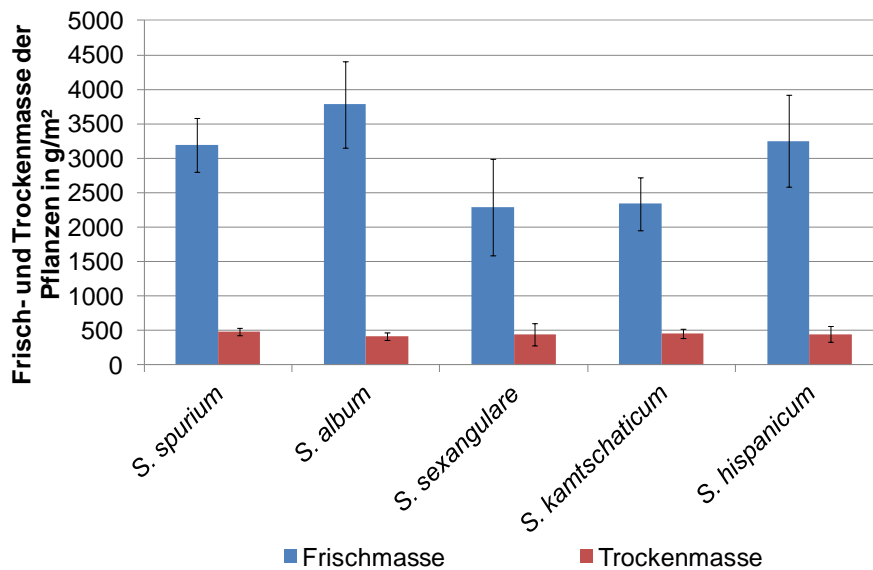


Abbildung 21 Frisch- und Trockenmasse (mit Mittelwertabweichung, n=3) von verschiedenen Sedumarten (Vegetationsmatten) der Dachbegrünung an der Humboldt-Universität zu Berlin Ende Oktober 2012

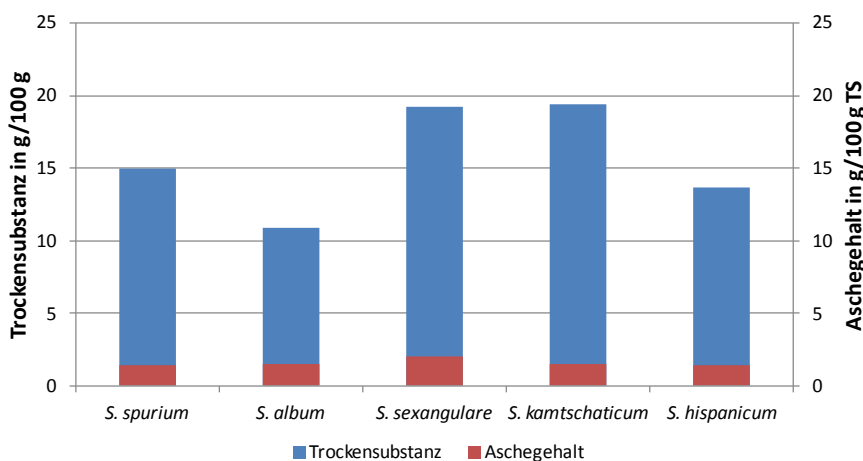


Abbildung 22 Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt und Aschegehalt von verschiedenen Sedumarten (Vegetationsmatten) der Dachbegrünung an der Humboldt-Universität zu Berlin Ende Oktober 2012

Es wird anhand dieses Beispiels noch einmal ganz deutlich, dass der Trockensubstanzgehalt sowohl in Abhängigkeit der Sedumarten stark variieren kann, dass aber der Trockensubstanzgehalt auch von der Jahreszeit und vom Ort (sonnig oder schattig) abhängig ist.

Der Aschegehalt der Trockenmasse schwankte zwischen 7,6 % (*Sedum kamtschaticum*) und 13,6 % (*Sedum album*), lag aber in der gleichen Größenordnung wie der ermittelte Aschegehalt der Pflanzen auf den Dachflächen 1, 2a und 2b. (siehe auch Anhang)

Bezüglich der aufgenommenen CO₂-Mengen der verschiedenen Sedumarten auf dem Dach der Humboldt-Universität zu Berlin wird deutlich, dass diese im Oktober 2012 zwischen 522 g/m² CO₂ bei *Sedum album* und 637 g/m² CO₂ bei *Sedum spurium* lagen, was eine Differenz von etwa 18 % ausmacht. Aufgrund der großen Mittelwertabweichungen sollten jedoch diese Untersuchungen noch einmal wiederholt werden. (Abbildung 23)

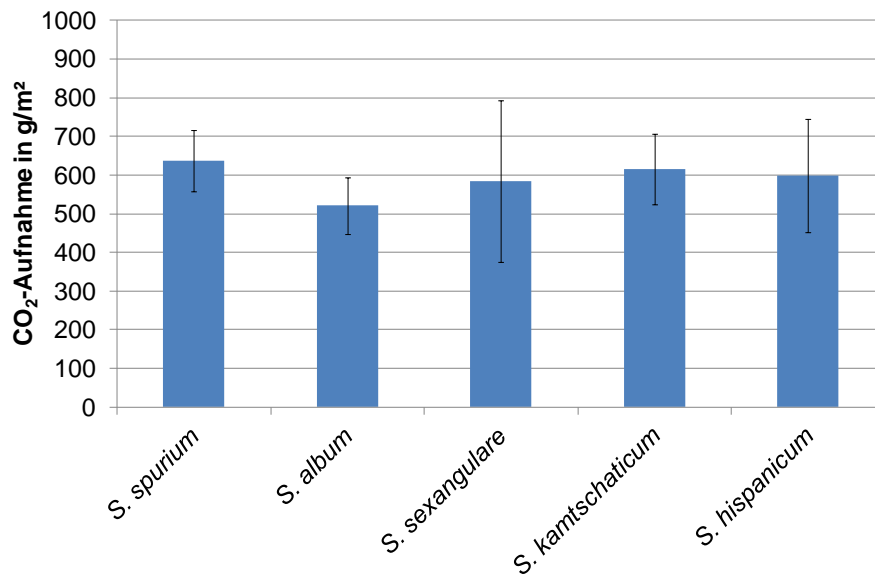


Abbildung 23 Berechnete CO₂-Aufnahme (mit Mittelwertabweichung, n=3) von verschiedenen Sedumarten (Vegetationsmatten) der Dachbegrünung an der Humboldt-Universität zu Berlin Ende Oktober 2012

4 Modellrechnungen anhand der ermittelten Daten und Recherchen zur CO₂-Bindungskapazität

4.1 Übersichtstabelle zur CO₂-Bindungskapazität in Abhängigkeit der Vegetationsform

Bezüglich der CO₂-Aufnahme von begrünten extensiven Flächen kann festgestellt werden, dass durch eine hohe Trockenmasse der Vegetation auch die CO₂-Bindungskapazität entsprechend hoch ist. Betrachtet man nur die oberirdische Biomasse der Pflanzen, so können bezüglich der untersuchten Vegetationsformen am IASP folgende Schlussfolgerungen für extensive Begrünungen gezogen werden: Grasvegetation und Sedumvegetation können zwischen 0,7 kg/m² und 0,9 kg/m² an CO₂ aufnehmen. Moose sind anscheinend leistungsfähiger und besitzen eine CO₂-Bindungskapazität bis zu 1,5 kg/m² CO₂. (Tabelle 8)

Tabelle 8 Versuchsergebnisse zum Gehalt der Trockenmasse (TM) der untersuchten Vegetationsformen und Berechnungen daraus zur notwendigen Aufnahme von CO₂ bzw. deren Festsetzung in Form von Kohlenstoff (C)

Vegetationsform - extensiv	TM in t/ha	Festlegung C in t/ha	Aufnahme CO ₂ in t/ha	Aufnahme CO ₂ in kg/m ²
Sedum	bis 6,4*	bis 2,6	bis 9,4	bis 0,9
Gras	bis 5,0	bis 2,0	bis 7,3	bis 0,7
Moos	bis 10,0	bis 4,0	bis 14,7	bis 1,5

* ohne Aschegehalt

Bezüglich der Werte aus der Literatur wird deutlich, dass Vegetationssysteme mit mehr Biomasse durchaus leistungsfähiger sein können. Bezogen auf die recherchierten Daten sind maximale CO₂-Aufnahmen durch Begrünungen bis zu 4,4 kg/m² CO₂ möglich (Tabelle 9).

Tabelle 9 Angaben aus der Literatur zum Gehalt der Trockenmasse (TM) ausgewählter Pflanzen und deren dazu notwendigen Aufnahme von CO₂ bzw. deren Festsetzung in Form von Kohlenstoff (C) in den gemäßigten Breiten (in grün berechnete Werte)

Vegetationsform – extensiv und intensiv	TM in t/ha	Festlegung C in t/ha	Aufnahme CO ₂ in t/ha	Aufnahme CO ₂ in kg/m ²	Literatur-quelle
Bäume (jährlich)	9,5	3,8	13,8	1,4	http://www.iplantatree.org/article/id/29
Wildmischungen und Stauden	bis 30,0	bis 12,0	bis 44,0	bis 4,4	VOLLRATH ET AL. (2011)
Wiesen	bis 13,0	bis 5,2	bis 19,1	bis 1,9	KTBL (2003)
Sedum	bis 6,0	bis 2,4	bis 8,8	bis 0,9	GETTER ET AL. (2006)
Moos	bis 15,0	bis 6,0	bis 22,0	bis 2,2	FRAHM (2009)

4.2 Berechnung der CO₂-Bindungskapazität begrünter Dachflächen

Extensive und intensive Dachbegrünungen bzw. Begrünungen extensiver oder intensiver Art können je nach Anforderung und Wunsch verschiedenartig zusammengesetzt sein. Folgende Vegetationsformen sind zum Beispiel möglich:

- Moos-Sedum
- Moos-Sedum-Kraut
- Sedum-Gras-Kraut
- Gras-Kraut
- Stauden-Gehölze-Rasen
- Stauden-Gehölze-Bäume
- Rasen

Geht man von den oben berechneten Werten der CO₂-Aufnahme von Pflanzen aus, können Modellrechnungen bezüglich der maximalen CO₂-Aufnahme der verschiedenen Vegetationsformen gemacht werden. (Tabelle 10)

Es wird deutlich, dass intensive Vegetationsformen wie Stauden-Gehölze-Rasen oder Stauden-Gehölze-Bäume mindestens das Zweifache der extensiven Vegetationsformen an CO₂ aufnehmen können. Es zeigt sich aber auch, dass die extensiven Formen Moos-Sedum-Vegetation und Moos-Sedum-Kraut-Vegetation ebenfalls in der Lage sind, relativ hohe Mengen an CO₂ (bis 1,2 kg/m² CO₂) aufzunehmen.

Tabelle 10 Modellrechnung zum maximalen Gehalt der Trockenmasse (TM) verschiedener Vegetationsformen und deren dazu notwendigen Aufnahme von CO₂ bzw. deren Festsetzung in Form von Kohlenstoff (C) in den gemäßigten Breiten

Vegetationsform	TM in t/ha	Festlegung C in t/ha	Aufnahme CO ₂ in t/ha	Aufnahme CO ₂ in kg/m ²
Extensiv (lt. Versuchsergebnisse)				
Moos-Sedum (1:1)	8,2	3,3	12,0	1,2
Moos-Sedum-Kraut (2:1:1)	7,8	3,1	11,4	1,1
Sedum-Gras-Kraut (2:1:1)	5,7	2,3	8,4	0,8
Gras-Kraut (1:1)	5,0	2,0	7,3	0,7
Intensiv (lt. Literaturrecherche)				
Stauden-Gehölze-Rasen (1:1:2)*	16,4	6,6	24,0	2,4
Stauden-Gehölze-Bäume (2:1:1)*	19,8	7,9	29,0	2,9
Rasen	13,0	5,2	19,1	1,9

* Trockenmasse von Gehölzen kann durch weiteres Wachstum über die Jahre zunehmen

Das Statistische Bundesamt in Deutschland belegt, dass 2010 87 ha pro Tag für Verkehrs- und Siedlungszwecke in Anspruch genommen wurde. Der Versiegelungsgrad dieser Flächen betrug etwa 43 % bis 50 %. [12]

Geht man davon aus, dass lediglich 10 % der jährlich versiegelten Fläche durch extensive Dachbegrünungen renaturiert werden können, was in etwa einer Fläche von 1.600 ha entspricht, so besteht die Möglichkeit, dass allein durch die oberirdische Vegetation bis zu 19.000 t CO₂ wieder dauerhaft in Form von Kohlenstoff gebunden werden können (Tabelle 11).

Tabelle 11 Modellrechnung zur CO₂-Aufnahme von jährlich versiegelten Flächen, die als extensive Dachflächen genutzt werden können

	ha/Tag	ha/Jahr
Verkehrs- und Siedlungsfläche	87,0	31.755
Versiegelte Fläche (50 % der Verkehrs- und Siedlungsfläche)	43,5	15.878
Renaturierung durch extensive Dachbegrünung (Annahme: 10 % der versiegelten Fläche)	4,4	1.588
	t/Tag	t/Jahr
CO ₂ -Fixierung durch extensive Dachbegrünung (z. B. Moos-Sedum) (Annahme: CO ₂ -Aufnahme beträgt 12,0 t/ha)	52,2	19.053

5 Zusammenfassung

Extensive Dachbegrünungssysteme können einen hohen Beitrag zur CO₂-Reduzierung leisten. Auf der Grundlage von experimentellen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass eine Aufnahme von mindestens 0,9 kg/m² nur durch die oberirdische Biomasse der Pflanzen bei einer extensiven Dachbegrünung innerhalb der ersten drei Jahre möglich ist (Tabelle 12).

Tabelle 12 Versuchsergebnisse zum Gehalt der Trockenmasse (TM) der untersuchten Dachflächen und Berechnungen daraus zur notwendigen Aufnahme von CO₂ bzw. deren Festsetzung in Form von Kohlenstoff (C)

	TM in t/ha	TM ohne Asche in t/ha	C in t/ha	CO ₂ in t/ha	CO ₂ in kg/m ²
Dachfläche 1 (Sedum auf Vegetationsmatte)	bis 7,1	bis 6,4	bis 2,6	bis 9,4	bis 0,9
Dachfläche 2a (Sedum auf Substrat)	bis 6,1	bis 5,3	bis 2,1	bis 7,8	bis 0,8
Dachfläche 2b (Sedum-Gras-Kraut auf Substrat)	bis 5,8	bis 5,2	bis 2,1	bis 7,6	bis 0,8

Es wird davon ausgegangen, dass die tatsächliche Leistung einer horizontalen Bauwerksbegrünung bezüglich der CO₂-Aufnahme aufgrund der Speicherung des CO₂ in den Wurzeln und des Substrates jedoch um ein Vielfaches höher liegt. Die Pflanzenart spielt bei extensiven Dachbegrünungen eine untergeordnete Rolle.

Von Vorteil ist, dass das durch die Vegetation der Dachbegrünung gebundene CO₂ auf Dauer festgelegt wird. Auch wenn durch natürliche Verrottungsprozesse CO₂ wieder freigesetzt wird, so erfolgt doch in der nächsten Wachstumsperiode ein erneutes Pflanzenwachstum und damit eine weitere CO₂-Aufnahme durch die Vegetation.

Modellrechnungen haben ergeben, dass extensive Dachbegrünungen mit optimaler Pflanzenzusammensetzung bis zu 1,2 kg/m² CO₂ aufnehmen können. Hervorzuheben ist die Moos-Sedum-Vegetation.

Durch die jährliche Versiegelung von Flächen stehen diese der einstigen CO₂-Aufnahme nicht mehr zur Verfügung. Hier gilt es zu überlegen, in welcher Größenordnung eine Renaturierung erfolgen könnte. Würden nur 10 % der in Deutschland jährlich versiegelten Flächen für extensive Dachbegrünungen genutzt werden, könnte eine dauerhafte Bindung des CO₂ auf diesen Flächen allein durch die oberirdischen Pflanzen bis zu 19.000 t CO₂ erfolgen. Dieses hohe Potential der CO₂-Bindung, das durch Dachbegrünungen möglich wird, zeigt auf, wie bedeutend Renaturierungsmaßnahmen sind.

Wichtig für eine hohe Biomasse und damit eine hohe CO₂-Aufnahme ist aber auch, dass nach dem Anlegen einer extensiven Dachbegrünung auf eine ausreichende Wartung und Pflege Wert gelegt wird, damit der Beitrag für die Umwelt bezüglich der CO₂-Bindung möglichst groß ist!

Fazit

Extensive Dachbegrünungen tragen dazu bei, CO₂ aus der Luft dauerhaft in Form von Kohlenstoff zu binden. Die oberirdische Biomasse einer dreijährigen extensiven Dachbegrünung kann unabhängig von der Vegetationsform mindestens zwischen 0,8 und 0,9 kg/m² CO₂ aufnehmen. Die Untersuchungen sollten jedoch fortgeführt werden, um auch Daten für die Zeiträume Mai/Juni zu erhalten. Dann können genaue Aussagen darüber getroffen werden, welche Mengen an CO₂ eine Dachbegrünung tatsächlich über das Jahr in Form von Kohlenstoff speichern kann.

Modellrechnungen haben ergeben, dass die CO₂-Aufnahme einer extensiven Begrünung bis zu 1,2 kg/m² CO₂ bzw. 1,2 t CO₂ je 1.000 m² Dachfläche betragen kann. Intensive Begrünungssysteme können bis zu 2,9 kg/m² CO₂ aufnehmen, was umgerechnet 2,9 t CO₂ je 1.000 m² entspricht. Hier muss jedoch berücksichtigt werden, dass eine weitere CO₂-Aufnahme durch die Gehölze und Sträucher durch deren Wachstum über die Jahre erfolgen kann und somit der Wert höher liegen wird.

Es ist demzufolge durchaus sinnvoll, versiegelte Flächen zu begrünen, da dadurch die verlorengegangenen CO₂-Senken wieder zurückgewonnen werden können.

Es hat sich gezeigt, dass extensive Dachbegrünungen durch die Aufnahme von CO₂ einen nicht zu unterschätzenden Beitrag für den Umweltschutz leisten können.

Literatur

Internet

- [1] <http://globalklima.blogspot.de/2008/04/stammt-das-zustzliche-co2-in-der-luft.html>
- [2] http://www.pik-potsdam.de/~stefan/Publications/Other/klimawandel_fact_sheet.pdf
- [3] http://www.focus.de/panorama/welt/klima-co2-ausstoss-weltweit-so-hoch-wie-nie_aid_681295.html
- [4] <http://www.wald.de/bundeswaldinventur-der-wald-in-zahlen/>
- [5] <http://www.wald.de/wie-viel-kohlendioxid-co2-speichert-der-wald-bzw-ein-baum/>
- [6] <http://www.iplantatree.org/article/id/29>
- [7] <http://de.wikipedia.org/wiki/Zierpflanze>
- [8] <http://www.landberatung.de/beratung/fachartikel/detailansicht/article/anbautelegramm-miscanthus-giganteus-chinaschilf.html>
- [9] <http://www.iasp.asp-berlin.de/ib2009.pdf>
- [10] <http://www.iasp.asp-berlin.de/ib2011.pdf>
- [11] <http://www.energiepflanzen.info/pflanzen/>
- [12] https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomisheGesamt-rechnungen/Umweltindikatoren/IndikatorenPDF_0230001.pdf?__blob=publicationFile

Bücher

- WEBER ET AL. (2009): Kohlenstoffbindung junger Aufforstungsflächen. TU München. Karl Gayer Institut 2009
- NABU-BUNDESVERBAND (2008): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Berlin. 2008
- KTBL (2003): Faustzahlen für die Landwirtschaft: Darmstadt 2005, S. 337-338.
- LANDESANSTALT FÜR ENTWICKLUNG DER LANDWIRTSCHAFT UND DER LÄNDLICHEN RÄUME (LEL) (2011/2012): Agrarmärkte: Jahresheft 2011/2012, Schwäbisch Gmünd 2012., S. 347
- JIAN-FENG LI (2010): Effect og green roof on ambient CO₂ concentration. Building and Environment 45 (2010). 2644-2651.
- VOLLRATH, BIRGIT (2011): Potentiale von Wildpflanzenmischungen für eine nachhaltige Biomasseproduktion. Landinfo 5/2011
- GETTER, K. L. ET AL (2009): Environmental Science & Technology 43 (19). S. 7564-7570. 2009.

Anhang

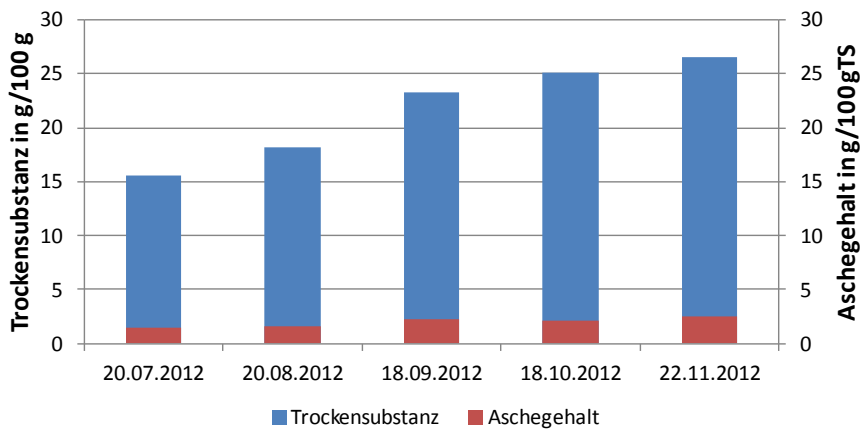


Abbildung 24 Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt und Aschegehalt der Pflanzen der Dachbegrünung des Saturnkomplexes am Alexanderplatz in Berlin- Mitte (Dach 1)

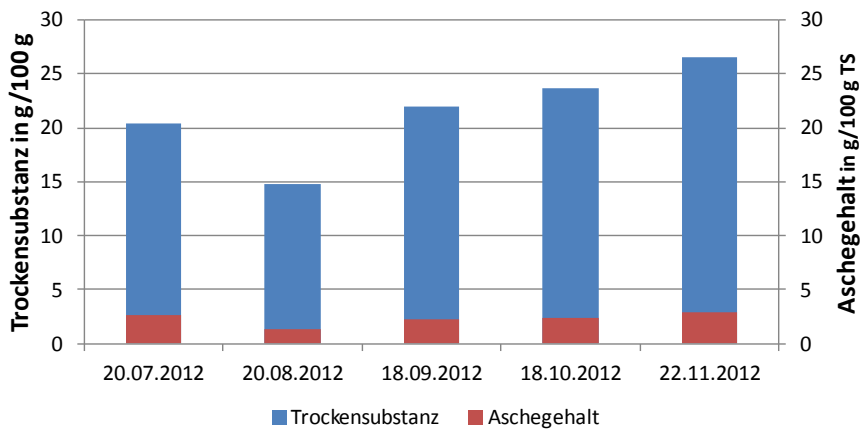


Abbildung 25 Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt und Aschegehalt der Pflanzen der Dachbegrünung des Saturnkomplexes am Alexanderplatz in Berlin- Mitte (Dach 2a)

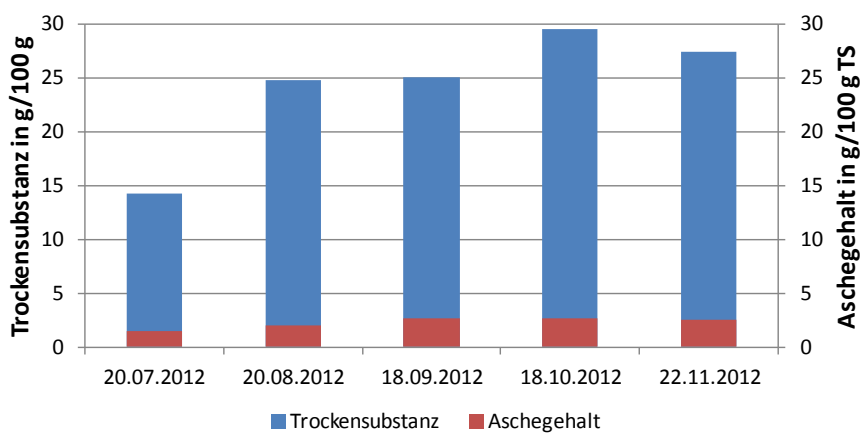


Abbildung 26 Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt und Aschegehalt der Pflanzen der Dachbegrünung des Saturnkomplexes am Alexanderplatz in Berlin- Mitte (Dach 2b)

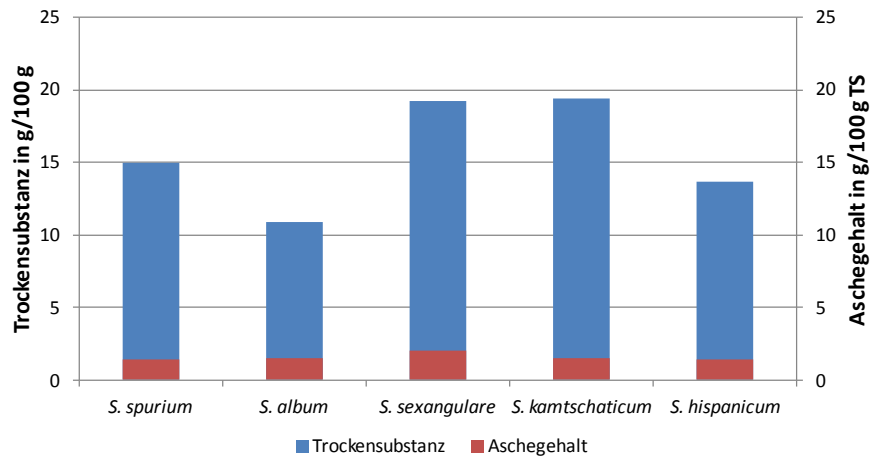


Abbildung 27 Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt und Aschegehalt von verschiedenen Sedumarten (Vegetationsmatten) der Dachbegrünung an der Humboldt-Universität zu Berlin Ende Oktober 2012