

Quantifizierung der CO₂-Bindungsleistung in unseren Schutzgebieten

Im globalen Kohlenstoffkreislauf gibt es lang- und kurzfristige Prozesse ([IPCC, 2001](#)). Sowohl die jährliche Aufnahme von CO₂ durch Photosynthese und Produktion von Sauerstoff, als auch die Atmung der Pflanzen und die damit verbundene Emission von CO₂ halten sich jährlich im Gleichgewicht und werden somit auf lange Sicht mit “Null” bilanziert. Allerdings gilt der langfristige Entzug von Kohlenstoff aus der Atmosphäre, der zum Beispiel durch die Speicherung von Kohlenstoff im Boden oder in der Biomasse entsteht, tatsächlich als Bindung. Beispiele für diese Bindungsleistung sind das langfristige Wachstum von Humus und Bäumen. Die Bestimmung der CO₂-Bindungsleistung ist komplex und hängt stark von den gesetzten Systemgrenzen und der Methodenwahl ab ([Neumann et al., 2016](#); [Spawn et al., 2020](#)).

Wir haben die Bindungsleistung des Waldes über die gängige Methode der Biomasse-Berechnung des Ökosystems gemessen. Biomasse bezeichnet die Gesamtheit der organischen Substanz innerhalb eines Ökosystems. Anhand von sogenannten “allometrischen Formeln” lässt sich durch die Umrechnung einfach erhebbarer Parameter die Biomasse bestimmen. Das funktioniert, da die Allometrie die Beziehung zwischen verschiedenen Baummaßen und der Biomasse beschreibt. Diese anerkannte wissenschaftliche Methode wird unter anderem in der Treibhausgasberichterstattung für Wälder Deutschlands nach den Anforderungen des Kyoto-Protokolls genutzt. Die Methode bringt jedoch, wie alle Feldmessungen, methodische Unsicherheiten mit sich. Vor allem in Regionen mit hohen Bindungsleistung steigen diese proportional zur Biomasse. Weil zudem die tatsächlichen Werte je nach Bestimmungszeitpunkt und -ort stark variieren, haben wir uns auf einen allgemeinen Näherungswert von 60 kg CO₂/m² festgelegt¹, da er auf den tatsächlichen Messungen im WI-Schutzgebiet basiert. Die Berechnung und Begründung sind in diesem Dokument ausgeführt.

Es ist allerdings wichtig hinzuzufügen, dass sich die Berechnung ausschließlich auf die Bindungsleistung der lebenden oberirdischen Biomasse² bezieht und die Kohlenstoffbindungen in Boden und Totholz in unserer Berechnung vorerst vernachlässigt wurden³. Hauptgrund dafür ist die praktische Umsetzbarkeit, da die Einbeziehung aller organischer Materie technisch und praktisch schwierig durchführbar ist. Die oberirdische Biomasse ist hingegen relativ gut messbar, kann vergleichsweise genau geschätzt werden und beruht auf etablierten Methoden. Durch die Wahl standardisierter Methoden sind die Ergebnisse zudem besser vergleichbar. Zum Anderen beeinflussen viele Faktoren, wie die Bodenzusammensetzung, die klimatischen Bedingungen oder fortlaufende Zersetzungsprozesse der organischen Materie den tatsächlichen Kohlenstoffgehalt im Boden und Totholz. Würde man diese organische Masse mit einberechnen, könnte der Gesamt-CO₂-Speicher der Wälder bei 97 kg CO₂/m² bis 300 kg CO₂/m² ([IPCC, 2006](#); [Pallqui et al., 2014](#)) liegen. Diese Werte wurden bisher nicht von WI übernommen, weil sie nicht auf den tatsächlichen Messungen in unseren Schutzgebieten beruhen. Allerdings erheben wir fortlaufend Daten, um die CO₂-Bindungsleistung kontinuierlich zu aktualisieren und zu konkretisieren.

¹ Bis 2022 lag das kommunizierte Kohlenstoffspeicherpotential der kanadischen Primärwälder bei 104,79 kg CO₂/m². Dieser Wert fußte auf einer Messung der lebenden oberirdischen Biomasse in unserem Schutzgebiet im Toba Valley. Heute nutzen wir diesen Wert nicht mehr, da dessen Grundlage auf eine geringere Anzahl von Messungen zurückgeht. Stattdessen haben wir uns für die Werte der umfassenderen und repräsentativeren Messung entschieden.

² Die lebende oberirdische Biomasse umfasst dabei sämtliche lebende Pflanzenteile, die sich oberhalb der Bodenoberfläche befinden, wie beispielsweise Stämme, Äste, Blätter und Rinde.

³ Gerade die Werte des Bodenkohlenstoffs können in einigen unserer Schutzgebiete, wie z.B. in Mooren, einen erheblichen Anteil des gespeicherten Kohlenstoffs ausmachen. Vergleichswerte für Moorböden auf Porcher Island gehen von 180–240 kg CO₂ pro m² Moorboden aus ([Tarnocai et al., 2011](#)), die bisher in unserem kommunizierten Wert noch unterschlagen werden. Noch mächtigere Torfböden können sogar bis zu 1.100 kg CO₂ pro m² speichern.

Inhalt

1. Abkürzungen.....	2
2. Wichtige Umrechnungsfaktoren.....	2
3. Berechnung der lebenden oberirdischen Biomasse in Kanada.....	2
3.1 Versuchsaufbau.....	2
3.2 Rechenweg.....	3
3.3 Ergebnisse.....	3
3.4 Vergleichswerte.....	4
4. Berechnung der lebenden oberirdischen Biomasse in Peru.....	4
4.1 Vergleich der Literaturwerte.....	4
4.2 Ergebnisse.....	5
5. Diskussion.....	5
Quellen.....	7

1. Abkürzungen

C	Kohlenstoff
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
ha	Hektar
kg	Kilogramm
m ²	Quadratmeter
t	Tonne
yr	Jahr

2. Wichtige Umrechnungsfaktoren

- **1 kg C $\hat{=}$ 3,67 kg CO₂ | Umrechnungsfaktor * 3,67**
(Der Umrechnungsfaktor basiert auf der molaren Masse. Kohlendioxid hat eine molare Masse von 44 Gramm/Mol. Bei Kohlenstoff sind es 12 Gramm/ Mol. Somit ergibt sich ein Massenverhältnis von CO₂ zu Kohlenstoff von 44/12 = 3,67.)
- **1 kg/m² $\hat{=}$ 10 t/ha | Umrechnungsfaktor * 10**

3. Berechnung der lebenden oberirdischen Biomasse in Kanada

Holtermann (2013) berechnete in seiner Diplomarbeit die Baumbiomasse in den kanadischen Schutzgebieten von Wilderness International auf Porcher Island mit der zuvor beschriebenen Methode der Biomassebestimmung über allometrische Gleichungen. Folgend sind die Arbeitsschritte und Ergebnisse zusammengefasst.

3.1 Versuchsaufbau

- Auswahl von 7 Versuchsfeldern im Schutzgebiet auf Porcher Island à 25m x 25m nach Praktikabilitätsgründen wie Zugänglichkeit oder GPS-Empfang (Aufgeteilt in die Standorte A1+2, B1+2, C1+2, D)
- Messen der Stammdurchmesser: Auf allen 7 Versuchsfeldern wurden die Durchmesser aller Bäume mit einem Durchmesser von ≥ 10 cm über einer Höhe von 1,3 m in den Jahren 2011 und 2012 auf Brusthöhe aufgenommen.

- Der Kronendurchmesser wurde zusätzlich nach folgender Formel von [Hemery et al. \(2005\)](#) berechnet:

$$\text{Kronendurchmesser} = 20 \times \text{Durchmesser auf Brusthöhe}$$

- Bei jedem in die Analyse eingeschlossenen Baum wurde zudem die Baumart bestimmt
- Insgesamt wurden in den Jahren 2011 und 2012 435 Bäume auf einer Fläche von 3961 m² untersucht

3.2 Rechenweg

1. Berechnung der Stamm-Biomasse (M) nach [Mikaelian und Korzukin \(1997\)](#) nach folgender Formel:

$$M = a * D^b$$

M ist das errechnete Trockengewicht der Biomasse in kg

D steht für den Durchmesser der Bäume in Brusthöhe (1,30 m) in cm

a und b sind baumart-spezifische Parameter, die der Fachliteratur entnommen wurden (vgl. [Brown, 1978](#); [Bormann, 1990](#); [Gholz et al., 1979](#); Krumlik, 1974)

2. Addition der Einzelwerte zur Berechnung der Gesamtbiomasse:

Da es jeweils einzelne Parameter a und b pro Baumart und Komponente (Stamm, Laub oder Zweige) gibt, wurde Schritt 1. jeweils für die einzelnen Komponenten durchgeführt und aufeinander addiert. Die Ergebnisse der sieben Versuchsfelder variierten je nach Ort der Messung zwischen 31 und 397 t Biomasse/ha. Durch die eingerechnete Gewichtung der Feldgrößen kam Holtermann (2013) auf einen Mittelwert von 330 t Biomasse/ha.

3. Umrechnung des Biomasse-Gewichts in Gewicht an Kohlenstoff:

Um Biomasse in Kohlenstoff umzurechnen, wurde der Faktor von 2:1 nach Larcher (2003) angewendet. Dieser Faktor entsteht aus dem Durchschnittswert, dass ca. 50 % der organischen Trockenmasse Kohlenstoff zugeschrieben wird. Demnach enthält der Standort "ABC" mit 330 t Biomasse/ha 165 t C/ha.

3.3 Ergebnisse

- Durch die Messung auf Porcher Island im Rahmen der Diplomarbeit von Holtermann wurden 165 t C/ha in lebender oberirdischer Biomasse bestimmt.
- Anhand einer vergleichenden Biomassebestimmung in den Jahren 2011 und 2012 an den exakt gleichen Standorten mit gleicher Messmethode und gleichem Rechenweg konnte die Zunahme von 3,02 t C/ha und somit 1,1 % Kohlenstoff festgestellt werden. Dies entspricht Vergleichswerten von [Cook-Patton et al. \(2020\)](#). Dies entspricht dem Forschungsstand, dass auf lange Sicht die Primärregenwälder auch heute noch einen Zuwachs an Kohlenstoff haben. Wir bilanzieren diesen Zuwachs allerdings heute noch mit Null.
- 165 t C/ ha ergeben umgerechnet 606,79 t CO₂/ ha. Das entspricht **60,68 kg CO₂/m²**. (Folgend berechnet aus: 165 t C/ha * 3,67 = 606,79 t CO₂/ha. 606,79 t CO₂/ha /10= 60,68 kg CO₂/m².)
- Entgegen der Annahme, dass Primärwälder eine ausgeglichene Kohlenstoffbilanz aufweisen, deuten sowohl die Felddaten als auch Holtermanns (2013) Simulationen darauf hin, dass der untersuchte Wald noch wächst und weiter Kohlenstoff aufnimmt und speichert.

3.4 Vergleichswerte

- (1) Mit einer lebenden oberirdischen Biomasse von 330 t Biomasse/ha ist der Bestand geringer als bei typischen Wäldern dieser Region, die Literaturangaben zufolge 450 - 1500 t Biomasse/ha fassen können (Gutierrez, 2010; Franklin und Waring, 1980; [Keeling und Phillips, 2007](#), [Waring und Franklin, 1979](#)).
- (2) Die Literaturwerte des in der oberirdischen Biomasse gespeicherten Kohlenstoffs schwanken zwischen 155 t C/ha ([IPCC, 2006](#); [Keeling und Phillips, 2007](#)) und 377 t C/ha ([Keith et al., 2009](#)). Somit nähert sich der Wert von 165 t C/ha den Berechnungen des IPCC an.
- (3) Zum Vergleich: Die weltweit höchste bekannte Gesamtkohlenstoffdichte von unglaublichen 1867 t C/ha (entspricht mehr als dem Zehnfachen des gemessenen Wertes) wurde in den australischen Regenwäldern der gemäßigten Zone gefunden ([Keith et al., 2009](#)).

Disclaimer: Bäume mit einem Durchmesser von weniger als 10 cm wurden nicht in die Berechnung einbezogen, da die Bäume nur eine geringe Menge an Biomasse speichern. Zusätzlich zu der Berechnung der C-Speicherung in der lebenden oberirdischen Biomasse unternahm Holtermann (2013) eine Simulation der Kohlenstoffspeicherung des gesamten Ökosystems (einschließlich Boden und Wurzeln), wobei er auf einen Gesamtwert von 210 t C/ha bzw. 320,5 t C/ha kam. Das entspricht einer Speicherung von 77 - 118 kg CO₂/m². Viele Literaturwerte übersteigen diese Werte. Beispielsweise erstellten [Smithwick et al. \(2002\)](#) eine Berechnung der Biomasse des gesamten Ökosystems mittels einer äußerst umfangreichen Messungen aller organischen Materie des Waldes (einschließlich lebender und toter Äste, Laub, Stammrinde, Stammholz, Feinwurzeln, lebender und toter Grobwurzeln, feinem Totholz, Waldboden, morsche Holzstämme, Baumstümpfe, Sträucher und Kräuter). Lediglich Epiphyten wurden nicht in die Berechnung einbezogen, da sie schätzungsweise nur 0,06 % der oberirdischen Biomasse ausmachen. Bis 1 m Bodentiefe lag der Gesamtkohlenstoffgehalt des Ökosystems bei 754,2 - 819,7 t C/ha. Das würde einer Bindung von 276 - 301 kg CO₂/m² entsprechen.

4. Berechnung der lebenden oberirdischen Biomasse in Peru

In Peru ist die Berechnung der CO₂-Bindungsleistung anhand von Daten aus über 100 Versuchsfeldern noch in vollem Gange. Unsere Forscher:innen erheben dafür kontinuierlich die notwendigen Daten, die präzise ausgewertet und dann schnellstmöglich veröffentlicht werden. Heute gibt es allerdings schon einige Vergleichswerte aus der Literatur, die eine Orientierung für die CO₂-Bindung geben können (siehe Tabelle 1).

4.1 Vergleich der Literaturwerte

Tabelle 1: Vergleich der Studienergebnisse zur oberirdischen Biomasse

No	Vegetationstyp	Ergebnisse	Quelle	Methode
1	Oberirdisch lebende Biomasse im Tambopata Regenwald	296,2 t Biomasse/ ha = 54,35 kg CO ₂ /m ²	Pallqui et al. (2014)	Basierend auf Gleichung von Chave et al. (2005) , auf 9 Parzellen gemessen und hochgerechnet
2	Lateinamerika Tropischer Äquatorialwald (ober- und unterirdische Biomasse)	200 bzw 193 t C/ha = 73,4 bzw. 70,83 kg CO ₂ /m ²	Gibbs et al. (2007) basierend auf Houghton (1999) DeFries et al. (2002)	Berechnung basiert auf IPCC (2006) für die Waldbiomasse. Tabelle 4.7 von IPCC wurde mit Standardwert von 0,47 Kohlenstoffanteil (McGroddy et al. 2004) in Kohlenstoffvorräte umgerechnet



No	Vegetationstyp	Ergebnisse	Quelle	Methode
3	Überirdische lebende Biomasse für die Tambopata Region	328 t Biomasse/ha = 60,18 kg CO ₂ /m ²	Harris et al. (2021) , gesehen bei Global Forest Watch (2023)	Auswertung von Airborne/ Spaceborne LIDAR-Satellitendaten, Berechnung basiert auf IPCC-Richtlinien
4	Altgewachsener Terra-Firm-Wald (oberirdische lebende Biomasse)	254,8 t Biomasse /ha = 46,76 kg CO ₂ /m ²	Saatchi et al. (2007)	Mittelwert aus 216 Versuchsfeldern, Datenerhebung mittels Luftbilder
5	Durchschnitt Gesamt-Biomasse für Wald:	140.81-174.49 t C/ha = 51,68 - 64,04 kg CO ₂ /m ²	Saatchi et al. (2007)	Durchschnittswerte der Terra Firm und Floodplainwälder für überirdische lebendige + tote Biomasse + unterirdische → Studie von Saatchi et al. (2011) belegt diese Zahlen, hat ähnliches Datengrundlage und Studienaufbau
6	Lateinamerika tropischer saisonaler Wald	140 bzw 128 t C/ha = 51,38 bzw 46,97 kg CO ₂ /m ²	Gibbs et al. (2007)	Unterschiedliche Messmethoden, basierend auf Richtlinien des IPCC (2006)
7	Urwälder im peruanischen Amazonasgebiet	Durchschnitt von 252,2 ± 11,04 t Biomasse/ ha = 46,27 kg CO ₂ /m ²	Lopez-Gonzalez et al. (2012), gesehen in Pallqui et al. (2014)	Basierend auf Gleichung von Chave et al. (2005)
8	Tambopata-Wälder	216,19 - 270,89 t Biomasse/ha = 39,67 bis 49,7 kg CO ₂ /m ²	Lopez-Gonzalez et al. (2012), gesehen in Pallqui et al. (2014)	Basierend auf Gleichung von Chave et al. (2005)

4.2 Ergebnisse

Die Daten für die lebende oberirdische Biomasse in Peru zeigen Werte zwischen 39 und 71 kg CO₂/m², wobei der grün markierte Wert am nächsten an die Standorte im WI-Schutzgebiet im peruanischen Regenwald herankommt. Die Messungen wurden in einer ähnlichen Region mit einer analogen Messmethode, wie in den kanadischen Schutzgebieten, erhoben. Somit entspricht die Studie von [Pallqui et al. \(2014\)](#) unserer Meinung nach den realen Bedingungen im von Wilderness International geschützten Regenwald. Daher orientieren wir uns am stärksten an den 54 kg CO₂/m².

5. Diskussion

Wie sowohl die eigenen Rechnungen, als auch der Vergleich von Literaturwerten deutlich machen, handelt es sich bei der Ermittlung der CO₂-Bindungsleistung um eine vielschichtige standort-, und zeitpunktabhängige Berechnung. Alle Ergebnisse sind daher faktische Näherungswerte und Momentaufnahmen. Weil alle Methoden auch methodische Unsicherheiten mit sich bringen, bildet kein Wert zu 100 % die Wirklichkeit ab. Uns ist es allerdings wichtig, einen möglichst realistischen Näherungswert anzusetzen, weshalb wir uns für einen groben Richtwert von 60 kg CO₂/m² in der Außenkommunikation entschieden haben.

Das hat mehrere Gründe:

1. Wir möchten keine falschen Versprechungen machen und Overstatements vermeiden. Denn durch übertriebene oder unrealistische Angaben zur CO₂-Speicherung wird der eigentliche Aufwand und die Komplexität der CO₂-Reduzierung schnell unterschätzt. Höhere Werte bringen auch höhere Schwankungen (Standardabweichungen) mit sich.
2. Wir leben und fördern langfristiges Engagement. Wir wollen deutlich machen, dass die Kompensation nicht als einmalige Aktion betrachtet wird, sondern als Teil eines umfassenderen Engagements für den Klima-, Biodiversitätsschutz und die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung.



3. Wir legen Wert auf Glaubwürdigkeit und Transparenz. Darum ist es uns wichtig, realistische Zahlen zu kommunizieren und diese fortwährend mit Forschung zu unterfüttern. Lieber korrigieren wir daher die Werte nach oben, statt nur auf dem Papier Umweltschutz zu betreiben.
4. Da wir auch in Zukunft weitere Ökosysteme schützen wollen, möchten wir mit dem gewählten Näherungswert einen Spielraum für weitere schützenswerte Ökosysteme mit einer potenziell niedrigeren CO₂-Speicherkapazität (wie Bergnebelwälder, Trockenwälder, Tiefland Kanadas) lassen. Somit erhalten wir auch einen Puffer in der Berechnung für unplanbare Störereignisse (wie z.B. Waldbrände).

Quellen

- Bormann, B. T. (1990). Diameter-based biomass regression models ignore large sapwood-related variation in Sitka spruce. *Canadian Journal of Forest Research*, 20(7), 1098-1104. <https://doi.org/10.1139/x90-145>.
- Brown, J. K. (1978). Weight and density of crown of rocky mountain conifers. U. S. Forest Service Research Paper, INT, 197(56). https://www.fs.usda.gov/rm/pubs_int/int_rp197.pdf.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>.
- Cook-Patton, S. C., Leavitt, S. M., Gibbs, D., Harris, N. L., Lister, K., Anderson-Teixeira, K. J., Griscom, B. W. (2020). Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth. *Nature*, 585(7826), 545-550. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2686-x>.
- Franklin, J. F. and Waring, R. H. (1980). Distinctive features of the northwestern coniferous forest: Development, structure, and function. In Waring, R. H., editor, *Fresh Perspectives from Ecosystem Analysis*, pages 59-86. Oregon State University Press.
- Gholz, H. L., Grier, C. C., Campbell, A. G., and Brown, A. T. (1979). Equations for estimating biomass and leaf area of plants in the pacific northwest. *Oregon State University School of Forestry Research*, 41(39). https://ir.library.oregonstate.edu/concern/technical_reports/bn999796n.
- Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, J. O., & Foley, J. A. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental research letters*, 2(4), 045023. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/2/4/045023>.
- Gutierrez, A. G. (2010). Long-term dynamics of temperate rainforests of southern South America under climatic fluctuations. PhD thesis, Technische Universität München.
- Harris, N. L., Gibbs, D. A., Baccini, A., Birdsey, R. A., De Bruin, S., Farina, M., Tyukavina, A. (2021). Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change*, 11(3), 234-240. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00976-6>.
- Hemery, G. E., Savill, P. S., & Pryor, S. N. (2005). Applications of the crown diameter-stem diameter relationship for different species of broadleaved trees. *Forest ecology and management*, 215(1-3), 285-294. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.05.016>.
- Holtermann, H. (2013). Carbon sequestration in a temperate rainforest on Porcher Island, Canada. Diploma thesis, Dresden University of Technology.
- IPCC (2006). Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use. Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/meeting/pdfiles/Washington_Report.pdf.
- Keeling, H. C., & Phillips, O. L. (2007). The global relationship between forest productivity and biomass. *Global Ecology and Biogeography*, 16(5), 618-631. <https://doi.org/10.1126/science.204.4400.1380>.
- Keith, H., Mackey, B. G., & Lindenmayer, D. B. (2009). Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(28), 11635-11640. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901970106>.
- Krumlik, J. (1974). Biomass and nutrient distribution in two old growth forest ecosystems in south coastal british columbia. Master's thesis, University of British Columbia.
- Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology - ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Berlin ; Heidelberg: Springer.
- Neumann, M., Moreno, A., Mues, V., Härkönen, S., Mura, M., Bouriaud, O., Hasenauer, H. (2016). Comparison of carbon estimation methods for European forests. *Forest Ecology and Management*, 361, 397-420. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.11.016>.
- Pallqui, N. C., Monteagudo, A., Phillips, O. L., Lopez-Gonzalez, G., Cruz, L., Galiano, W., Vasquez, R. (2014). Dinámica, biomasa aérea y composición florística en parcelas permanentes Reserva Nacional Tambopata, Madre de Dios, Perú. *Revista peruana de biología*, 21(3), 235-242. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i3.10897>.
- Saatchi, S. S., Houghton, R. A., Dos Santos Alvala, R. C., Soares, J. V., & Yu, Y. (2007). Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global change biology*, 13(4), 816-837. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01323.x>.
- Saatchi, S. S., Harris, N. L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E. T., Salas, W., Morel, A. (2011). Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the national academy of sciences*, 108(24), 9899-9904. <https://doi.org/10.1073/pnas.1019576108>.
- Smithwick, E. A. H., Harmon, M. E., Remillard, S. M., Acker, S. A., and Franklin, J. F. (2002). Potential upper bounds of carbon stores in forests of the pacific northwest. *Ecological Applications*, 12(5):1303-1317. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2002\)012\[1303:PUBOCS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2002)012[1303:PUBOCS]2.0.CO;2).
- Spawn, S. A., Sullivan, C. C., Lark, T. J., & Gibbs, H. K. (2020). Harmonized global maps of above and belowground biomass carbon density in the year 2010. *Scientific Data*, 7(1), 112. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0444-4>.
- Tarnocai, C., Kettles, I.M., Lacelle, B. (2011). Geological Survey of Canada, Open File 6561, 1 CD-ROM. <https://doi.org/10.4095/288786>.
- Ter-Mikaelian, M. T., Korzukhin, M. D. (1997). Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management*, 97(1), 1-24. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00019-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00019-4).
- Waring, R. H., Franklin, J. F. (1979). Evergreen Coniferous Forests of the Pacific Northwest: Massive long-lived conifers dominating these forests are adapted to a winter-wet, summer-dry environment. *Science*, 204(4400), 1380-1386. <https://doi.org/10.1126/science.204.4400.1380>.