



DER WIRTSCHAFTLICHE WERT EINES

GERETTETEN WEIBLICHEN BUCKELWALS

Ein umfassender Bewertungsbericht, StrandedNoMore

strandednomore.org

Basierend auf peer-reviewed Forschung von Roman et al. (2016), Smith et al. (2013),
Chami et al. (2022), Pershing et al. (2010) und Lavery et al. (2010, 2014)

Erstellt: Mai 2026

Zusammenfassung

Dieser Bericht schätzt den gesamten wirtschaftlichen Wert eines einzelnen lebend gestrandeten weiblichen Buckelwals (*Megaptera novaeangliae*), der erfolgreich gerettet wird und ein Alter von 70 Jahren erreicht. Die Bewertung stützt sich auf begutachtete wissenschaftliche Forschung und quantifiziert vier unterschiedliche Kategorien marktbewertbarer Ökosystemleistungen: Kohlenstoffbindung in der Walbiomasse, Verstärkung der Phytoplankton-Kohlenstoffaufnahme (die Walpumpe), Förderung der Fischereierträge und Einnahmen aus dem Ökotourismus.

Die Analyse wird zu zwei Kohlenstoffpreispunkten durchgeführt: dem EU-Emissionshandelssystem (ETS) Marktpreis von ca. 25 USD pro Tonne CO₂ und den sozialen Kosten des Kohlenstoffs (Social Cost of Carbon, SCC) von 500 USD pro Tonne. Die sozialen Kosten des Kohlenstoffs repräsentieren den tatsächlichen wirtschaftlichen Schaden, der durch jede zusätzlich in die Atmosphäre emittierte Tonne CO₂ verursacht wird – einschließlich Gesundheitskosten, Ernteauffälle, Infrastrukturschäden und Degradation von Ökosystemen.

Zum Marktpreis für Kohlenstoff wird der gerettete weibliche Buckelwal auf ca. 5,2 Millionen USD über seine Lebenszeit geschätzt, wobei der Großteil dieses Wertes auf seine Fortpflanzungsfähigkeit zurückzuführen ist. Zu den sozialen Kosten des Kohlenstoffs übersteigt der Wert desselben Wals 100 Millionen USD, was die enormen Klimaleistungen widerspiegelt, die sie und ihre Nachkommen erbringen.

Leistungskategorie	Marktpreis (25 \$/t)	Soziale Kosten (500 \$/t)
Kohlenstoff im Walkörper	497 \$	10.055 \$
Phytoplankton-CO ₂ -Aufnahme (70 J.)	413.438 \$	8.362.975 \$
Fischereiverbesserung (70 J.)	67.800 \$	67.800 \$
Ökotourismus-Einnahmen (70 J.)	90.413 \$	90.413 \$
Zwischensumme direkte Leistungen	572.148 \$	8.531.243 \$
Reproduktionswert (~16 Kälber)	4.605.000 \$	68.600.000 \$
GESAMTWERT (ein gerettetes Weibchen)	5.177.148 \$	77.131.243+ \$

Hinweis: Die Zahlen zu den sozialen Kosten sind konservativ. Die Einbeziehung von Enkelkälber-Generationen treibt den Gesamtwert bei sozialen Kohlenstoffkosten weit über 100 Millionen USD.

1. Hintergrund und Methodik

1.1 Die Walpumpe: Wie Wale die Meeresproduktivität fördern

Wale werden zunehmend als bedeutende Ökosystem-Ingenieure anerkannt. Durch ihr normales Fress- und Ruheverhalten transportieren Wale Nährstoffe vertikal durch die Wassersäule – ein Mechanismus, der als „Walpumpe“ (whale pump) bekannt ist (Roman & McCarthy, 2010). Wale tauchen in die Tiefe, um sich von Krill und Copepoden zu ernähren, und kehren dann an die Oberfläche zurück, um zu atmen und zu defekieren. Ihre Fäkalienfahnen, reich an Stickstoff, Phosphor und Eisen, werden in der photischen Zone freigesetzt, wo Sonnenlicht es dem Phytoplankton ermöglicht, diese Nährstoffe für die Photosynthese zu nutzen.

Roman et al. (2016) dokumentierten diesen Prozess bei Nordatlantischen Glättwalen in der Bay of Fundy und stellten fest, dass die Ammonium- und Phosphatkonzentrationen im Fäkalmaterial der Wale um Größenordnungen höher waren als typische Küstenwasserwerte. Mindestens 10 % des partikulären Stickstoffs in den Walfäkalien wurde innerhalb von 24 Stunden als Ammonium verfügbar, und Phytoplankton-Wachstumsexperimente bestätigten, dass diese Nährstoffe die Produktivität direkt steigerten.

Smith et al. (2013) erweiterten diese Erkenntnisse, indem sie eine dosisabhängige Stimulation der Photosynthese und des Wachstums bei drei Phytoplanktonarten zeigten, die den Fäkalien von Zwergblauwalen ausgesetzt waren. Die Fäkalien enthielten Eisen in Konzentrationen, die etwa zehn Millionen Mal höher waren als im Oberflächenwasser des Südlichen Ozeans.

Zusätzlich zur vertikalen Walpumpe transportieren Wale Nährstoffe auch horizontal durch das sogenannte „Wal-Förderband“ (whale conveyor, Roman et al., 2014), indem sie von nährstoffreichen hohen Breitengraden in nährstoffarme niedrige Breitengrade wandern und dabei Stickstoff und andere begrenzen Nährstoffe über ganze Ozeanbecken umverteilen.

1.2 Bewertungsrahmen

Dieser Bericht folgt dem marktbasieren Bewertungsrahmen von Chami et al. (2022) des Internationalen Währungsfonds, der einzelne natürliche Ressourcen als Kapitalgüter behandelt, die Ströme von Ökosystemleistungen mit marktfähigen Werten produzieren. Der Wert des Vermögenswertes wird als diskontierter Barwert aller zukünftigen Leistungsströme über die erwartete Lebensdauer des Organismus berechnet.

Ein realer Diskontsatz von 2 % wird durchgängig verwendet, konsistent mit der Analyse von Chami et al., die zeigt, dass der Kohlenstoffpreis nicht signifikant mit anderen Anlageerträgen korreliert, was den langfristigen risikofreien Zinssatz zum angemessenen Diskontsatz macht.

1.3 Marktpreis vs. soziale Kosten des Kohlenstoffs

Dieser Bericht präsentiert alle kohlenstoffbezogenen Berechnungen zu zwei Preispunkten:

- **EU-ETS-Marktpreis (~25 \$/Tonne CO₂):** Dies ist der Preis, den Unternehmen derzeit für Emissionszertifikate im EU-Cap-and-Trade-System zahlen. Er spiegelt das

regulatorische Angebot und die Nachfrage nach Zertifikaten wider, nicht den tatsächlichen Schaden durch Emissionen.

- **Soziale Kosten des Kohlenstoffs (~500 \$/Tonne CO₂):** Diese repräsentieren den gesamten wirtschaftlichen Schaden, der durch jede zusätzlich emittierte Tonne CO₂ verursacht wird: Gesundheitskosten durch Hitzewellen und Luftverschmutzung, landwirtschaftliche Verluste durch Dürre und Überschwemmungen, Sachschäden durch Meeresspiegelanstieg und Extremwetter, Produktivitätsverluste, erhöhte Sterblichkeit und Ökosystemdegradation. Peer-reviewed Schätzungen (z. B. Rennert et al., 2022 in Nature) setzen die SCC bei 185 \$/Tonne oder höher an; Schätzungen mit Worst-Case-Szenarien reichen von 400–600 \$/Tonne. Dieser Bericht verwendet 500 \$/Tonne als repräsentativen Schätzwert am oberen Ende.

Die Lücke zwischen dem Marktpreis und den sozialen Kosten repräsentiert das Ausmaß, in dem die aktuelle Kohlenstoffbepreisung den tatsächlichen Emissionsschaden nicht berücksichtigt. Diese Lücke ist das zentrale Argument dafür, Wale als enorm wertvolle Klimaaktiva zu behandeln.

2. Artparameter

Die folgenden biologischen und physikalischen Parameter für den Buckelwal stammen aus Chami et al. (2022), Pershing et al. (2010), Smith et al. (2019) und Taylor et al. (2007):

Parameter	Wert
Durchschnittliche Körpermasse	~33 Tonnen (ausgewachsen)
Kohlenstoffgehalt des Körpers	5,4842 Tonnen C
CO ₂ -Äquivalent (C × 11/3)	20,11 Tonnen CO ₂
Alter bei erster Fortpflanzung (AFR)	6 Jahre
Ältestes Fortpflanzungsalter	55 Jahre
Geburtenintervall (IBI)	2,36 Jahre
Überlebensrate der Kälber (So)	0,76
Überlebensrate der Adulten (Sa)	0,96
Erwartete Lebensdauer (Rettungsszenario)	70 Jahre
Diskontsatz	2 % (real, risikofrei)
EU-ETS-Kohlenstoffpreis	24,72 \$/Tonne CO ₂
Soziale Kosten des Kohlenstoffs	500 \$/Tonne CO ₂

3. Leistung 1: Kohlenstoff in der Walbiomasse

Wale gehören zu den größten Tieren der Erde, und ihre Körper enthalten erhebliche Mengen an Kohlenstoff. Wenn ein Wal natürlich stirbt und sein Kadaver auf den Meeresboden sinkt (ein sogenannter „Walfall“), wird dieser Kohlenstoff für Jahrhunderte bis Jahrtausende in Tiefseesedimenten effektiv gebunden.

Ein lebender Wal hält diesen Kohlenstoffvorrat während seiner gesamten Lebenszeit aufrecht und verhindert so, dass er in die Atmosphäre gelangt. Eine stabile oder wachsende Walpopulation repräsentiert daher einen permanenten Bestand an gebundenem Kohlenstoff.

3.1 Berechnung

Kohlenstoff im Körper: 5,4842 Tonnen C (aus Pershing et al., 2010 / Chami et al., 2022)

CO₂-Äquivalent: $5,4842 \times 11/3 = 20,11$ Tonnen CO₂

Kennzahl	Markt (25 \$/t)	Sozial (500 \$/t)
Wert des Körperkohlenstoffs	497 \$	10.055 \$

Obwohl dies die kleinste einzelne Leistungskategorie ist, repräsentiert sie dauerhaft gebundenen Kohlenstoff, der andernfalls durch Zersetzung an der Oberfläche in die Atmosphäre gelangt wäre. Zu den sozialen Kosten des Kohlenstoffs übersteigt selbst diese einzelne Leistung 10.000 \$ pro Wal.

4. Leistung 2: Verstärkung der Phytoplankton-Kohlenstoffaufnahme

Dies ist bei weitem die wertvollste Ökosystemleistung eines lebenden Wals. Durch die Walpumpe (vertikaler Nährstofftransport über Fäkalienfahnen) und das Wal-Förderband (horizontaler Nährstofftransport durch Migration) düngen Wale Phytoplankton über riesige Ozeanflächen. Phytoplankton ist für die Aufnahme von etwa 37 Milliarden Tonnen CO₂ jährlich verantwortlich – das entspricht der Kohlenstoffaufnahme von 1,7 Billionen Bäumen oder etwa vier Amazonas-Regenwäldern.

4.1 Wissenschaftliche Evidenz

Roman et al. (2016) stellten fest, dass das Fäkalmaterial von Nordatlantischen Glättwalen Ammonium- und Phosphatkonzentrationen enthielt, die um Größenordnungen höher waren als typische Küstenwasserwerte. Mindestens 10 % des partikulären Stickstoffs wurden innerhalb von 24 Stunden als Ammonium verfügbar, und Wachstumsexperimente bestätigten die direkte Steigerung der Phytoplanktonproduktivität.

Smith et al. (2013) demonstrierten eine dosisabhängige Stimulation von Photosynthese und Wachstum bei drei Phytoplanktonarten durch Zwergblauwal-Fäkalien, mit deutlichen Anstiegen der Quantenausbeute, der Elektronentransportrate, des Chlorophyll-a-Gehalts und der Zellzahlen innerhalb von 7 Tagen. Die Fäkalien enthielten Eisen in Konzentrationen, die etwa zehnmillionenfach höher waren als im Oberflächenwasser des Südlichen Ozeans.

Lavery et al. (2014) schätzten, dass die Wiederherstellung der Blauwal-Bestände auf Vor-Walfang-Niveaus im Südlichen Ozean die Primärproduktion um 0,23 % steigern würde. Ratnarajah et al. (2016) schätzten, dass drei Walarten bei Rückkehr zu Vor-Walfang-Populationen die Primärproduktion im Südlichen Ozean um nahezu 1 % erhöhen würden.

4.2 Berechnung

Gemäß Chami et al. (2022) rechnen wir 1 % der globalen Phytoplankton-Kohlenstoffaufnahme der aktuellen globalen Walpopulation zu. Dies ist angesichts der oben zusammengefassten Evidenz konservativ.

Globale Phytoplankton-CO₂-Aufnahme: 37 Milliarden Tonnen/Jahr

1 % den Walen zurechenbar: 370 Millionen Tonnen CO₂/Jahr

Gesamte globale Walbiomasse (Kohlenstoff): ~4.550.000 Tonnen

Biomasseanteil eines Buckelwals: $5,4842 / 4.550.000 = 0,000001205$ (0,00012 %)

Jährliche CO₂-Aufnahme pro Buckelwal: $370.000.000 \times 0,000001205 = 446$ Tonnen CO₂/Jahr

Barwertfaktor der Annuität (70 Jahre, 2 %): 37,5 (ca.)

Kennzahl	Markt (25 \$/t)	Sozial (500 \$/t)
Jährliche Phytoplankton-CO ₂ -Aufnahme	446 Tonnen	446 Tonnen
Jährlicher Wert der Aufnahme	11.025 \$	223.000 \$
Barwert über 70 Jahre	413.438 \$	8.362.975 \$

Zu den sozialen Kosten des Kohlenstoffs erbringt ein einzelner Buckelwal über seine Lebenszeit mehr als 8,3 Millionen Dollar an phytoplanktonvermittelter Kohlenstoffaufnahme. Dies macht die Walpumpe zur dominierenden Quelle des wirtschaftlichen Wertes von Walen und zeigt, dass ein lebender Wal de facto ein selbsttragendes ozeanisches Kohlenstoffaufnahmesystem ist.

5. Leistung 3: Fischereiverbesserung

Das durch Walaktivität stimulierte Phytoplankton bildet die Basis der marinen Nahrungskette. Erhöhte Primärproduktion pflanzt sich nach oben durch Zooplankton, Futterfische und kommerziell genutzte Arten fort. Chami et al. (2022) rechnen 1 % der globalen kommerziellen Fischereierträge der walgetriebenen Produktivitätssteigerung zu.

5.1 Berechnung

Globale kommerzielle Fischereierträge (FAO, 2020): 150 Milliarden \$/Jahr

1 % den Walen zurechenbar: 1,5 Milliarden \$/Jahr

Pro Buckelwal (Biomasseanteil): $1.500.000.000 \times 0,000001205 = 1.808$ \$/Jahr

Barwert über 70 Jahre bei 2 %: 67.800 \$

Hinweis: Dieser Wert ändert sich nicht mit der Kohlenstoffbepreisung, da er auf Fischereierträgen basiert. Der zugrundeliegende Mechanismus (walgetriebene Phytoplanktonproduktion) ist jedoch derselbe.

6. Leistung 4: Ökotourismus-Einnahmen

Walbeobachtung ist eine bedeutende und wachsende globale Industrie. Der Internationale Tierschutzfonds (IFAW) schätzte die weltweiten Ausgaben für Walbeobachtung im Jahr 2008 auf 2,1 Milliarden USD, und Cisneros-Montemayor et al. (2010) schätzten, dass die Branche bei voller Entwicklung weltweit bis zu 2,5 Milliarden USD erwirtschaften könnte.

6.1 Berechnung

Aktuelle globale Walbeobachtungseinnahmen: 2,0 Milliarden \$/Jahr

Pro Buckelwal (Biomasseanteil): $2.000.000.000 \times 0,000001205 = 2.411$ \$/Jahr

Barwert über 70 Jahre bei 2 %: 90.413 \$

Buckelwale gehören zu den beliebtesten Arten für die Walbeobachtung aufgrund ihres akrobatischen Springverhaltens, ihrer küstennahen Wanderungsmuster und ihrer Zugänglichkeit. Der Pro-Wal-Ökotourismuswert für Buckelwale ist daher wahrscheinlich höher als der hier verwendete biomassegewichtete Durchschnitt.

7. Reproduktionswert: Die Prämie des Weibchens

Die obigen Wertberechnungen quantifizieren nur die direkten Ökosystemleistungen eines einzelnen individuellen Wals. Ein geretteter weiblicher Wal bietet jedoch eine zusätzliche und enorme Wertquelle durch seine Fortpflanzungsfähigkeit. Jedes überlebende Kalb wird zu einem unabhängigen kohlenstoffbindenden, nährstoffrecyclenden, fischereifördernden Vermögenswert für Jahrzehnte.

7.1 Fortpflanzungsleistung

Fortpflanzungsjahre: Alter 6 bis 55 = 49 Jahre

Erzeugte Kälber: $49 / 2,36$ (IBI) = 20,8 Kälber

Überlebende Kälber: $20,8 \times 0,76$ (Kälberüberlebensrate) = 15,8 Kälber

Jedes überlebende Kalb erbringt ungefähr dieselben direkten Ökosystemleistungen über seine Lebenszeit wie die Mutter (ca. 572.000 \$ zu Marktpreisen oder 8,5 Millionen \$ zu sozialen Kosten). Da die Kälber jedoch über mehrere Jahre verteilt geboren werden, müssen ihre Leistungsströme ab ihren jeweiligen Geburtsjahren diskontiert werden.

7.2 Berechnung

Das durchschnittliche Geburtsjahr über die gesamte Fortpflanzungsspanne liegt bei etwa Jahr 30 im Leben der Mutter. Bei Anwendung des Diskontierungsfaktors von 2 % für 30 Jahre (0,55) wird der Reproduktionswert wie folgt geschätzt:

Kennzahl	Markt (25 \$/t)	Sozial (500 \$/t)
Überlebende Kälber	15,8	15,8
Direkter Leistungswert pro Kalb	572.148 \$	8.531.243 \$
Durchschnittl. Diskontierungsfaktor	0,55	0,55
Gesamter Reproduktionswert	~4.605.000 \$	~68.600.000 \$

Dies ist eine konservative Schätzung, da nur die erste Kälbergeneration berücksichtigt wird. Etwa die Hälfte dieser Kälber werden weiblich sein, und jedes dieser Weibchen wird eigene Kälber produzieren, was eine sich vervielfältigende Kette von Ökosystemleistungen erzeugt. Die Einbeziehung auch nur einer weiteren Generation würde den Gesamtwert erheblich steigern.

8. Geschätzter Gesamtwert

Die Kombination aller vier Kategorien direkter Ökosystemleistungen mit dem Reproduktionswert eines Weibchens ergibt folgende Gesamtbewertung:

Leistungskategorie	Marktpreis (25 \$/t)	Soziale Kosten (500 \$/t)
1. Kohlenstoff im Walkörper	497 \$	10.055 \$
2. Phytoplankton-CO ₂ -Aufnahme (70 J.)	413.438 \$	8.362.975 \$
3. Fischereiverbesserung (70 J.)	67.800 \$	67.800 \$
4. Ökotourismus-Einnahmen (70 J.)	90.413 \$	90.413 \$
Zwischensumme direkte Leistungen	572.148 \$	8.531.243 \$
5. Reproduktionswert (erste Generation)	4.605.000 \$	68.600.000 \$
GESAMTWERT (ein gerettetes Weibchen)	5.177.148 \$	77.131.243 \$

8.1 Die Perspektive der sozialen Kosten

Der Unterschied zwischen der Marktpreis-Spalte und der Spalte der sozialen Kosten repräsentiert den Klimaschaden, den die aktuelle Kohlenstoffbepreisung nicht erfasst. Zu den sozialen Kosten des Kohlenstoffs macht allein die Phytoplankton-Düngungsleistung einen einzelnen Buckelwal über 8 Millionen Dollar wert, und sein Reproduktionswert treibt die Gesamtsumme über 77 Millionen Dollar.

Die Einbeziehung von Kälbern der zweiten Generation (Enkelkälber des geretteten Weibchens) würde etwa 30–40 Millionen Dollar zu den sozialen Kosten hinzufügen und den Gesamtwert weit über 100 Millionen Dollar treiben. Dies spiegelt die selbstreplizierende Natur des Wals als Kohlenstoffaufnahme-System wider: Sie bindet nicht nur Kohlenstoff auf ihrem Körper, sondern erzeugt aktiv neue kohlenstoffbindende Organismen (sowohl Phytoplankton als auch Kälber) während ihres gesamten Lebens.

Anders ausgedrückt: Ein geretteter weiblicher Buckelwal ist eine lebende, sich selbst replizierende, solarbetriebene Kohlenstoffaufnahme-Maschine, die den Ozean düngt, die Nahrungskette speist, Tourismuseinnahmen generiert und im Laufe ihres Lebens etwa 16 Kopien ihrer selbst produziert, von denen jede dieselben Leistungen über Jahrzehnte erbringt.

8.2 Was die sozialen Kosten des Kohlenstoffs in der Praxis bedeuten

Die sozialen Kosten des Kohlenstoffs sind nicht hypothetisch. Sie repräsentieren reale wirtschaftliche Schäden: Krankenhauseinweisungen durch Hitzewellen, Ernteaufschläge durch Dürre, durch stärkere Stürme zerstörte Häuser, durch steigenden Meeresspiegel überflutete Küsteninfrastruktur und durch klimabedingte Katastrophen verlorene Leben. Wenn ein Wal

stirbt, der hätte gerettet werden können, verbleiben die 446 Tonnen CO₂, die sie jährlich hätte aufnehmen helfen, in der Atmosphäre. Bei 500 \$ pro Tonne entspricht das 223.000 \$ pro Jahr an realen Klimaschäden, die die Gesellschaft tragen muss.

Über 70 Jahre übersteigt der kumulative Schaden durch einen verlorenen Wal 8 Millionen Dollar. Berücksichtigt man die verlorenen Kälber, nähert sich der Schaden durch das Versagen, einen einzelnen weiblichen Buckelwal zu retten, 100 Millionen Dollar an Klimakosten, die von künftigen Generationen getragen werden.

9. Kontext und Implikationen

9.1 Vergleich mit CO₂-Entnahmetechnologie

Aktuelle Direct-Air-Capture-Technologie (DAC) kostet ca. 250–600 \$ pro Tonne entnommenem CO₂. Ein einzelner Buckelwal erleichtert die Aufnahme von 446 Tonnen CO₂ pro Jahr durch Phytoplankton-Düngung bei null Betriebskosten. Die äquivalenten jährlichen DAC-Kosten zur Replikation des Beitrags eines einzelnen Wals würden 111.500–267.600 \$ pro Jahr betragen, oder 4,2–10,0 Millionen über seine Lebenszeit. Ein Wal tut dies kostenlos und verbessert gleichzeitig die Fischerei, unterstützt den Tourismus und produziert Nachkommen.

9.2 Implikationen für Rettungs- und Naturschutzpolitik

Die Kosten einer Walstrandungsrettungsoperation liegen typischerweise zwischen 10.000 und 100.000 \$, abhängig von Art, Standort und Komplexität. Selbst zum konservativen Marktkohlenstoffpreis übersteigt der Wert eines erfolgreich geretteten weiblichen Buckelwals (5,2 Millionen \$) die Rettungskosten um das 50- bis 500-Fache. Zu den sozialen Kosten des Kohlenstoffs übersteigt die Investitionsrendite 1.000 zu 1.

Diese Analyse liefert ein starkes wirtschaftliches Argument für Investitionen in Walrettungsinfrastruktur, Ausbildung und Schnellreaktionskapazitäten. Jeder erfolgreich gerettete weibliche Buckelwal repräsentiert Millionen von Dollar an Ökosystemleistungen, die andernfalls verloren gingen.

9.3 Implikationen für die Vermeidung von Schiffskollisionen

Chami et al. (2022) argumentieren, dass Bußgelder für Schiffskollisionen, bei denen Wale getötet werden, auf den vollen wirtschaftlichen Wert des Tieres kalibriert werden sollten. Ein Schiff, das einen weiblichen Buckelwal tötet, zerstört einen Vermögenswert von 5–77 Millionen Dollar oder mehr. Aktuelle Strafen betragen typischerweise nur einen Bruchteil dieses Betrags, was unzureichende Anreize für Schifffahrtsunternehmen schafft, in Vermeidungsmaßnahmen wie Geschwindigkeitsreduzierungen und Routenänderungen zu investieren.

10. Quellen und Referenzen

Chami, R., Cosimano, T., Fullenkamp, C., Berzaghi, F., Español-Jiménez, S., Marcondes, M., & Palazzo, J. (2022). The Value of Nature to Our Health and Economic Well-Being: A Framework with Application to Elephants and Whales. In *Economic Challenges for Europe After the Pandemic*, Springer.

Roman, J., Nevins, J., Altabet, M., Koopman, H., & McCarthy, J. (2016). Endangered Right Whales Enhance Primary Productivity in the Bay of Fundy. *PLoS ONE*, 11(6), e0156553.

Smith, L.V., McMinn, A., Martin, A., Nicol, S., Bowie, A.R., Lannuzel, D., & van der Merwe, P. (2013). Preliminary investigation into the stimulation of phytoplankton photophysiology and growth by whale faeces. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 446, 1–9.

Pershing, A.J., Christensen, L.B., Record, N.R., Sherwood, G.D., & Stetson, P.B. (2010). The impact of whaling on the ocean carbon cycle: Why bigger was better. *PLoS ONE*, 5(8), e12444.

Lavery, T.J., et al. (2010). Iron defecation by sperm whales stimulates carbon export in the Southern Ocean. *Proceedings of the Royal Society B*, 277, 3527–3531.

Lavery, T.J., et al. (2014). Whales sustain fisheries: Blue whales stimulate primary production in the Southern Ocean. *Marine Mammal Science*, 30(3), 888–904.

Roman, J., et al. (2014). Whales as marine ecosystem engineers. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12, 377–385.

Cisneros-Montemayor, A.M., Sumaila, U.R., Kaschner, K., & Pauly, D. (2010). The global potential for whale watching. *Marine Policy*, 34, 1273–1278.

Rennert, K., et al. (2022). Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO₂. *Nature*, 610, 687–692.

FAO (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action.*

Ratnarajah, L., et al. (2016). A preliminary model of iron fertilisation by Baleen Whales and Antarctic Krill in the Southern Ocean. *Ecological Modeling*, 320, 203–212.