

Studie zum Torfabbau in Südtirol

Die Bedeutung von Torf als
Kohlenstoffspeicher

Thomas Marsoner
Paul Illmer
Andreas Hilpold
Georg Niedrist
Ulrike Tappeiner

Zitierempfehlung für diesen Bericht:

Marsoner T, Illmer P, Hilpold A, Niedrist G & Tappeiner U. 2022. Studie zum Torfabbau in Südtirol.
Eurac Research, Bolzano-Bozen, Italy

Eurac Research

Institut für Alpine Umwelt
Drususallee 1
39100 Bozen
T +39 0471 055 333
alpine.environment@eurac.edu
www.eurac.edu

DOI: 10.57749/acng-fv67

Autoren:

Thomas Marsoner¹, Paul Illmer², Andreas Hilpold¹, Georg Niedrist¹, Ulrike Tappeiner^{1,3}

¹ Institut für Alpine Umwelt, Eurac Research, Drususallee 1, I-39100 Bozen, Italy

² Institut für Mikrobiologie, Universität Innsbruck, Technikerstrasse 25d, A-6020 Innsbruck, Austria

³ Institut für Ökologie, Universität Innsbruck, Sternwartestr. 15, A-6020 Innsbruck, Austria

Wissenschaftliche Leitung: Ulrike Tappeiner

Karten:

S12: T. Marsoner

Abbildungen:

S11: Tiroler Landesarchiv, Darstellung T. Marsoner

S23: P. Illmer, T. Marsoner

Photos:

S13 -16: T. Marsoner

S25: Pixabay/klimkin;

Pixabay/Kathy_Büscher

S26: T. Marsoner

© Eurac Research, 2022



This publication is under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Die ökologische Bedeutung von Mooren.....	5
1.2	Die Klimarelevanz von Torfgebieten.....	5
1.3	Die Verwendung von abgebautem Torf.....	7
1.4	Hintergrund der Studie.....	8
1.5	Zielsetzung.....	9
2	Der Torfabbau in Südtirol	11
2.1	Das Untersuchungsgebiet.....	11
2.2	Der Torfabbau.....	12
3	Methodik	17
3.1	Das Treibhausgasemissions-Potential.....	17
3.2	Berechnung der CO ₂ e des Torfabbaus in Südtirol.....	20
3.3	Probennahme und Analytik.....	21
4	Ergebnisse	22
4.1	Biophysikalische Charakteristika der Torfproben.....	22
4.2	On- und off-site Treibhausgas Emissionen.....	22
4.3	Ökologische Qualität der Torfabbaugebiete.....	25
5	Schlussfolgerungen	27
6	Literaturverzeichnis	30
	Anhang	33

Zusammenfassung

Torf hat sich seit der letzten Eiszeit in einem Zeitraum von Jahrtausenden in Mooren und Feuchtgebieten gebildet. Darin wird bis zu einem Drittel des weltweiten Bodenkohlenstoffs gebunden und damit doppelt so viel Kohlenstoff wie in den Wäldern der Welt. Der Erhalt dieses Kohlenstoffspeichers ist für das Erreichen der globalen Klimaziele von entscheidender Bedeutung (UNEP 2022). Torf besteht im Wesentlichen aus abgestorbenem Pflanzenmaterial dessen vollständige Zersetzung durch eine Wassersättigung und damit einhergehend einer Unterbindung der Luftzufuhr gestoppt wurde. Durch den Abbau und die Nutzung kommt Torf jedoch wieder in Kontakt mit sauerstoffreicher Luft. Damit werden die unterbundenen mikrobiologischen Zersetzungsprozesse fortgesetzt, das Material mineralisiert und der Kohlenstoff wird in Form von Kohlendioxid freigesetzt. In Hinblick auf den Klimaschutz müssen daher alle Anstrengungen unternommen werden, um die Nutzung von Torf zu reduzieren und diesen durch alternative Substrate zu ersetzen, auch wenn ihm in der Landwirtschaft (besonders im Gartenbau und in der Pilzzucht) noch immer eine große Bedeutung zugesprochen wird.

Auch in Südtirol wird noch Torf aus Torflagerstätten im Südtiroler Unterland abgebaut. Dadurch geht der wertvolle fossile Kohlenstoffspeicher verloren, er wird zur Kohlendioxidquelle und trägt damit direkt zu Treibhausgasemissionen und indirekt zum vom Menschen verursachten Klimawandel bei.

In der vorliegenden Studie haben Forscher:innen von Eurac Research in Zusammenarbeit mit der Universität Innsbruck zum ersten Mal Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte, sowie Methanemissionen des in Südtirol abgebauten Torfs genauer untersucht. Um das Klimaerwärmungspotential, das durch den Abbau und die Nutzung des Torfs freigesetzt wird zu quantifizieren, wurden aufbauend auf den erhobenen Daten und den Richtlinien des Weltklimarates (IPCC) die on-site und off-site Treibhausgasemissionen von Methan, Kohlendioxid und Lachgas in CO₂ Äquivalenten (CO₂e) nach einem „Tier-1“ Ansatz berechnet. Nicht berücksichtigt wurden die Emissionen, die durch den Treibstoffverbrauch bei der Entnahme, der Lagerung und dem Transport zu den Nutzer:innen des Torfs entstehen, da dafür gesicherte Daten fehlen.

Pro abgebautem Kubikmeter Torf werden in Summe (on-site und off-site) rund 199 kg Kohlendioxid-Äquivalente (CO₂e) emittiert. Da in den Torfabbaugebieten Südtirols jährlich im Schnitt 70.500 m³ abgebaut werden, entspricht dies einer jährlichen Emission von rund 14.000 t CO₂e. Seit der ersten Genehmigung zum Torfabbau im Jahre 1979 wurden in Südtirol ca. 2 Millionen Kubikmeter an Torfmaterial auf einer Fläche von 40-45 ha abgebaut, dies entspricht einer Emission von rund **400.000 t CO₂e**. Die derzeit aktiven Konzessionen von Torfstichen im Unterland erlauben einen Abbau von bis zu 1,5 Millionen Kubikmeter was zu einer weiteren Emission von rund **300.000 t CO₂e** führen würde. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen die Klimarelevanz der CO₂e Emissionen durch den Torfabbau in Südtirol und unterstützen eindeutig das Ziel im Klimaplan 2024 der Südtiroler Landesregierung, **keinen neuen Abbau von Torf in Südtirol zu genehmigen**.

Die Torflagerstätten befinden sich weitgehend unter Intensiv-Obstanlagen, die in Bezug auf die Biodiversität relativ arm sind und in denen primär Generalisten vorkommen. Durch den Torfabbau in seiner jetzigen Form entstehen kleinere Wasserflächen, die mehrere Jahre offenbleiben. In diesen Sekundärlebensräumen kommen zwei über die FFH-Richtlinie der Europäischen Union geschützte Amphibienarten, die Gelbbauchunke und die Wechselkröte, vor. Allerdings sind diese ephemeren Gewässer in den Torfgruben für langfristigen Erhalt dieser geschützten Arten nicht geeignet, da sie als Produkt einer wirtschaftlichen Tätigkeit keine längerfristige Standortkontinuität garantieren. Zudem wird durch den Torfabbau standortfremdes Material eingebracht, das eine zukünftige Renaturierung des Gebietes deutlich erschwert. Damit stellen diese Sekundärlebensräume keinen dauerhaften Vorteil für die Biodiversität des Gebietes dar. Stattdessen sollten Maßnahmen ergriffen werden zumindest an Teilstrecken der Etsch den ursprünglichen Auwaldcharakter wiederherzustellen.

1 Einleitung

1.1 Die ökologische Bedeutung von Mooren

Vielfältige Ökosystemleistungen Moore sind Feuchtgebietsökosysteme, die in fast allen Ländern der Erde vorkommen. Ihre Bedeutung ergibt sich aus den vielen Ökosystemleistungen, die sie für die Gesellschaft erbringen. Obwohl sie nur etwa 3 % der Landoberfläche bedecken, bzw. ca. 500 Mio. Hektar umfassen (UNEP 2022), sind Moore für die Speicherung von bis zu einem Drittel des weltweiten Bodenkohlenstoffs verantwortlich (Joosten 2009; Scharlemann et al. 2014). Das ist doppelt so viel Kohlenstoff wie in der gesamten Waldbiomasse der Welt zusammen. Moore spielen auch eine entscheidende Rolle im Wasserkreislauf - sie filtern und speichern Wasser. Sie liefern sauberes Wasser, verbessern die Wasserqualität und verhindern Überschwemmungen. Sie beherbergen nicht nur eine einzigartige Artenvielfalt, sondern haben auch eine große kulturelle Bedeutung und sind mit dem Wohlergehen von Millionen von Menschen verbunden (Crump 2017). Moorlandschaften sind weltweit durch Abholzung bedroht, sie werden für die Landwirtschaft entwässert, für die Brennstoffgewinnung abgebaut, durch Verschmutzung, durch Überbeweidung und durch Brände geschädigt, sowie für die Entwicklung von Infrastrukturen zerstört (UNEP 2022).

1.2 Die Klimarelevanz von Torfgebieten

Torf als Kohlenstoffspeicher Torfgebiete sind deshalb von so großer klimarelevanter Bedeutung, weil Torf eine fossile Ressource ist (Hirschler et al. 2022). So wurde der im Torf gebundene fossile Kohlenstoff durch das langsame Moorwachstum seit der letzten Eiszeit der Atmosphäre entzogen. Aufgrund der Kohlenstoffdichte des Torfs und der Tiefe der Torfschicht enthalten Moore im Durchschnitt mehr Kohlenstoff pro Hektar als alle anderen Ökosysteme, was sie zum größten Kohlenstoffspeicher der gesamten terrestrischen Biosphäre macht (Temmink et al. 2022).

Globale Bedeutung Jüngste Schätzungen der Gesamtmenge des Kohlenstoffs (des Kohlenstoffbestands) in den weltweiten Torfgebieten konvergieren im Bereich von 450.000 bis 650.000 Tonnen Kohlenstoff (FAO 2020). Der Großteil des Kohlenstoffs findet sich in Mooren (IPCC 2014). Die Kohlenstoffspeicherung ist aber nur so lange sichergestellt, als Torf wassergesättigt bleibt. Somit haben Moore, obwohl sie nur 3% der Erdoberfläche bedecken, ein enormes Potenzial von verstärkenden Rückwirkungen auf die Klimaerwärmung. Wenn Torfgebiete gestört, entwässert und geschädigt werden, tragen sie daher in

unverhältnismäßig großem Maße zu den Treibhausgasemissionen bei (Drösler 2005).

**Klimagefahr
durch
beschleunigte
Degradierung**

Allerdings gehen derzeit durch die menschliche Nutzung nicht nur Mooregebiete verloren, sondern werden auch in einem Tempo degradiert, das zehnmal schneller ist als ihre Ausdehnung in den letzten 10.000 Jahren. So werden jährlich 500.000 Hektar Torfgebiete, die Torf anreichern (und damit aktiv Kohlenstoff binden und speichern), durch menschliche Aktivitäten zerstört. Weltweit sind etwa 12 % der derzeitigen Torfgebiete so stark degradiert, dass kein Torf mehr gebildet wird und der akkumulierte Torfkohlenstoffbestand verloren geht (UNEP 2022). In Europa ist dieser Prozentsatz mit 25% gut doppelt so groß (Tanneberger et al. 2021). Durch den Abbau und die anschließende Nutzung gelangt Torf wieder in Kontakt mit Sauerstoff und unterbundene aerobe Zersetzungsprozesse werden fortgeführt (Paige & Baird 2016). Dadurch wird Kohlenstoff abgebaut und es werden klimaschädliche Gase freigesetzt (IPCC 2006).

Allein durch die Degradierung von Torfgebieten (ohne Brände) werden jährlich etwa 2.000 Mio. t Kohlendioxidäquivalente (CO₂e) an Treibhausgasemissionen freigesetzt. Dies entspricht etwa 4% der gesamten anthropogenen Emissionen weltweit (Friedlingstein et al. 2020), bzw. 5% der Treibhausgasemissionen in Europa. Wenn die Treibhausgase aus entwässerten und degradierten Torfgebieten weiterhin in diesem Umfang freigesetzt werden, werden dadurch 12% des Emissionsbudgets verbraucht, das verbleibt, um die globale Erwärmung unter +2°C zu halten, und 41% des Emissionsbudgets, das verbleibt, um die globale Erwärmung unter +1,5°C zu halten (UNEP 2022). Da der größte Teil (mehr als 70%) der Emissionen in der Nutzungsphase des Torfs entstehen (Cleary et al. 2005) hat der industrielle Abbau von Torf auch auf landwirtschaftlichen Flächen große Klimarelevanz.

**Wachsendes
Bewusstsein der
Problematik**

Es ist daher nicht überraschend, dass viele internationale, nationale und regionale Studien auf diese enorme Bedeutung von Mooregebieten und des darin enthaltenen Torfs gerade in den letzten Jahren deutlich hinweisen und wichtige internationale Rahmenabkommen und europäische Klimapläne die Störung und Zerstörung von Torfgebieten und den Abbau an strenge Auflagen koppeln und verbieten, sowie die Renaturierung von Mooregebieten fordern. Dazu zählen neben dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, die Ramsar - Konvention, die Resolution 43 der Weltnaturschutzunion (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN), die vierte Umweltversammlung der Vereinten Nationen (UNEA-4), und mehrere Beschlüsse der Biodiversitätskonvention (Convention on Biological Diversity, CBD).

Politische Ziele

In der EU bestimmen diverse Regularien und Programme in den Bereichen Umwelt und Naturschutz, Land- und Forstwirtschaftsentwicklung den

europäischen Moorschutz. Dazu zählen die EU-Habitat-Richtlinie und das Natura-2000-Netz von Schutzgebieten und die EU-Biodiversitätsstrategie. Im Juni 2022 schlug die Europäische Kommission ein neues Gesetz zur Wiederherstellung der Natur mit verbindlichen Zielen für zahlreiche Lebensräume, darunter auch Moore, vor. Einige Europäische Staaten haben den industriellen Abbau von Torf bereits verboten oder an spezifische Auflagen gekoppelt. So ist seit Ende der 1980er-Jahre der Torfabbau in Deutschland nur noch auf landwirtschaftlich vorgemerkten Flächen erlaubt, in der Schweiz und Großbritannien sogar gänzlich verboten (Dirksmeyer & Menrad 2021, Eymann et al. 2015). Außerdem wurden in diesen Ländern auch Ziele gesetzt die Torfnutzung zu reduzieren und Initiativen hierfür gegründet (z.T. schon 2011) mit bisher mäßigem Erfolg (DEFRA 2021). In den letzten 3 Jahren wurden viele dieser Ziele erneuert, so arbeitet Deutschland an einem Ausstiegsplan aus dem Torfabbau sowie an der starken Reduzierung der Torfnutzung von Privatpersonen und der Industrie (Hirschler et al. 2022).

Südtiroler Klimaplan 2024 In Südtirol sieht der Klimaplan 2024 (Autonome Provinz Bozen 2022a) eine Reduktion der CO₂-Emissionen gegenüber dem Stand von 2019 um 55% bis 2030 und um 70% bis 2037 vor, bis 2040 soll Südtirol klimaneutral sein. Darüber hinaus ist im „Klimaplan Südtirol 2024“ auch vorgesehen, von CO₂ verschiedene Treibhausgasemissionen, speziell Lachgas (N₂O) und Methan (CH₄), bis 2030 um 20% und bis 2037 um 40% gegenüber dem Stand von 2019 zu reduzieren. Weiters wird auf die Bedeutung von natürlichen Kohlenstoff-Senken hingewiesen. Als dezidiertes Ziel ist dabei formuliert, in Südtirol die erteilten Torfabbau-Genehmigungen auslaufen zu lassen und keinen neuen Abbau von Torf zu genehmigen.

1.3 Die Verwendung von abgebautem Torf

Besonderheit des Substrats Torf ist ein sehr leichtes nährstoffarmes Substrat, es kann Wasser und Nährstoffe gut halten und speichern, ist gleichzeitig sehr luftdurchlässig, frei von Krankheitserregern, Giftstoffen und Schädlingen und hat einen niedrigen pH-Wert (Amha et al. 2010). Aufgrund all dieser für die Pflanzenzucht positiven Eigenschaften ist Torf heute eines der wichtigsten Kultursubstrate (Ceglie et al. 2015, Kretzschmann & Dirksmeyer 2021). Außerdem lässt sich Torf gut lagern und ist günstig im Einkauf. Seine strukturellen Eigenschaften bleiben auch bei intensiver Nutzung lange erhalten (Kitir et al. 2018).

Anwendungsbereiche Torf hat viele Anwendungsbereiche so wird er für die Energiegewinnung verwendet (z. B. zur Erzeugung von Wärme und Elektrizität) und für landwirtschaftliche oder gärtnerische Zwecke (z. B. als Kompost oder Wachstumsmedium). Es gibt auch noch weitere Verwendungszwecke (z. B. für Aktivkohle, Arzneimittel), diese beschränken sich aber auf vergleichsweise

unbedeutende Mengen (Hirschler et al. 2022, Kitir et al. 2018). Unter den verschiedenen organischen Stoffen, die als Substrat für den Anbau von Gartenpflanzen unter erdlosen Bedingungen verwendet werden, ist Torf momentan ein wichtiger Bestandteil von Mischungen für die kommerzielle Produktion von Pflanzen (Hirschler et al. 2022). Torf wird im Gartenbau als Bestandteil von Gartenpflanzensubstraten, in der Landwirtschaft zur Herstellung von Gartenerde und als organischer Dünger sowie in der Pilzzucht als Umhüllungsmaterial verwendet (Taparia et al. 2021, Robinson et al. 2019). Allein in der EU wurden 2019 insgesamt 12 Mio. Tonnen CO₂ durch die Gewinnung und Verwendung von Torf für Gartenbauzwecke emittiert (UN Greenhouse Gas Inventory Data 2019).

Abbau und Handel

In Europa wird weltweit bei weitem am meisten Torf abgebaut (Hirschler et al. 2022). Das einzige andere bedeutende Abbau-land ist Kanada, welches den nordamerikanischen Markt beliefert (Cleary et al. 2005). Auch die Verwendung von Torf für den Gartenbau ist fast ausschließlich auf Europa und Nordamerika beschränkt. In Europa wird Torf für Gartenbauzwecke intensiv gehandelt, da die wachsende Kultursubstratindustrie in Westeuropa auf Importe aus den Förderländern angewiesen ist (Hirschler et al. 2022). Zukunftsprognosen deuten auf eine stark wachsende Nachfrage nach Kultursubstraten hin sowohl im Europäischen Raum als auch global besonders am Asiatischen Markt (Blok et al. 2021).

In Italien wurde in den letzten 5 Jahren im Durchschnitt 525.000 Tonnen Torf importiert zum Großteil aus den Baltischen Staaten (46%) und Deutschland (44%) (UN Comtrade 2022). Der Verbrauch blieb somit in den letzten 20 Jahren stabil, im Zeitraum von 1980 bis 2000 hat sich der Import mehr als verzehnfacht (Centemero 2007).

Verwendung des in Südtirol abgebauten Torfs

Nach Angaben der Betreiberfirma (Nord Torf, mündliche Mitteilung) wird der in Südtirol abgebaute Torf zu 90% als Substrat in der Pilzzucht in Italien und auf dem Balkan verwendet. Die restlichen 10% werden im lokalen Gartenbau eingesetzt.

1.4 Hintergrund der Studie

Am 9.2.2022 hat der Südtiroler Landtag entschieden, in einer umfassenden Studie ermitteln zu lassen, wieviel CO₂-Äquivalente durch den hiesigen Abbau von Torf in die Atmosphäre gelangen und welche ökologischen Vor- und Nachteile der Torfabbau in Südtirol hat. In der Folge ist das Amt für Industrie und Gruben der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol an Eurac Research herangetreten mit der Anfrage zur Erstellung einer entsprechenden Studie. Nach einem intensiven Austausch zu den vorhandenen Daten, den Anforderungen und der Zielsetzung der Studie, wurde durch das Institut für Alpine Umwelt von Eurac Research in Abstimmung mit dem Amt der Umfang

der Studie definiert. Der primäre Fokus der Studie liegt auf den Treibhausgasemissionen durch den Torfabbau in Südtirol. Dabei wurde ein 2-stufiger Ansatz akkordiert. Dieser entspricht dem klassischen „Tier-Approach“, wie er z.B. auch in den Klima Sachstandsberichten des Weltklimarates verwendet wird. Dabei nehmen mit jeder Stufe (= „Tier“) die Genauigkeit, aber auch die Komplexität und Datenanforderungen zu. Die vorliegende Studie umfasst nur Stufe 1. Dazu werden die Ergebnisse einer ausführlichen Literaturrecherche mit Messungen der Methan-Emissionen und Laborbestimmungen der tatsächlichen Kohlenstoff- (und Stickstoff-) Gehalte im Torf des Abbaugbietes im Südtiroler Unterland kombiniert. Zusätzlich erfolgt eine Einschätzung von weiteren ökologischen Aspekten des Torfabbaus in Südtirol. Sollten die Ergebnisse für politische Entscheidungen nicht ausreichen, kann in der Folge noch eine zweite Stufe definiert werden, bei der aber ein deutlich höherer Messaufwand erforderlich wäre. Die Durchführung der Studie zu Stufe-1 wird im Programmabkommen mit Eurac Research (BLR 376 vom 31 Mai 2022) mit „Studie zum Torfabbau in Südtirol“ fixiert. Eurac Research arbeitete im Rahmen der Studie intensiv mit dem Institut für Mikrobiologie der Universität Innsbruck zusammen.

1.5 Zielsetzung

- Erfassung der freigesetzten Treibhausgase** Primäres Ziel der vorliegenden Studie ist es, anhand genauer Messungen des in Südtirol abgebauten Torfs die Freisetzung von Treibhausgasen (THG), berechnet in Form von CO₂-Äquivalenten (CO₂e) zu quantifizieren und damit wesentliche Informationen zur Klimarelevanz des Torfabbaus in Südtirol zu liefern. Um ein vollständiges Bild der Klimawirkung zu ermöglichen, werden in dieser Studie daher sowohl die Treibhausgase, die während und durch den Abbau entstehen (on-site), als auch die nachgelagerten Emissionen, die durch die Nutzung des Torfs entstehen (off-site, als wesentlicher Teil der sogenannten ‚Scope 3‘ Emissionen (Bathia et al. 2011)) berechnet. Dazu werden folgende Teilschritte kombiniert:
- Umfassende Literaturrecherche zu der Bedeutung von Mooren und Torflagerstätten in Zusammenhang mit dem Klimawandel, sowie der ökologischen Bedeutung von Mooren und deren Degenerierung.
 - Messungen der Methan-Emissionen im Südtiroler Unterland auf landwirtschaftlichen Flächen, auf denen geplant ist, eine Torfgrube zu öffnen (vgl. Abb. 3), sowie auf Flächen, auf denen die Torfgrube bereits wieder zugeschüttet und mit Apfelbäumen wieder bepflanzt waren (Abb. 7 unten).

- Entnahme von mehreren Stichproben des frischen Torfs in-situ, unmittelbar nach dem Aushub. Bestimmung der CH₄-Bilanz, sowie der C und N-Gehalte dieser Proben im Labor
- Berechnung der durch den entnommenen Torf und dessen Verwendung freigesetzten CO₂e

Ökologischer Kontext Da die in Südtirol bestehenden Torfgruben ausschließlich unter Kulturgründen liegen (meistens Apfelanlagen, vgl. Abb. 3) und kein Torf aus aktiven Mooren abgebaut wird, war es vereinbarungsgemäß nicht Aufgabe der Studie die Klimarelevanz von Feuchtegebieten und Mooren in Südtirol und deren Zustand zu analysieren. Vielmehr liegt der Fokus der Studie auf der Klimawirkung des Substrates Torf und dessen Abbau. Der Abbau erfolgt in ehemaligen Niedermooren im Südtiroler Unterland, die im 19. Jh. entwässert und in der Folge mit einer Lehm- und Erdschicht bedeckt, sowie landschaftlich genutzt wurden. Dies bedeutet, dass es durch den derzeitigen Torfabbau zu keiner Entwässerung von Feuchtgebieten kommt, der Eingriff in die Landschaft ist kleinräumig und temporär. Der wichtigste ökologische Aspekt ist daher zweifelsohne die mit dem Abbau und der Nutzung des Torfs verbundene Klimawirksamkeit durch die Treibhausgasemissionen sowohl on-site beim Torfabbau als auch off-site bei der Verwendung des abgebauten Torfs durch die Nutzer:innen. Trotzdem werden aufbauend auf Literatur, vorhandenen Daten und Expert:innenwissen weitere wichtige ökologische Folgen des Torfabbaus in Südtirol dargestellt und diskutiert.

Keine Ökobilanzstudie Abschließend sei darauf hingewiesen, dass es nicht Aufgabe der Studie war, eine Ökobilanz, also die Erfassung aller Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus, vom Verbrauch von Ressourcen und der Emissionen beim Abbau, den Transport bis hin zur Nutzung im Gartenbau oder in Pilzkulturen, für den Torfabbau in Südtirol zu erstellen. Dazu bräuchte es sehr detaillierte Daten zum Lebenszyklus, insbesondere des Transportes und der Nutzung, die nicht vorhanden sind. Zudem wären dazu auch Studien über die langfristige Dynamik der Treibhausgas-Emissionen in verschiedenen Kulturen (Gartenbau, Pilzzucht) und unter verschiedenen mikroklimatischen Bedingungen notwendig. Unsere Literaturrecherche zeigte, dass es derartige langfristige Studien derzeit nicht gibt.

2 Der Torfabbau in Südtirol

2.1 Das Untersuchungsgebiet

Torflagerstätten im Südtiroler Unterland

Die im Südtiroler Unterland vorkommenden Torflagerstätten befinden sich heute unter Kulturflächen, in den meisten Fällen Apfelplantagen (vgl. Abb. 3, 7 unten). Der Torf entstand in Niedermooren. Diese (Verlandungs-) Moore entstehen meist im Uferbereich stehender Gewässer unter Wasser auf subhydrischen Böden. Schilf (*Phragmites*), Rohrkolben (*Typha*) und/oder einige Seggen (*Carex*) liefern dabei das organische Ausgangsmaterial für den Torf (Blume et al. 2010). Durch deren Zersetzung bildete sich in ca. 10.000 Jahren seit der letzten Eiszeit eine 5 bis 9 Meter dicke Torfschicht. Gegen Ende des 18. Jh. begannen die Arbeiten an der Entwässerung und Urbarmachung des Traminer Moores und im 19. Jh. wurde die Etsch erstmals einheitlich reguliert mit über 20 Durchstichen im Abschnitt von Meran bis San Michele (Werth 2003). Durch zahlreiche Meliorierungsmaßnahmen, sowie Überschwemmungen durch die Etsch und ihre Zuflüsse wurde die bis dahin in den Mooren und Mösern akkumulierte Torfschicht mit einer Schicht aus Lehm und Erde zugedeckt und der Etschtalboden landwirtschaftlich stärker nutzbar. Wie man auf der Karte aus dem Jahr 1805 noch deutlich sehen kann, befand sich in den heutigen Torfabbaugebieten nord-östlich von Salurn noch stehendes Gewässer mit Morasten und Fechtgebieten und die Etsch floss noch unmittelbar am Ortseingang vorbei (vgl. Abb. 1) (Werth 2003).



Abbildung 1.:
Ausschnitt der Etsch-
Strom-Karte (1805 k.
k. Major Ignaz von
Nowack), zwischen
Laag und Salurn.
Quelle: Oeconomische
Carte des Etsch
Stromes und der
umliegenden Gegend
in der Grafschaft
Tyrol. Aquarellierte
Federzeichnung,
Innsbruck, 1805,
Maßstab 1:3.600,
Tiroler Landesarchiv

2.2 Der Torfabbau

Rechtliche Regelung und bereits abgebaute Mengen

Der Abbau von Torf wurde in Südtirol erstmals mit Einführung des Landesgesetzes vom 12. August 1976, Nr. 32 „Bestimmungen über Steinbrüche beziehungsweise Gruben und Torfstiche“ geregelt, und durch das Landesgesetz vom 19. Mai 2003, Nr. 7 „Bestimmungen über Steinbrüche, Gruben und Torfstiche“ ersetzt. Die erste Genehmigung zum Torfabbau wurde im Jahre 1979 ausgestellt. Seither wurden landesweit ca. 2 Mio. m³ an Torfmaterial auf einer Fläche von 40-45 ha abgebaut (Moser 2021). Der Abbau erfolgte in den Gemeinden Aldein (200.000 m³), Leifers (630.000 m³), Salurn (1.190.000 m³), Stilfs (11.000 m³) und Vahrn (45.000 m³) (Autonome Provinz Bozen 2022b). Aktuell sind in Südtirol sieben Genehmigungen von Torfstichen im Raum Unterland, in den Gemeinden Leifers und Salurn, für insgesamt 1,5 Mio. m³ aktiv, wobei in den letzten 10 Jahren im Durchschnitt 70.500 m³ abgebaut wurden. Die Fälligkeiten dieser Genehmigungen variieren zwischen den Jahren 2022 und 2032 (Moser 2021). Abb. 2 zeigt die aktiven Abbaugelände sowie die Flächen, auf denen der Torf bereits entnommen wurde. In den Torfgruben im Südtiroler Unterland wurden laut den Angaben des Amtes für Industrie und Gruben von 2011 – 2021 insgesamt 674.517 Tonnen Torf bzw. 775.618 m³ Torf abgebaut (vgl. Tabelle 3).

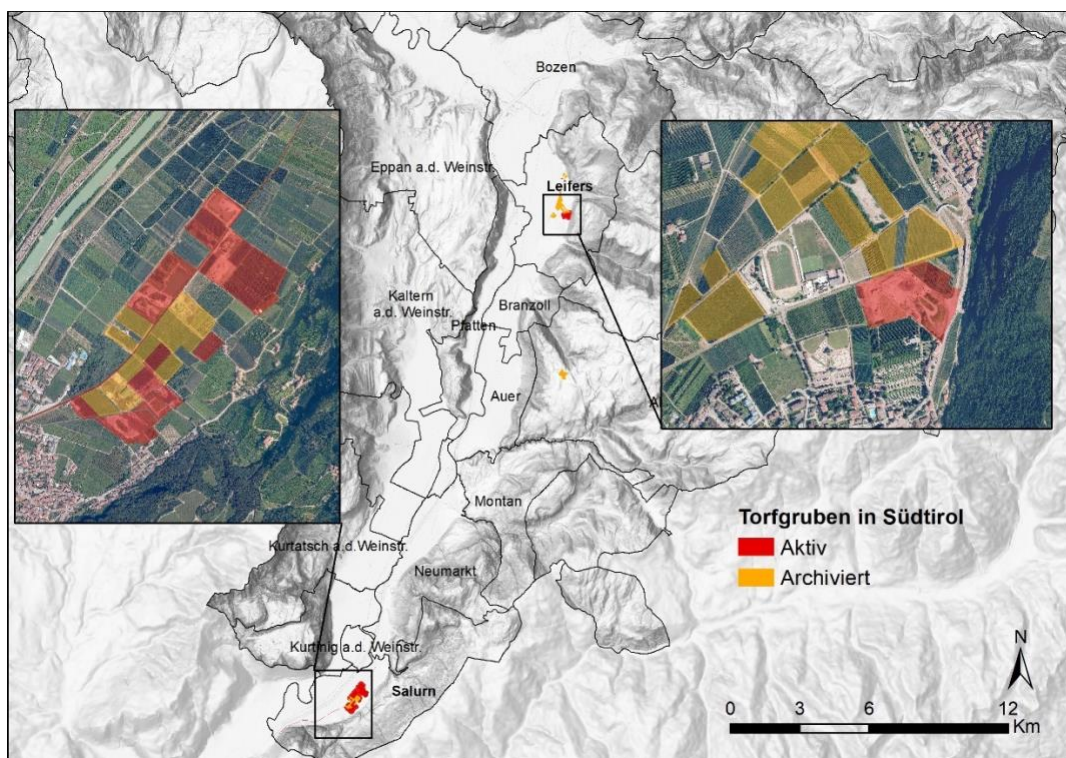


Abbildung 2:
Aktive/
Genehmigte und
abgebaute/
aufgelassene
Torfgruben im
Südtiroler
Unterland.

Abbildung 3:
Landwirtschaftliche
Fläche vor dem Beginn
des Torfabbaus



Der Abbauprozess Im Schnitt wird pro Jahr Torf auf einer Fläche von einem Hektar abgebaut (Betreiberfirma, persönliche Mitteilung). Hierfür wird zunächst die oberste Erdschicht abgetragen und aufgehäuft. Danach wird der Torf mit einem Spezialbagger ausgehoben, wobei sich die Torfschicht während des gesamten Abbauprozesses unterhalb des Grundwasserspiegels befindet. Der ausgehobene Torf wird auf einen Schlepper geladen und nach Zerkleinerung direkt verladen und versandt (siehe Abb. 4)



Abbildung 4:
Torfentnahme mit
Spezialbagger und
Verladung auf den
Schlepper

Zwischenlagerung Der Torf aus den Übergangsschichten mit geringerer Substratqualität wird getrocknet und dazu zunächst zu Hügeln, auf denen natürlicher Grasbewuchs möglich ist, aufgehäuft). Nach einem Jahr wird nach und nach die oberste trockene Schicht abgebaut und durch einen Zerkleinerer in ein überdachtes Zwischenlager gebaggert (siehe Abb. 5).

Abbildung 5:
Zwischenlagerung in
Transport-Säcken zum
Erhalt der
Feuchtigkeit.



Zwischenlagerung für
die Trocknung
zunächst aufgehäuft
zu Hügeln, danach
unter Dach.

Offene Torfgruben Nachdem der Torf auf der gesamten freigelegten Fläche ausgebaggert wurde, wird die Fläche mit Aushubmaterial aus Baustellen in der Umgebung, vor allem mit steinigem Material aufgefüllt, sobald dieses verfügbar ist. Die leergebaggerten Gruben bleiben daher meist für einige Jahre offen und bilden kleine stehende Gewässer (siehe Abb. 6).

Abbildung 6:
Torfgrube während
bzw. kurz nach
erfolgter
Torfentnahme.



Torfgrube einige
Jahre nach dem
Aushub.



Nach vollständiger Auffüllung wird die am Beginn der Arbeiten abgetragene gute Erdschicht wieder aufgebracht, und die Fläche wird wieder landwirtschaftlich genutzt (siehe Abb. 7).

Abbildung 7:
Schotter und steiniges
Auffüllmaterial.



Fläche nach erfolgter
Auffüllung der Grube
und erneuter
Erdbedeckung.



Intensiv
landwirtschaftlich
genutzte Fläche nach
erfolgter
Torfentnahme,
Wiederaufbringung
des Bodens und
erneuter Anpflanzung.



3 Methodik

3.1 Das Treibhausgasemissions-Potential

Durch den Abbau von Torf kommt es zur Freisetzung von drei wesentlichen biogenen klimarelevanten Gasen: Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O).

- CO_2** Kohlendioxid bildet sich u. a. bei der aeroben Zersetzung von organischer Substanz durch Mikroorganismen. Auch der im Torf enthaltene organische Kohlenstoff wird als Elektronendonator genutzt und im Zuge der Mineralisierung in Form von Kohlendioxid freigesetzt. CO_2 bildet sich in geringerem Ausmaß aber auch in anaeroben Zersetzungsprozessen (Madigan et al. 2011).
- CH_4** Methan ist ein Endprodukt der Mineralisierung unter anaeroben Bedingungen (Conrad 1996). Polymere Substrate werden durch Hydrolyse in lösliche Substrate zerlegt, welche anschließend durch verschiedene fermentative und acidogene Schritte in Acetat, CO_2 und H_2 zerlegt werden, woraus methanogene Archaea CH_4 bilden (Thauer et al. 2008, Le Mer & Roger 2001). Methan bildet sich somit in aktiven Mooren und in fossilem Torf, der sich noch unter dem Grundwasserspiegel befindet. Wenn sich über dieser Torfschicht allerdings noch eine ausreichend dicke Bodenschicht befindet, wird das gebildete Methan oft durch aerobe Bacteria, sogenannte Methanoxidierer oxidiert, in CO_2 und Zellkohlenstoff umgewandelt und somit unschädlich gemacht (Boeckx et al. 1997, Rachor et al. 2011, Hoffmann et al. 2016, Praeg et al. 2021). Durch das Entfernen der aufliegenden Bodenschicht, kann hingegen das unter anaeroben Prozessen gebildete Methan aus der Torfschicht ungehindert in die Atmosphäre entweichen. Dabei ist es irrelevant, ob die Fläche mit Wasser bedeckt ist oder nicht, da CH_4 in Wasser sehr gut löslich ist, also nur der Emissionsort an die Wasseroberfläche verlagert wird. Entsprechende Methanemissionen und Konzentrationen im Seewasser konnten Scholz et al. (2020) für eine Reihe von Alpenseen, unter anderem auch dem Kalterer See nachweisen.
- N_2O** Nach klassischer Auffassung entsteht Lachgas als Nebenprodukt der Nitrifikation durch chemische Zersetzung von Hydroxylamin (NH_2OH), Nitroxylhydrid (HNO) oder NO_2^- (Zwischen- oder Endprodukte der Ammoniakoxidation) mit organischen und anorganischen Verbindungen bei niedrigem pH-Wert (<4,5) (Conrad 1996). Aber auch reine ammoniakoxidierende Bakterienkulturen können direkt zu den N_2O -Emissionen des Bodens beitragen (Hu et al. 2015). Unter anaeroben Bedingungen wird Lachgas durch die sogenannte Denitrifikation gebildet. So bezeichnet man die Reduktion von Nitrat (NO_3^-) zu den gasförmigen Produkten Stickstoffmonoxid (NO), Distickstoffoxid (N_2O) und elementarem Stickstoff (N_2). Dies geschieht durch Mikroorganismen, welche diesen Prozess zur

Energiegewinnung verwenden können (Braker 2015). Die N₂O-Emissionen aus natürlichen Mooren werden als relativ gering eingestuft. Entwässerung von Mooren und verändertes Wasserregime erhöhen allerdings die Lachgasemissionen aus Böden signifikant (Salm et al. 2012). Je mehr ein Torfboden degradiert ist, desto höher sind die Lachgas-Emissionen aus Torf (Liu et al. 2020). Dies kann auch die Nutzung des abgebauten Torfs für Kulturen betreffen, allerdings hängt die konkrete Emission sowohl vom Stickstoffgehalt als auch von den mikroklimatischen Bedingungen bei der Nutzung des Torfsubstrates ab.

CO₂-Äquivalente

Damit emittierte Treibhausgase in ihrer Klimawirkung quantitativ verglichen werden können, werden sogenannte CO₂-Äquivalente (CO₂e) verwendet. Grundlage dafür ist das globale Erwärmungspotenzial (GWP) des jeweiligen Treibhausgases. Dazu werden die Mengen von z.B. Methan oder Lachgas mit dem jeweilig entsprechenden GWP anhand der Referenzwerte des sechsten Sachstandsberichtes des Weltklimarates (IPCC Assessment Report AR6 7.6.1) multipliziert (Forster et al. 2021).

Kohlendioxid wird deshalb als Bezugspunkt verwendet, da es als wichtigstes Treibhausgas gilt, das am häufigsten und meisten gebildet wird und sehr lange (300 bis 1.000 Jahre) in der Atmosphäre verweilt (Moreno et al. 2016). Über einen Zeitraum von 100 Jahren betrachtet, hat biogenes Methan ein 27-mal höheres GWP als Kohlendioxid. Bei Lachgas ist das GWP aufgrund der Verweildauer in der Atmosphäre und der Strahlungs-Effizienz im Mittel 273-mal größer als Kohlendioxid (Forster et al. 2021).

THG Potential von Torf nach dem Ansatz des Weltklimarates IPCC

Für die Quantifizierung des Treibhausgas Potentials (THG) wurde der Ansatz des Weltklimarates (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) verwendet. Dieser sieht eine Erfassung der Emissionen unmittelbar durch den Torfabbau (on-site) und der Emissionen, die durch die Nutzung des Torfs (off-site) entstehen vor. Berechnet werden die Gesamtemissionen nach den Gleichungen 7.3 - 7.5 der Richtlinien des Weltklimarates (IPCC 2006).

On-Site Emissionen: Für die Einschätzung der Klimarelevanz des Torfs müssen die aktuellen Flüsse von klimarelevanten Gasen ermittelt und mit ihrem jeweiligen globalen Erwärmungspotenzial (GWP) verrechnet werden. (Byrne et al. 2004, IPCC 2006). Da keine vollständige Ökobilanz berechnet wird (vgl. Zielsetzung, S. 9), und auch keine zuverlässigen Daten über den Kraftstoffverbrauch der eingesetzten Maschinen und v.a. des Transports bis zu den Käufern vorhanden sind, werden die Emissionen, die durch Maschinen für den Abbau des Materials freigesetzt werden und die Emissionen, die sich aus dem Transport zu den Käufern ergeben würden, nicht berechnet. Die vorliegende Studie quantifiziert vielmehr die unmittelbaren Gas- und Stoffflüsse aus dem Torf.

Die Off-Site Emissionen: Diese ergeben sich durch die Oxidation des im Torf festgelegten Kohlenstoffs an der Luft. Schätzungen der Off-Site Emissionen werden durch Umrechnung der jährlichen Torfentnahmemenge (entweder Volumen oder Lufttrockengewicht) in das Gewicht des Kohlenstoffs berechnet (Gleichung 7.5 in IPCC 2006). Um die Quantifizierung zu erleichtern, empfiehlt die Richtlinie des Weltklimarates die Annahme, dass der gesamte Kohlenstoff im Gartentorf im Jahr der Gewinnung emittiert wird, auch wenn die biochemische Umsetzung des gesamten Torfs längerfristig verläuft. Daher gibt es zwei mögliche Quantifizierungsmethoden: Entweder wird der gesamte oder ein gewisser Prozentteil des Kohlenstoffgehalts des abgebauten Torfs unmittelbar als Emission im Abbaujahr berechnet (Tier 1 Ansatz), oder die Zersetzung des Torfs wird als Funktion der Zeit berechnet (Tier 2-3 Ansatz). Allerdings benötigt es für letzteres detailliertes Wissen und Analysen darüber, mit welchen anderen Substanzen der abgebaute Torf vermischt wird, wie er genau verwendet wird und wie die mikroklimatischen Bedingungen z.B. bei der Pilzzucht oder im Garten, in dem die mit Torf versetzte Gartenerde verwendet wird, sind. Bei diesem Ansatz gibt es erhebliche Schwierigkeiten: zum einen gibt es kaum Studien, in denen mehrjährig die Zersetzung von Torf im Labor, im Feld, und unter verschiedenen Klimabedingungen analysiert wurden, zum anderen braucht es eine genaue Kenntnis über die Verwendung/Vermischung mit anderen Substanzen und deren Nutzung.

3.2 Berechnung der CO₂e des Torfabbaus in Südtirol

Vorgehensweise bei der CO₂e Quantifizierung des Südtiroler Torfs Für die Quantifizierung der CO₂ Äquivalente (CO₂e) des Torfabbaus in Südtirol werden sowohl die on-site Emissionen auf den Abbauflächen (on-site), als auch die Emissionen aus der Nutzung im Gartenbau und der Pilzzucht (off-site) berechnet.

On-site Emissionen: Da in Südtirol die Abbauflächen nicht entwässert werden, werden die Emissionen auf Methan (CH₄), das durch den anaeroben Abbau entsteht, beschränkt. Dieses Methan kann aus der mächtigen Torfschicht praktisch ungehindert entweichen, sobald die schützende, eine Methanoxidation zulassende Bodenschicht, entfernt wird, unabhängig davon, ob diese direkt der Luft ausgesetzt ist oder noch mit Wasser bedeckt wird (vgl. S. 17).

Off-site Emissionen: diese Emissionen entstehen durch die Nutzung des abgebauten Torfs im Gartenbau und in der Pilzzucht: Sie werden anhand des jährlichen Abbauvolumens und dessen Kohlenstoffanteils berechnet. Angaben zur Kohlenstoff-Oxidation aus Torf- und Moorböden sind rar und beziehen sich praktisch immer auf Veränderungen nach Drainage und damit Trockenlegung (Hooijer et al. 2012, Leifeld et al. 2020). Angaben von 10% pro Jahr oder 50% in fünf Jahren sind typisch, doch werden diese in situ gemessenen Mineralisierungsraten durch die intensive Behandlung (Mischung, Belüftung etc.) des Torfes in einer Pilzzucht mit Sicherheit übertroffen. Eine Stichprobe (die allerdings ohne Parallelen gemessen wurde und daher nicht für eine Hochrechnung verwendet werden sollte) zeigte, dass bereits in dem Torf, der am Betriebsgelände ein Jahr gelagert wurde, der Gehalt an organischer Substanz nur mehr 48% des Wertes des frischen Torfs war. Da keine konkreten Daten über die Weiternutzung des abgebauten Torfs bei den Käufern vorliegen, werden in dieser Studie der Richtlinie des Weltklimarates (IPCC 2006) folgend, die off-site Emissionen so berechnet, als würden sie zu 100% im Abbaujahr anfallen.

3.3 Probennahme und Analytik

Probennahme

Die Probennahme für die zu untersuchenden Torfproben erfolgte am 16.9.2022.

Frischer, soeben vom Bagger aus der Grube entnommener Torf wurde durch die im Betrieb verwendete Siebmaschine aufbereitet und am Entnahmeförderband, das zu den Ladeflächen der LKW's führt in drei Replikaten beprobt. Diese Proben wurden einerseits zu je ca. 1,5 kg in gasdichte Behältnisse mit Septen zur Gasentnahme gefüllt, zum anderen für die Elementaranalytik verwendet.

Parallel zu den Torfproben wurde die *in situ* Methanbilanz an einer Fläche mit intakter Torfschicht und einer Vergleichsfläche, unter der die Torfschicht bereits durch Aushubmaterial ersetzt wurde, bestimmt. Auch diese Bestimmung erfolgte in drei Replikaten an den jeweiligen Flächen.

Analytik

Der Wassergehalt, die Dichte und der Gehalt an organischer Substanz in den Proben wurden nach Differenzwägung bestimmt - für die organische Substanz nach Veraschung bei 450°C.

Die Methanbilanz im Zeitverlauf wurde sowohl für die Torfproben als auch für die *in situ*-Bilanzen nach der von Praeg et al. (2021) beschriebenen Methodik bestimmt. Dabei wurden aus dem Headspace der Untersuchungsgefäße mit 20 ml Spritzen bei $t = 0, 10, 20$ und 30 min Gasproben genommen und in vakuierte (< 10 mbar) Glascontainer gegeben. Die Veränderung der Methanbilanz in diesen Gasproben erlaubt Rückschlüsse auf die Netto-Methanbilanz (Methanproduktion – Methanoxidation).

Die Gaszusammensetzung (CH_4 -Konzentration) in jeder Probe wurde gaschromatografisch analysiert (Shimadzu GC2010 Plus, Japan; Detektor: FID + Methanizer, Trägergas=Stickstoff). Die *in-situ* CH_4 -Flüsse und CH_4 -Emissionen der Torfproben wurden auf eine Fläche von 1 m^2 bzw. auf m^3 Torf skaliert und auf einer 30-minütigen Basis aus den Änderungen der CH_4 -Konzentration im Laufe der Zeit am Standort berechnet.

Die Gehalte von C und N in den Torfproben erfolgte im Elementaranalyzer LECO CN828-MC nach Verbrennung der Proben im reinen Sauerstoffstrom. Die Detektion des gebildeten CO_2 erfolgt über eine IR-Zelle während Stickstoff (nach Reduktion der Oxide) in einem Wärmeleitfähigkeitsdetektor quantifiziert wurde.

4 Ergebnisse

4.1 Biophysikalische Charakteristika der Torfproben

Tabelle 1 gibt die durch die Laboranalysen ermittelten biophysikalischen Werte des abgebauten Torfs an.

Tabelle 1
Gemessene Werte
des frischen Torfs:
Mittelwert (M) und
Standardabweichung
(SD) der 3 Proben

Frischer Torf	M	SD
Dichte [kg l^{-1}]	0,970	0,0828
Trockensubstanzgehalt - TS [g g^{-1}]	0,161	0,0068
Wassergehalt [g g^{-1}]	0,839	0,0068
Organische Substanz - OS [$\text{g g}^{-1}\text{TS}$]	0,581	0,0432
Kohlenstoffgehalt - C [g g^{-1}]	0,336	0,0308
Stickstoffgehalt - N [g g^{-1}]	0,014	0,0015

Die gemessene Dichte von 0,97 (SD 0,083) kg l^{-1} liegt etwas höher als die Dichte, die sich aus den offiziellen Daten der abgebauten Torfmenge im Südtiroler Unterland von 2011-2021 mit 0,87 (SD 0,1) kg l^{-1} ergibt. In der Bodenforschung spricht man von Torf ab einer Organischen Substanz von 35%. Der gemessene Wert von 58% liegt somit eindeutig in der Norm. Zudem entspricht er den bekannten Werten aus der Literatur für Niedermoortorf (Chimner et al. 2014). Wie die genommenen Proben zeigen, wird der Torf mit sehr hohem Wassergehalt abgebaut, was sich auf das Abbauvolumen auswirkt. So kann man die in Südtirol abgebauten Mengen nicht so einfach mit abgebauten ‚trockenen‘ Torf aus entwässerten Mooren vergleichen.

4.2 On- und off-site Treibhausgas Emissionen

On-site Emissionen Die on-site Emissionen umfassen die Methan-Emissionen beim frisch ausgehobenen Torf. Sie werden in dieser Studie auf die Aktivität von **CH₄** Bodenmikroorganismen von 7 Monaten bezogen, da erfahrungsgemäß in den Ostalpen ca. 7 Monate günstige bodenklimatische Bedingungen für mikrobielle Prozesse aufweisen. Für das Südtiroler Unterland ist dies eine eher konservative Schätzung. Aufbauend auf den Messergebnissen (Anhang A2) beträgt der Methan-Kohlenstoff pro Kubikmeter abgebauten Torf 0,026 $\text{kg CH}_4\text{-C m}^{-3}$ und die entsprechenden CO_2 -Äquivalente 0,7 $\text{kg CO}_2 \text{ m}^{-3}$. Daher ergibt sich für die Periode 2011-2021 aus dem Torfabbau in Südtirol **on-site** die Methan-Emission von 17.510 $\text{kg CH}_4\text{-C}$. Dies entspricht einer Emission von **472,8 Tonnen CO₂e**

(Tab. 2). Bezogen auf eine durchschnittliche Abbaufäche von einem Hektar pro Jahr, einer mittleren Torfschicht von 8 Metern Dicke und 7 Monaten Abbau ergibt sich damit eine on-site Emission von **56,1 Tonnen CO₂e** pro Jahr.

Tabelle 2:
Torfabbaumengen im
Südtiroler Unterland
2011-2021 und
entsprechende vor Ort
(on-site)
Methanemissionen
(CH₄) und deren CO₂-
Äquivalente (CO₂e)

Jahr	Torfabbau (t)	Torfabbau (m ³)	CH ₄ -C (kg) in 7 Monate	On-site CO ₂ e (t) durch CH ₄ in 7 Monaten
2021	77 440	96 800	2 010	54,3
2020	60 000	75 000	1 558	42,1
2019	60 480	75 600	1 570	42,4
2018	50 000	62 500	1 298	35,0
2017	45 120	56 400	1 171	31,6
2016	50 400	63 000	1 308	35,3
2015	44 553	56 297	1 157	31,2
2014	69 394	74 759	1 801	48,6
2013	61 623	65 778	1 600	43,2
2012	80 406	82 429	2 087	56,4
2011	75 101	67 055	1 950	52,6
Summe	674 517	775 618	17 510	472,8

Interessanterweise zeigen die Messungen aber auch auf den Flächen nach erfolgtem Torfaushub und dessen Auffüllung mit Schüttmaterial noch leichte CH₄ Emissionen im Ausmaß von **0,32 Tonnen CO₂e** pro Jahr (Abbildung 4). Die Ursache dafür dürfte in der wiederaufgebrachten lokalen Erdschicht liegen, da sich in dieser noch Torfreste befinden. Durch die aeroben (sauerstoffreichen) Bedingungen entsteht durch die Zersetzungs Vorgänge Methan, das emittiert wird. Wie viele Jahre diese Emissionen andauern, hängt von der Restmenge des Torfs im Boden und den bodenklimatischen Bedingungen ab. Auf den ungestörten Flächen konnten hingegen keine Methan-Emissionen gemessen werden. Ursache dafür ist, dass das im Untergrund produzierte Methan vollständig im Boden zu CO₂ oxidiert wird (Le Mer & Roger 2001) (Abb. 8).

Abbildung 8:
Schematische
Abbildung der
Methanbildung und
Oxidation im Boden
einer Apfelanlage
(links) und der
Methan Emission nach
der Torfentnahme und
Wiederherstellung des
Bodens und der
Apfelanlage (rechts) in
den Torfabbau-
gebieten des
Südtiroler Unterlandes



Off-site Emissionen Die off-site C-Emissionen ergeben sich durch die Nutzung des abgebauten Torfs im Gartenbau und der Pilzzucht und setzen sich aus den Emissionen durch den im Torf enthaltenen Kohlenstoff und den Emissionen durch den im Torf enthaltenen Stickstoff zusammen.

CO₂-Emissionen in der Nutzungsphase

Insgesamt ergeben sich für die Periode 2011-2021 aus dem Torfabbau in Südtirol **off-site CO₂ Emissionen von 149.095,1 Tonnen CO₂e** (Tab. 3). Bezogen auf eine durchschnittliche Abbaufäche von einem Hektar pro Jahr und einer mittleren Torfschicht von 8 Metern Dicke würde sich eine off-site Emission von **15.379 Tonnen CO₂e** pro Jahr ergeben. Dieser Wert ist etwas geringer als bei einer Tier-1 Berechnung bei Anwendung der Richtlinien des Weltklimarates (IPCC 2006, Gleichung 7.5) für off-site CO₂e aus abgebautem Torf, bei dem nicht vor Ort gemessene Kohlenstoffgehalte des Torfs, sondern ein durchschnittlicher Kohlenstoff Emissionsfaktor von 0,4 für die gemäßigte Klimazone eingesetzt wird. In diesem Fall beträgt das Ergebnis **18.453 Tonnen CO₂e**.

Tabelle 3:
Torfabbaumengen im Südtiroler Unterland 2011-2021 und entsprechende off-site Methan, Kohlendioxid und Lachgas-Emissionen und deren CO₂-Äquivalente (CO₂e)

Jahr	Torfabbau (t)	Torfabbau (m ³)	Off-site CH ₄ und CO ₂ -Frachten in CO ₂ e (t)	Off-site N ₂ O Fracht in CO ₂ e (t)
2021	77 440	96 800	18 607,6	569,9
2020	60 000	75 000	14 417,0	441,5
2019	60 480	75 600	14 532,4	445,0
2018	50 000	62 500	12 014,2	367,9
2017	45 120	56 400	10 841,6	332,0
2016	50 400	63 000	12 110,3	370,9
2015	44 553	56 297	10 821,8	331,4
2014	69 394	74 759	14 370,8	440,0
2013	61 623	65 778	12 644,4	387,2
2012	80 406	82 429	15 845,1	485,2
2011	75 101	67 055	12 889,8	394,8
Summe	674 517	775 618	149 095,1	4 565,9

N₂O-Emissionen in der Nutzungsphase

Auch zu den N₂O-Emissionen muss neben den aktuell durchgeführten Messungen zum N-Gehalt auf viel Literatur (z.B.: Hu et al. 2015, Domeignoz-Horta et al. 2015) zurückgegriffen werden – umso mehr, als keinerlei gesicherte Daten für die genaue Verwendung des abgebauten Torfs als Gartenerde oder für die Pilzzucht vorliegen. Im ersten Band des 5. Sachstandsbericht des Weltklimarates (IPCC 2013) wird auf Basis vieler Einzeluntersuchungen von einem durchschnittlichen N₂O-Austrag ausgegangen, der 1% einer eingebrachten N-Menge entspricht. Bei einem N-Gehalt des Torfes von 173 t (bezogen auf einen Hektar und 8 Meter Schichtdicke) entspricht dies off-site ca. 1,7 t N₂O ha⁻¹ bzw. einem CO₂e von 471 t CO₂e ha⁻¹.

Gesamtmenge an Emissionen In Summe ergeben sich daher aus dem Torfabbau in Südtirol **THG-Emissionen im Ausmaß von 154.133,8 Tonnen CO₂e** für die Periode 2011-2021, respektive **19.231,8 Tonnen CO₂e** für das Jahr 2021. Dabei entsteht ein Großteil der Emissionen in der Nutzungsphase des Torfs off-site.

4.3 Ökologische Qualität der Torfabbaugebiete

Geographische Einordnung Die Torflagerstätten befinden sich in einer intensiv bewirtschafteten Kulturlandschaft. Eine Ausnahme stellen die beiden Auwaldfragmente des Biotops Adlermösl dar. Diese durch Intensiv-Obstanlagen geprägte Landschaft ist in Bezug auf die Biodiversität relativ arm, zudem dominiert über weite Flächen dieser Lebensraum und es fehlt die strukturelle Vielfalt, die eine höhere Artenvielfalt ermöglichen würde. Wie die Ergebnisse aus dem Biodiversitätsmonitoring Südtirol deutlich zeigen, kommen in Obstanlagen vorwiegend weit verbreitete Generalisten vor.

Ursprünglich war ein großer Teil der Etschtalsole zwischen Salurn und Neumarkt mit Auwäldern und Flussalluvionen bestanden. Die Auwaldreste, die mittlerweile als Schutzgebiete ausgewiesen sind, sind daher Reste dieser einstigen Naturlandschaft, wenngleich auch sie großen Veränderungen und Beeinträchtigungen unterworfen waren.

Besonderheiten der temporären Ökosysteme Für Auwaldökosysteme besonders charakteristisch sind auch ephemere Kleingewässer, die durch die regelmäßigen Überflutungen entstehen. Diese sind Lebensraum für eine ganz besondere Tiergemeinschaft. Darunter finden sich auch zwei Amphibien: die Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) und die Wechselkröte (*Bufo viridis*). Die Wechselkröte und die Gelbbauchunke sind über die FFH-Richtlinie der Europäischen Union (und über das Südtiroler Naturschutzgesetz) geschützte Tierarten, da sie Indikatorarten für dynamische Auwaldökosysteme sind.

Abbildung 9:

Links
Wechselkröte
(*Bufo viridis*)

Rechts
Gelbbauchunke
(*Bombina variegata*)
Quelle: Pixabay

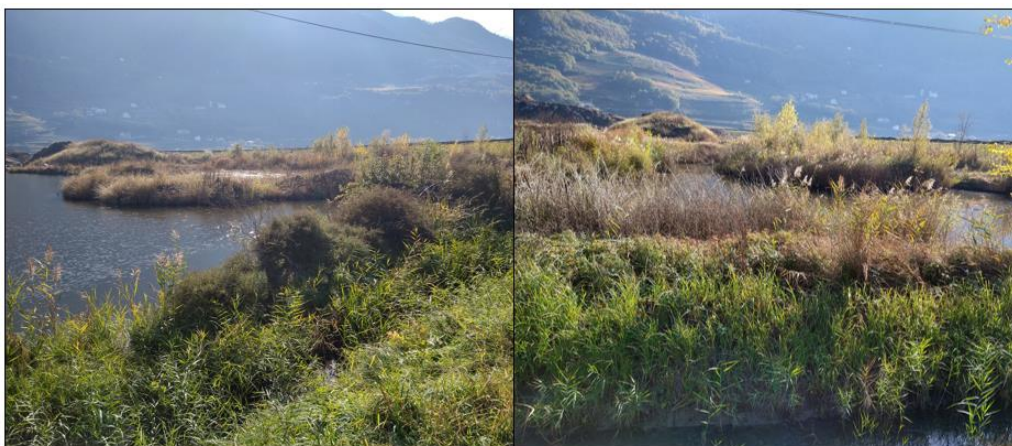


**Sekundär-
lebensraum für
geschützte
Amphibienarten**

Durch den Torfabbau entstehen Wasserflächen, die den ursprünglichen ephemeren Auwaldtümpeln ähnlich sind (siehe Abb. 10). Diese sind deshalb Sekundärlebensräume für die genannten Amphibienarten und für weitere stenöke Tierarten ephemerer, stehender Gewässer der Talsohlen. Die Wechselkröte hat ihre Hauptverbreitung in Südtirol in der Etschtalsole südlich von Bozen bis zur Landesgrenze, wogegen die Gelbbauchunke eine weitere Verbreitung aufweist und auch noch im Etschtal bis Meran und im Eisack- und Pustertal vorkommt. Mangels passender natürlicher Auwaldstandorte mit Überflutungsdynamik in der Talsole der Etsch besitzen die Torfabbaugelände zweifelsohne eine Bedeutung für die Gesamtpopulation der zwei Tierarten.

Aufgrund der inselhaften Position der Torfabbaugelände in der Talsole der Etsch besitzen sie ebenfalls eine Bedeutung für die Vogelwelt, allen voran als Rastplätze für Wasservögel in der Zugzeit, wenngleich ihre Bedeutung nicht an die der verschiedenen Schutzgebiete (z.B. Adlermösl, Kalterer See) heranreicht.

Abbildung 10:
Fotos einer mehrjährig
offenen Torfgrube



**Keine Garantie
für langfristigen
Artenerhalt**

Wenngleich die Torfabbaugelände derzeit durchaus eine Bedeutung für die genannten Arten und Artengruppen haben, sind sie für deren langfristigen Erhalt suboptimal, da sie Produkt einer wirtschaftlichen Tätigkeit sind, die starken Veränderungen unterliegt und daher eine längerfristige Standortskontinuität nicht garantiert werden kann. Stattdessen sollten Maßnahmen ergriffen werden, zumindest an Teilstrecken der Etsch den ursprünglichen Auwaldcharakter wiederherzustellen. Zudem können Trittsteinbiotope ebenfalls den Fortbestand der beiden Arten fördern.

**Probleme bei
einer
Renaturierung**

Ein wichtiges Argument, das langfristig gegen eine Torfentnahme spricht, ist die Veränderung des Substrates selbst. Durch die Einbringung von standortfremdem Material, allen voran von Gesteinsmaterial, wird eine zukünftige Renaturierung des Gebietes deutlich erschwert. Im Falle einer Wiederherstellung der ursprünglichen Auwaldlandschaft könnte das eingebrachte Material, im Gegensatz zur ursprünglich vorhandenen Torfschicht, eine natürliche Dynamik deutlich erschweren. Das Gesteinsmaterial wäre ein Fremdkörper, der erst

**Kein
dauerhafter
Vorteil für die
Biodiversität**

aufwändig entfernt werden müsste. Die meterdicken Torfschichten sind integraler Teil eines Auwaldökosystems einerseits, aber auch von weiteren Feuchtlebensräumen, etwa Weihern oder Totarmen, welche in Zukunft für eine mögliche ökologische Aufwertung des Gebietes möglicherweise geschaffen werden.

Aus den genannten Gründen stellen die Sekundärlebensräume, die im Zuge des Torfabbauens entstehen, keinen dauerhaften Vorteil für die Biodiversität des Gebietes dar.

5 Schlussfolgerungen

**Schutz und
Restaurierung
von Mooren von
größter
Bedeutung**

Es ist heute unbestritten, dass Moore und Torflandschaften weltweit eine große ökologische Bedeutung aufweisen, aber nach wie vor stark genutzt und zerstört werden. Sie beherbergen wichtige endemische und gefährdete Arten in ihren vielfältigen Lebensräumen, stellen Süßwasser bereit, begrenzen die Auswirkungen von Regenfällen und vermeiden Überschwemmungen. Ihr weltweit größte Bedeutung liegt aber in einer Zeit eines massiven Klimawandels in ihrer Fähigkeit große Mengen an Kohlenstoff zu binden und zu speichern. Degradierete Moore stoßen jedoch enorme Mengen an Treibhausgasen aus, die in keinem Verhältnis zu der von ihnen beanspruchten Fläche stehen. Sie spielen daher eine wichtige Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf. Obwohl Südtirols Landesfläche nur einen geringen Anteil an Mooren und Feuchtgebieten aufweist - auch weil in vergangenen Jahrhunderten und Jahrzehnten viele dieser Gebiete melioriert wurden - ist es von großer Bedeutung nicht nur die vorhandenen Moore und Feuchtgebiete zu schützen, sondern auch degradierte Flächen zu restaurieren. Das »Kataster der Moore und Feuchtgebiete Südtirols«, das 1991 vom Biologischen Landeslabor Leifers publiziert wurde, nennt insgesamt 704 Feuchtgebiete in Südtirol. Es wird vorgeschlagen, das Moorkataster ehestens zu aktualisieren, und weitere Schutz- und Restaurierungsmaßnahmen von Feuchtgebieten und Mooren in Südtirol durchzuführen.

**Benötigte
Aktualisierung
Moorkatasters**

**Torflagerstätten
im Unterland
sind bedeutende
klimaneutrale
Kohlenstoff-
speicher**

Neben den Feuchtgebieten und Moorflächen gibt es in Südtirol Torflagerstätten, die durch lange zurückliegende Meliorierungen und Überschüttungen der damaligen Niedermoorflächen mit Überschwemmungsmaterial oder Erdaufschüttung entstanden sind. Diese Torflagerstätten sind fossile Kohlenstoffspeicher, die abhängig von der Dicke der Torflagerstätte, große Mengen an Kohlenstoff enthalten. Bei einer durchschnittlichen Dicke von 8 Metern in den Torflagern des Südtiroler Unterlandes sind rund 4.200 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar gebunden. In diesem fossilen Torf, der sich noch unter dem Grundwasserspiegel befindet,

bilden methanogene Archaea Methan (CH₄), das allerdings durch die darüberliegende dicke Bodenschicht oft durch aerobe Bacteria oxidiert und somit unschädlich gemacht wird. Durch das Entfernen der aufliegenden Bodenschicht kann hingegen das Methan aus der Torfschicht ungehindert in die Atmosphäre entweichen.

**Jährlich
emittierte
Menge an CO₂e**

In dieser Studie wurden die freigesetzten CO₂- Äquivalente durch den Torfabbau im Südtiroler Unterland, basierend auf einfachen Messungen im Freiland und Labor in Anlehnung an die Richtlinien des Weltklimarates berechnet. Der Torfabbau führt bei einer Schichtdicke von 8 Metern zu einer on-site Methanemission von 2077 kg CH₄-C /ha/7 Monate und damit zu einer Emission von 56,1 Tonnen CO₂e pro Hektar und Jahr. Zudem emittieren auch diejenigen Böden, bei denen nach dem Torfaushub die Grube aufgefüllt und mit Apfelbäumen wieder bepflanzt wurden noch Methan, wohl aufgrund der wiederaufgebrachten lokalen Erdschicht, in der noch Torfreste aus dem Aushub vorhanden sind. Mengenmäßig ist diese Emission mit 0,32 t CO₂e pro Jahr gering.

Der abgebaute Torf wird für Gartenerde und für Pilzkulturen verwendet. Dadurch wird der gebundene Kohlenstoff ebenfalls zersetzt und in die Atmosphäre emittiert. Diese off-site Emissionen betragen beim abgebauten Torf aus dem Südtiroler Unterland pro Hektar Abbaufäche mit einer Schichtdicke von 8 Metern 15.379 Tonnen CO₂e. Aus dem Torf wird off-site auch Lachgas emittiert, allerdings ist dessen Berechnung mit den vorhandenen Daten nicht möglich. Eine grobe Schätzung liefert eine Emission von ca. 471 Tonnen CO₂e.

In Summe werden daher durch den Torfabbau in Südtirol pro Hektar und Jahr rund 15.906 Tonnen CO₂e emittiert.

**Emittierte
Menge an CO₂e
seit Beginn des
Torfabbau**

Die erste Genehmigung zum Torfabbau in Südtirol wurde im Jahr 1979 ausgestellt. Seither wurden landesweit ca. 2 Mio. m³ an Torfmaterial auf einer Fläche von 40-45 ha abgebaut. Hochgerechnet wurden durch diesen Abbau bisher rund **400.000 t CO₂e** emittiert. Die aktuell aktiven Konzessionen von Torfstichen im Unterland erlauben einen Abbau von bis zu 1,5 Mio. m³, das entspricht einer Emission von rund **300.000 t CO₂e**.

Klimarelevanz

Die Klimarelevanz dieser CO₂e Emissionen durch den Torfabbau in Südtirol ist augenscheinlich. Daher unterstützen die Ergebnisse dieser Studie eindeutig das Ziel, keinen neuen Abbau von Torf in Südtirol zu genehmigen, wie es im Klimaplan 2024 der Südtiroler Landesregierung festgehalten ist.

**Notwendiger
Umstieg auf
alternative
Substrate**

Solange aber Torf nach wie vor als Bestandteil von Gartenerde oder in der Pilzzucht verwendet wird, ist es von ebenso großer Bedeutung für die Klimaneutralität Torf nicht mehr als Substrat zu verwenden, ansonsten ist auch eine Verlagerung der Fördermengen zu erwarten. Eine Vielzahl experimenteller Studien haben gezeigt, dass die Pflanzenproduktion mit alternativen Substraten möglich ist. Ebenso gibt es zunehmend alternative Substrate für die Pilzzucht.

Sekundär- lebensräume und Biodiversität

Die Torfabbauggebiete im Unterland befinden sich in einer intensiv bewirtschafteten Kulturlandschaft, deren Biodiversität relativ arm ist. Durch den Torfabbau entstehen Wasserflächen, die den ursprünglichen ephemeren Auwaldtümpeln vor der Meliorierung ähnlich sind und u.a.

Sekundärlebensräume für zwei über die FFH-Richtlinie der Europäischen Union geschützte Amphibienarten, die Gelbbauchunke und die Wechselkröte, bieten. Obwohl die Torfgruben derzeit zweifellos eine Bedeutung für die genannten Arten und z.B. auch Wasservögel haben, sind sie für deren langfristigen Erhalt nicht geeignet, da für sie als Produkt einer wirtschaftlichen Tätigkeit keine längerfristige Standortkontinuität garantiert wird. Zudem wird durch die Torfentnahme standortfremdes Material eingebracht, das z.B. eine zukünftige Renaturierung des Gebietes deutlich erschwert. Daher stellen die Sekundärlebensräume, die im Zuge des Torfabbaus entstehen, keinen dauerhaften Vorteil für die Biodiversität des Gebietes dar. Stattdessen sollten Maßnahmen ergriffen werden, zumindest an Teilstrecken der Etsch den ursprünglichen Auwaldcharakter wiederherzustellen, die dann auch den geschützten Arten längerfristig einen Lebensraum garantieren.

Renaturierungs- maßnahmen um Auwaldcharakter an Teilstrecken herzustellen

Danksagung

Die Autor:innen bedanken sich für die die gute Zusammenarbeit und die stets schnelle Bereitstellung von Daten und Informationen beim Amt für Industrie und Gruben, insbesondere bei Gerold Moser und Amtsdirektorin Claudia Busellato. Ein Dank geht auch an die Betreiberfirma Nord Torf für die Kooperation und Unterstützung bei Lokalaugenscheinen und Probenentnahmen.

6 Literaturverzeichnis

Amha, Y., Bohne, H., Schmilewski, G., Picken, P., & Reinikainen, O. (2010). Physical, chemical and botanical characteristics of peats used in the horticultural industry. *European Journal of Horticultural Science*, 75(4), 177.

Autonome Provinz Bozen (2022a). Klimaplan Südtirol 2024.

Autonome Provinz Bozen (2022b). Offizielle Daten des Amtes für Industrie und Gruben der Autonomen Provinz Bozen – Südtirol

Bhatia, P., Cummis, C., Draucker, L., Rich, D., Lahd, H., & Brown, A. (2011). Greenhouse Gas Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. Washington DC, United States.

Blok, C., Eveleens, B. & van Winkel, A. (2021). Growing media for food and quality of life in the period 2020-2050. *Acta Horticulturae*, 1305, 341–356.

Blume, H. P., Brümmer, G. W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., ... & Wilke, B. M. (2010). Scheffer/schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. (Springer Berlin Heidelberg).

Boeckx, P., Van Cleemput, O. and Villaralvo, I. (1997). Methane oxidation in soils with different textures and land use. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 49(1), pp.91-95.

Braker, G. (2005) Denitrifikation: Mikrobielle Gemeinschaften und ihre Funktion in der Umwelt. Forschungsbericht - Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie

Byrne, K. A., Chojnicki, B., Christensen, T. R., Drosler, M., Frohling, S., Lindroth, A., ... & Zetterberg, L. (2004). EU peatlands: Current carbon stocks and trace gas fluxes.

Ceglie, F. G., Bustamante, M. A., Ben Amara, M. & Tittarelli, F. (2015). The Challenge of Peat Substitution in Organic Seedling Production: Optimization of Growing Media Formulation through Mixture Design and Response Surface Analysis. *PLoS ONE* 10(6), e0128600.

Centemero, M. (2007). La Torba In Italia: Scenari Di Mercato, Importanza E Diffusione. Report <https://sia.regione.liguria.it:8443/sia/docs/docBakeka/1-234--636328919-18-gen-2007-10.06.45.PDF>

Chimner, R. A., Ott, C. A., Perry, C. H. & Kolka, R. K. (2014). Developing and Evaluating Rapid Field Methods to Estimate Peat Carbon. *Wetlands* 34, 1241–1246

Cleary, R. J., Roulet, N. T. & Moore, T. R. (2005). Greenhouse Gas Emissions from Canadian Peat Extraction, 1990-2000: A Life-Cycle Analysis. *Ambio* 34, 456–461.

Conrad, R. (1996). Soil microorganisms as controllers of atmospheric trace gases (H₂, CO, CH₄, OCS, N₂O, and NO). *Microbiological reviews*, 60(4), pp.609-640.

Crump, J. (ed.) (2017). Smoke on Water: Countering Global Threats from Peatland Loss and Degradation. A Rapid Response Assessment. Nairobi and Arendal: United Nations Environment Programme and GRID-Arendal. <http://www.unep.org/resources/publication/smoke-water-countering-global-threats-peatland-loss-and-degradation-rapid>, Zugriffsdatum 1-09-2022

DEFRA (2021). Ending the retail sale of peat in horticulture in England and Wales. UK Department for Environment, Food and Rural Affairs. https://consult.defra.gov.uk/soils-and-peatlands/endingtheretailsaleofpeatinhorticulture/supporting_documents/Consultation%20Ending%20the%20retail%20sale%20of%20peat%20in%20horticulture%20in%20England%20and%20Wales.pdf, Zugriffsdatum 26-11-2022

Dirksmeyer, W., Menrad, K. (2021). Aktuelle Forschung in der Gartenbauökonomie : Digitalisierung und Automatisierung - Welche Chancen und Herausforderungen ergeben sich für den Gartenbau? Tagungsband zum 3. Symposium für Ökonomie im Gartenbau 15.11.2019 Freising / Weihenstephan. Johann Heinrich von Thünen-Institut.

Domeignoz-Horta, L. A., Spor, A., Bru, D., Breuil, M. C., Bizouard, F., Léonard, J., & Philippot, L. (2015). The diversity of the N₂O reducers matters for the N₂O: N₂ denitrification end-product ratio across an annual and a perennial cropping system. *Frontiers in Microbiology*, 6, 971.

Drösler, M. (2005). Trace gas exchange and climatic relevance of bog ecosystems, Southern Germany (Doctoral dissertation, Technische Universität München).

Eymann, L., Mathis, A., Stucki, M. & Amrein, S. (2015). Torf und Torfersatzprodukte im Vergleich: Eigenschaften, Verfügbarkeit, ökologische Nachhaltigkeit und soziale Auswirkungen. 130.

FAO (2020). Peatlands Mapping and Monitoring: Recommendations and Technical Overview. FAO. doi: 10.4060/ca8200en. <https://www.fao.org/3/CA8200EN/CA8200EN.pdf>, Zugriffsdatum 01-09-2022

Forster, P., Storelvmo, T., Armour, K., Collins, W., Dufresne, J. L., Frame, D., ... & Zhang, H. (2021). The Earth's energy budget, climate feedbacks, and climate sensitivity.

Friedlingstein, P., O'sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Olsen, A., ... & Zaehle, S. (2020). Global carbon budget 2020. *Earth System Science Data*, 12(4), 3269-3340.

Hirschler, O., Osterburg, B., Weimar, H., Glasenapp, S., & Ohmes, M. F. (2022). Peat replacement in horticultural growing media: Availability of bio-based alternative materials (No. 190). Thünen Working Paper..

Hofmann, K., Farbmacher, S. and Illmer, P. (2016). Methane flux in montane and subalpine soils of the Central and Northern Alps. *Geoderma*, 281, pp.83-89.

Hooijer, A., Page, S., Jauhiainen, J., Lee, W.A., Lu, X.X., Idris, A. and Anshari, G. (2012). Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. *Biogeosciences*, 9(3), pp.1053-1071.

Hu, H.W., Chen, D., He, J.Z. (2015). Microbial regulation of terrestrial nitrous oxide formation: understanding the biological pathways for prediction of emission rates. *Fems Microbiology Reviews* 39, 729-749.

IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa K., Ngara, T., and Tanabe, K. (eds). Published: IGES, Japan.

IPCC (2013). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2014). Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland

Joosten, H. (2009). The Global Peatland CO₂ Picture: Peatland Status and Drainage Related Emissions in All Countries of the World. Ede: Wetlands International. <https://unfccc.int/sites/default/files/draftpeatlandco2report.pdf> Zugriffsdatum 01-10-2022

Kitir, N., Yildirim, E., Şahin, Ü., Turan, M., Ekinci, M., Ors, S., ... & Ünlü, H. (2018). Peat use in horticulture. Peat; Topcuoglu, B., Turan, M., Eds.; IntechOpen: London, UK, 75-90.

Kretschmann, A. and Dirksmeyer, W. (2021). Substitution von Torf in Kultursubstraten im Gartenbau: Konzept für die betriebswirtschaftliche Folgenabschätzung. Thünen Report 89, p.123.

Leifeld, J., Klein, K. & Wüst-Galley, C. (2020). Soil organic matter stoichiometry as indicator for peatland degradation. *Sci Rep* 10, 7634.

Le Mer, J. & Roger, P. (2001). Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *European Journal of Soil Biology* 37, 25–50.

Liu, H., Wrage-Mönnig, N. & Lennartz, B. (2020). Rewetting strategies to reduce nitrous oxide emissions from European peatlands. *Commun Earth Environ* 1, 17.

Madigan, M. T., Martinko, J. M., Dunlap, P. V., & Clark, D. P. (2011). Brock biology of microorganisms 13th edn. Int. Microbiol, 11, 65-73.

Moreno, C., Speich Chassé, D. & Fuhr, L. (2016). CO₂ als Maß aller Dinge - Die unheimliche Macht von Zahlen in der globalen Umweltpolitik. Schriften Zur Ökologie, Band 42, Heinrich-Böll-Stiftung. Berlin

Moser G. (2021). Promemoria Beschlussantrag Landtag BA 403/2021 – Torfabbau in Südtirol – Das Torf doch nicht sein. Amt für Industrie und Gruben der Autonomen Provinz Bozen - Südtirol.

Page, S. E. & Baird, A. J. (2016). Peatlands and Global Change: Response and Resilience. Annual Review of Environment and Resources 41, 35–57.

Praeg, N., Schachner, I., Schuster, L. and Illmer, P., (2021). Carbon-dependent growth, community structure and methane oxidation performance of a soil-derived methanotrophic mixed culture. FEMS Microbiology Letters, 368(2), p.fnaa212.

Rachor, I., Gebert, J., Gröngröft, A. and Pfeiffer, E.M. (2011). Assessment of the methane oxidation capacity of compacted soils intended for use as landfill cover materials. Waste management, 31(5), 833-842.

Robinson, B., Winans, K., Kendall, A., Dlott, J. & Dlott, F. (2019). A life cycle assessment of Agaricus bisporus mushroom production in the USA. Int J Life Cycle Assess 24, 456–467.

Salm, J. O., Maddison, M., Tammik, S., Soosaar, K., Truu, J., & Mander, Ü. (2012). Emissions of CO₂, CH₄ and N₂O from undisturbed, drained and mined peatlands in Estonia. Hydrobiologia, 692(1), 41-55.

Scharlemann, J. P., Tanner, E. V., Hiederer, R. and Kapos, V. (2014). Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. Carbon Management 5(1), 81–91.

<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.4155/cmt.13.77?needAccess=true>, Zugriffsdatum 15-09-2022

Scholz, K., Carotenuto, F., Gioli, B., Miglietta, F., Pighini, S., Sommaruga, R., Tomelleri, E., Tonon, G., Zaldei, A., Wohlfahrt, G. (2020). Methane emissions from lakes in the Alpine region: insights from two years of mobile eddy covariance flux measurements, EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-10020,

Tanneberger, F.; Moen, A.; Barthelmes, A.; Lewis, E.; Miles, L.; Sirin, A.; Tegetmeyer, C.; Joosten, H. (2021). Mires in Europe—Regional Diversity, Condition and Protection. Diversity 2021, 13, 381.

Taparia, T., Hendrix, E., Nijhuis, E., de Boer, W. & van der Wolf, J. (2021). Circular alternatives to peat in growing media: A microbiome perspective. Journal of Cleaner Production 327, 129375.

Temmink, R. J. M., Lamers, L. P. M., Angelini, C., Bouma, T. J., Fritz, C., van de Koppel, J. et al. (2022). Recovering wetland biogeomorphic feedbacks to restore the world's biotic carbon hotspots. Science 376(6593), eabn1479.

<https://www.science.org/doi/10.1126/science.abn1479>

Thauer, R.K., Kaster, A.K., Seedorf, H., Buckel, W. and Hedderich, R. (2008). Methanogenic archaea: ecologically relevant differences in energy conservation. Nature Reviews Microbiology, 6(8), pp.579-591. Zugriffsdatum 03-10-2022

UN Comtrade (2022). International Trade Statistics. Download trade data. HS Commodity Code 2703. Reporters Italy 2016-2021. <https://comtrade.un.org/data/> Zugriffsdatum 03-10-2022

UNEP (2022). Global Peatlands Assessment – The State of the World's Peatlands: Evidence for action toward the conservation, restoration, and sustainable management of peatlands. Main Report. Global Peatlands Initiative. United Nations Environment Programme, Nairobi.

Vandecasteele, B., Blindeman, L., Amery, F., Pieters, C., Ommeslag, S., Van Loo, K., ... & Debode, J. (2020). Grow-Store-Steam-Re-peat: Reuse of spent growing media for circular cultivation of Chrysanthemum. Journal of Cleaner Production, 276, 124128.

Werth, K. (2003). Geschichte der Etsch zwischen Meran und San Michele: Flussregulierung; Trockenlegung der Möser; Hochwasser. Tappeiner Verlag.

Anhang

Tabelle A1: Laborergebnisse der drei 1,5 Liter Proben des frisch ausgehobenen Torfs

Probe	Dichte [kg/l]	Wasser- gehalt [g/g]	Trocken Substanz [g/g]	Organische Substanz [g/g]	Kohlenstoff [%]	Stickstoff [%]	C/N Verhältnis
1	1,042	0,838	0,162	0,591	34,510	1,421	24,3
2	0,879	0,833	0,167	0,534	30,160	1,221	24,7
3	0,987	0,846	0,154	0,619	36,100	1,503	24,0

Tabelle A2: CH₄-Produktion on site

Probe	Bemerkung	Parallel	Zeitpunkt [min]	CH ₄ - Peak	ppm	µl	µmol/ Ansatz	µmol/l Torf	µmol/ m ³	µmol/m ³ / Messzeit
K1	1,5 L gasdicht	1	0	1439	2,30	2,19	0,0976	0,0651	65,1	136,5
K1	1,5 L gasdicht	1	5	2199	3,52	3,34	0,1492	0,0994	99,4	
K1	1,5 L gasdicht	1	10	2235	3,58	3,40	0,1516	0,1011	101,1	
K1	1,5 L gasdicht	1	20	1953	3,12	2,97	0,1325	0,0883	88,3	
K1	1,5 L gasdicht	1	40	4457	7,13	6,77	0,3023	0,2015	201,5	
K2	1,5 L gasdicht	2	0	1701	2,72	2,59	0,1154	0,0769	76,9	521,5
K2	1,5 L gasdicht	2	5	3742	5,99	5,69	0,2538	0,1692	169,2	
K2	1,5 L gasdicht	2	10	4524	7,24	6,88	0,3068	0,2046	204,6	
K2	1,5 L gasdicht	2	20	8098	12,96	12,31	0,5493	0,3662	366,2	
K2	1,5 L gasdicht	2	40	12311	19,70	18,71	0,8350	0,5567	556,7	
K2	1,5 L gasdicht	2	50	13235	21,18	20,12	0,8977	0,5985	598,5	
K3	1,5 L gasdicht	3	0	1798	2,88	2,73	0,1220	0,0813	81,3	381,1
K3	1,5 L gasdicht	3	5	4661	7,46	7,08	0,3161	0,2108	210,8	
K3	1,5 L gasdicht	3	10	4697	7,52	7,14	0,3186	0,2124	212,4	
K3	1,5 L gasdicht	3	20	6088	9,74	9,25	0,4129	0,2753	275,3	
K3	1,5 L gasdicht	3	40	10653	17,04	16,19	0,7226	0,4817	481,7	
K3	1,5 L gasdicht	3	50	10226	16,36	15,54	0,6936	0,4624	462,4	

Tabelle A3: CH₄-Produktion auf Flächen

Probe	Bemerkung	Parallele	Zeitpunkt [min]	CH ₄ Peak	ppm	μl	μmol/ Ansatz	μmol/ m ² / min	μmol/ m ² /h	μmol/ m ² /h
S1	nach Torfentnahme	1	0	854	1,37	0,590	0,0264	0,0553	3,3177	3,936
S1	nach Torfentnahme	1	15	1540	2,46	1,064	0,0475			
S1	nach Torfentnahme	1	40	1417	2,27	0,979	0,0437			
S2	nach Torfentnahme	2	0	1200	1,92	0,829	0,0370	0,0140	0,8427	
S2	nach Torfentnahme	2	15	1077	1,72	0,744	0,0332			
S2	nach Torfentnahme	2	40	1343	2,15	0,928	0,0414			
S3	nach Torfentnahme	3	0	989	1,58	0,684	0,0305	-0,0037	-0,2239	
S3	nach Torfentnahme	3	15	754	1,21	0,521	0,0233			
S3	nach Torfentnahme	3	40	951	1,52	0,657	0,0293			
U1	vor Torfentnahme	1	0	1175	1,88	0,812	0,0363	-0,0127	-0,7602	-0,471
U1	vor Torfentnahme	1	15	831	1,33	0,574	0,0256			
U1	vor Torfentnahme	1	40	1046	1,67	0,723	0,0323			
U2	vor Torfentnahme	2	0	1112	1,78	0,769	0,0343	0,0115	0,6895	
U2	vor Torfentnahme	2	15	1516	2,43	1,048	0,0468			
U2	vor Torfentnahme	2	40	1229	1,97	0,849	0,0379			
U3	vor Torfentnahme	3	0	1169	1,8704	0,808	0,0361	-0,0067	-0,4007	
U3	vor Torfentnahme	3	15	1392	2,2272	0,962	0,0430			
U3	vor Torfentnahme	3	40	1101	1,7616	0,761	0,0340			