

Footprints Without Borders: An Interactive Installation for Tangible Communication About Consumption-Based CO₂ Emissions in an Exhibition Context

Footprints Without Borders: Eine interaktive Installation zur greifbaren Kommunikation nachfragebasierter CO₂-Emissionen im Ausstellungskontext

Anne F. Merkle
Hochschule Magdeburg-Stendal
anne.merkle@yahoo.de

Michael A. Herzog
Hochschule Magdeburg-Stendal
michael.herzog@h2.de

Dominik Schumacher
Hochschule Magdeburg-Stendal
dominik.schumacher@h2.de

ABSTRACT

English Looking at consumption-based emissions is directly relevant to policy discussions. In order to develop effective climate strategies, climate policy needs to address the root causes, which requires an understanding of outsourced CO₂ emissions. Using a design science research methodology process, an interactive installation was developed to communicate scientifically collected data in an exhibition environment. A three-dimensional and tangible world map allows to explore territorial emissions in contrast to consumption-based emissions visually and haptically. Evaluation findings indicate that the exhibit supports different levels of understanding according to Bloom's taxonomy. The developed design and interaction concept was evaluated in early user tests showing high pragmatic and very high hedonic qualities. Based on first results, the designed learning object offers an alternative approach to inform about outsourced emissions and to promote the discourse about effective climate strategies.

Deutsch Die Betrachtung nachfragebasierter Emissionen ist unmittelbar relevant für politische Diskussionen. Um wirksame Klimastrategien zu entwickeln, muss Klimapolitik die grundlegenden Ursachen adressieren, was ein Verständnis der Trends zur Auslagerung von CO₂-Emissionen voraussetzt. Mit einem Design Science Research Methodology Prozess wurde ein interaktives Exponat entwickelt, das territoriale Emissionsdaten im Kontrast zu nachfragebasierten Daten dreidimensional verkörpert. In einer Ausstellungsumgebung werden die wissenschaftlich erhobenen Daten durch eine tangible Weltkarte visuell und haptisch erkundbar kommuniziert. Erste Ergebnisse der Evaluation zeigen, dass die Besucher:innen auf verschiedenen Taxonomiestufen nach Bloom angesprochen werden. Das entwickelte Design- und Interaktionskonzept wurde in ersten Nutzertests mit hohen pragmatischen und sehr hohen hedonischen Qualitäten bewertet. Auf Basis der Ergebnisse bietet das designte Lernobjekt einen alternativen Ansatz, über ausgelagerte Emissionen zu informieren und damit den Diskurs über wirksame Klimastrategien zu fördern.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

MuC '22, September 04–07, 2022, Darmstadt, Germany

© 2022 Copyright held by the owner/author(s).

ACM ISBN 978-1-4503-9690-5/22/09.

<https://doi.org/10.1145/3543758.3549909>

CCS CONCEPTS

• **Human-centered computing** → Human computer interaction (HCI); Interaction devices; Haptic devices.

KEYWORDS

Tangible Data, Begreifbare Interaktion, CO₂-Emissionen, Interaktives Lernobjekt

ACM Reference Format:

Anne F. Merkle, Michael A. Herzog, and Dominik Schumacher. 2022. Footprints Without Borders: An Interactive Installation for Tangible Communication About Consumption-Based CO₂ Emissions in an Exhibition Context: Footprints Without Borders: Eine interaktive Installation zur greifbaren Kommunikation nachfragebasierter CO₂-Emissionen im Ausstellungskontext. In *Mensch und Computer 2022 (MuC '22)*, September 04–07, 2022, Darmstadt, Germany. ACM, New York, NY, USA, 4 pages. <https://doi.org/10.1145/3543758.3549909>

1 NACHFRAGEBASIERTE EMISSIONEN KOMMUNIZIEREN

Aktuelle Klimaschutzabkommen wie das Kyoto-Protokoll oder das Pariser Abkommen basieren auf der territorialen Bilanzierung von Treibhausgasen. Entstehende Emissionen werden dem Herstellungsland zugerechnet, wobei im internationalen Handel verkörperte Emissionen oft vernachlässigt werden [12]. Viele Entwicklungsländer wie China und Indien stellen CO₂-intensive Güter her, die schließlich von Industrieländern wie den USA und vielen europäischen Ländern importiert und konsumiert werden [15]. **Der nachfragebasierte Fußabdruck einer Nation** schließt diese importierten Waren mit ein. Studien zeigten, dass die territorial produktionsbasierten Emissionen einiger Länder unter dem Kyoto-Protokoll zwar abgenommen haben, jedoch im gleichen Zeitraum die nachfragebasierten Emissionen teilweise gestiegen sind [3, 6, 14]. Zur Abschätzung nachfragebasierter Emissionen stellt die OECD Emissionsdaten (Inter-Country Input-Output) für 65 Nationen über einen Zeitraum von 23 Jahren bereit [11].

Die Kommunikation dieser wissenschaftlich erhobenen Daten an die Öffentlichkeit ist nicht nur bedeutend für Privathaushalte, die durch Konsum einen großen Einfluss auf globale Treibhausgasemissionen ausüben [7]. Um wirksame Klimastrategien zu entwickeln, muss Klimapolitik die grundlegenden Ursachen adressieren, was ein Verständnis der Trends zur Auslagerung von CO₂-Emissionen voraussetzt [4]. Die gesellschaftliche Akzeptanz, Verantwortung für Emissionen zu übernehmen, die außerhalb der



Figure 1: Interaktion mit der Installation durch eine Besucherin im Rahmen einer Ausstellung

eigenen Grenzen entstehen, ist Grundlage für eine weltweite nachfragebasierte Bilanzierung von Treibhausgasen [12].

Kunst und Design adressieren in zahlreichen Ausstellungen Umweltthemen, wie zum Beispiel die Ars Electronica Ausstellung „There Is No Planet B“ [1]. Die Online-Plattform „The Carbon Atlas“, veröffentlicht und visualisiert Daten in einer interaktiven Weltkarte: Produktionsbasierte und nachfragebasierte Emissionen können in zweidimensionale Kreise übersetzt miteinander verglichen werden. Eine Zeitleiste am unteren Bildschirmrand ermöglicht die Betrachtung verschiedener Jahre [19]. Ein dreidimensional-grafischer Ansatz der Visualisierung wurde zum Vergleich des CO₂ Fußabdrucks verschiedener Stadtteile durch die Arbeit von Petch et al. entwickelt [16]. Die Stadtteile werden in quadratische Gitterzellen unterteilt und die jeweiligen Emissionsdaten in die Höhe transformiert, um eine Oberfläche zum visuellen Vergleich zu generieren.

2 DESIGN UND INTERAKTIONSKONZEPT

Einem Design Science Research Methodology Prozess folgend [13], stellt diese Arbeit nachfragebasierte Emissionen in einem interaktiven Exponat als Lernobjekt bereit. Die Interaktion mit den Daten soll eine Lust am Erforschen, Analysieren und Interpretieren wecken. Dadurch werden insbesondere Lernziele auf höheren Taxonomiestufen nach Bloom verfolgt [2]. Damit sich der erste Eindruck positiv auf das Engagement der Besucher:innen auswirkt, wird die Ästhetik der visuellen Elemente als integraler Bestandteil der Lernerfahrung berücksichtigt [9, 10, 20]. Barrieren zur erfolgreichen Umweltkommunikation sollen durch eine Übersetzung der zeitlich und räumlich abstrakten Daten in einen begreifbaren Raum überwunden werden [18]. Das Aufzeigen nachfragebasierter Emissionen soll individuelle weltweite Einflussmöglichkeiten durch Konsumverhalten verdeutlichen. Die gleichzeitige Interaktion mit dem Exponat durch mehrere Besucher:innen soll zu der Entwicklung eines Diskurses im Ausstellungskontext beitragen [5].

Eine auf flexibles Textil projizierte Weltkarte bildet eine tangible Nutzeroberfläche zur Erkundung der Emissionsdaten. Territoriale, durch Produktion im Land entstehende Emissionen werden in Höhe übersetzt und bilden eine topografische Karte. Weiße Höhenlinien bieten eine Referenz, wobei eine Linie einer Tonne CO₂ pro Kopf entspricht. Sobald ein Land durch die Nutzer:innen berührt wird,

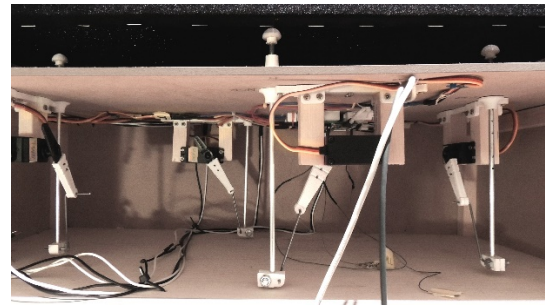


Figure 2: Blick in das Gehäuse der Installation auf die technischen Komponenten

wandelt sich die Höhe des Landes in den, durch Nachfrage des Landes weltweit verursachten Emissionswert. Das bedeutet, dass Net-Import Länder, deren Nachfrage höher als die Produktion im Land ist, in die Höhe wachsen. Im Gegensatz dazu sinken Net-Export Länder, deren Produktion sich höher als die eigene Nachfrage im Land darstellt. Die Farbe der Höhenlinien wechselt auf Orange und der Ländername sowie die genauen Emissionswerte, verursacht durch Produktion und Nachfrage pro Kopf, ergänzen die Projektion. Mit einer Zeitachse kann die Entwicklung der in Handelsgütern verkörperten Emissionen über die Wandlung der topografischen Karte verfolgt werden.

Das Konzept wurde prototypisch anhand von zwei Net-Import Länder (USA und Norwegen) und zwei Net-Export Länder (Südafrika und Taiwan) umgesetzt. Die Zeitleiste bildet mit den Jahren 1995, 2007 und 2018 Ausschnitte einer längeren Zeitspanne ab. Die Auswahl der Jahre wird über drei Druckknöpfe am unteren Rand der Projektionsfläche erkannt. Die Berührung der Länder wird durch in die textile Oberfläche eingnähte, kapazitive Sensorfäden erkannt. Im Gehäuse unter den Ländern angebrachte Stifte lassen sich über Servomotoren einzeln in der Höhe verändern. Alle Sensoren werden durch einen ESP32-Prozessor gelesen, welcher auch die Servomotoren ansteuert. Ein weiteres Programm auf einem Raspberry Pi Computer errechnet auf Basis des Inputs die anzufahrenden Winkel für die Servomotoren und erstellt die Visualisierung. Diese wird über eine HDMI-Schnittstelle an den Projektor weitergeleitet.

3 EVALUATIONSMETHODOLOGIE UND ERGEBNISSE

Die Evaluation erfolgte in einem Mixed-Methods Design im Rahmen einer Design-Ausstellung zum Thema „Tangible Data in Space“ des Instituts Industrial Design der Hochschule Magdeburg-Stendal. Die Mehrheit der insgesamt 20 Proband:innen stellten Studierende zwischen 20 und 30 Jahren dar. Nach der Interaktion mit der Installation füllten die Besucher:innen einen anonymisierten quantitativen Fragebogen in Papierform aus, der das Vorwissen, den Lerneffekt und Anregungen durch die Nutzung der Installation mit neun Items einer siebenstufigen Likert-Skala abfragt. Das Nutzererlebnis wurde zusätzlich durch den schnell auszufüllenden User Experience Questionnaire (UEQ-S) evaluiert [17]. Um der Limitation des sehr kurzen UEQ-S zur Bewertung des Verständnisses der Visualisierung zu

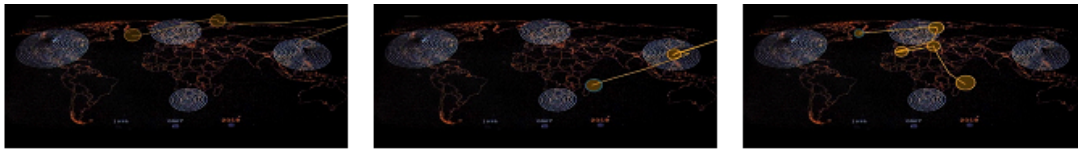


Figure 3: Augenbewegungen beim Vergleich der produktionsbasierten Emissionen der Länder eines Probanden innerhalb einer Sekunde bei der Fragestellung zur Taxonomiestufe des Anwendens („Welches der angezeigten Länder verursacht die höchsten und welches die niedrigsten produktionsbasierten Emissionen?“).

begegnen, wurden drei Probanden zwischen 20 und 30 Jahren qualitativ befragt. Dabei zielte jede Fragestellung auf eine spezifische kognitive Stufe der Bloom'schen Taxonomie ab [2]. Von der Ebene des Wissens („Was erkennst du?“) bis hin zur Evaluation („Wie bewertest du die Verantwortung der vier Länder am Klimawandel?“). Um die Herangehensweise und Verarbeitungsprozesse der Information besser nachvollziehen zu können, wurde die Befragung am Exponat durch die Methode des lauten Denkens [8] und Eye-tracking ergänzt. Die Augenbewegungen wurden mit dem Audio durch eine mobile Eyetracking-Brille (Tobii) aufgezeichnet und im MP4-Format festgehalten.

Der Großteil der Befragten gab an, bereits auf einen nachhaltigen Lebensstil zu achten. Die Information über nachfragebasierte Emissionen war neu für die meisten Nutzer:innen. 15 der 20 Befragten stimmten der Aussage mit sechs oder sieben (von sieben Punkten) zu, dass sie durch die Nutzung der Installation gelernt haben, dass die Nachfrage des globalen Nordens auch für CO₂-Emissionen in Entwicklungs- und Schwellenländern verantwortlich ist. 14 der Befragten gaben mit sechs oder sieben (von sieben Punkten) an, dass Länder auf Basis nachfragebasierter Emissionen statt territorial basierter Emissionen bewertet werden sollten. Die Auswertung des UEQ-S zeigte im Vergleich mit dem Benchmark sehr hohe Ergebnisse der „Overall – Experience“ von 2,08. Die hedonische Qualität lag mit einem Durchschnittswert von 2,56 über der pragmatischen Qualität mit 1,58. Die qualitative Befragung nach den Bloom'schen Ebenen zeigte, dass der zugrundeliegende Inhalt der Visualisierung auf der Ebene des Wissens und Verstehens erkannt wurde („je größer der Hügel, desto größer die Emissionen“). Auch auf den höheren Taxonomiestufen der Analyse, Synthese und Evaluation wurden die nachfragebasierten Emissionswerte der Länder erkannt und die Verantwortung dieser Länder im neuen Kontext evaluiert („2018 – die Vereinigten Staaten sinken – haben aber trotzdem eine erhöhte Nachfrage im Gegensatz zur Produktion“). Beobachtungen im Kontext der Ausstellung zeigten, dass die Berührung der Länder teilweise nicht sofort als Funktion erkannt wurde. Die Gestaltung der Installation wurde überwiegend ansprechend wahrgenommen und der vermittelte Überblick zu produktionsbasierten und nachfragebasierten Emissionen positiv bewertet.

4 DISKUSSION

Durch den Einsatz der Installation konnten Hinweise auf einen Lerneffekt beobachtet werden, obwohl die Nutzer:innen zum Großteil bereits darauf achten, einen nachhaltigen Lebensstil zu führen. Die entwickelte Ästhetik und Interaktion mit der Installation aktivierten die Besucher:innen, die Daten zu erkunden, zu analysieren und

zu interpretieren. Die geringeren hedonischen als pragmatischen Wertungen der Nutzererfahrung könnten durch die teilweise nicht intuitiv erkannte Funktion der Berührung erklärt werden. Zudem erläuterten einige Besucher:innen ihre Vorsicht gegenüber den ausgestellten Exponaten der Ausstellung. Verbesserungsmöglichkeiten bestehen in der intuitiveren Gestaltung dieser Funktion, anstelle eines Anleitungstextes wird eine Erklärung am Exponat selbst durch Projektion verfolgt. Natürlich bildet die kleine, recht homogene Gruppe der Nutzer:innen keinen Querschnitt der Gesellschaft ab, weshalb die Installation an einer größeren und diverseren Gruppe auf Verständnis getestet werden soll. Für die voll funktionsfähige Nutzung der Installation müssten weitere Länder über mehrere Jahre abgebildet werden. Erweiterte Funktionen könnten darin liegen, konkrete Handelsflüsse zu integrieren und aufzuzeigen, welche Länder Güter bestimmter Sektoren in einem ausgewählten Zeitraum importieren oder exportieren.

Auf Basis der ersten Ergebnisse bietet die Installation Footprints Without Borders mit dem Konzept einer dreidimensionalen Weltkarte als tangible Benutzeroberfläche einen alternativen und wirkungsvollen Ansatz, über ausgelagerte Emissionen zu informieren. Das prototypisch umgesetzte und mit vier Methoden getestete Konzept fördert das Verständnis und den gesellschaftlichen Diskurs darüber, Verantwortung für Emissionen zu übernehmen, die außerhalb der eigenen Grenzen entstehen.

REFERENCES

- [1] There Is No Planet B. Ars Electronica. Abgerufen März 14, 2022 von <https://ars.electronica.art/center/de/exhibitions/there-is-no-planet-b/>
- [2] Alyxander Burns, Cindy Xiong, Steven Franconeri, Alberto Cairo, and Narges Mahyar. 2020. How to evaluate data visualizations across different levels of understanding. 2020 IEEE Workshop on Evaluation and Beyond - Methodological Approaches to Visualization (BELIV), 19–28. DOI: <https://doi.org/10.1109/beliv51497.2020.00010>
- [3] Matthew Thomas Clement, Andrew Pattison, and Robby Habans. 2017. Scaling down the “Netherlands Fallacy”: a local-level quantitative study of the effect of affluence on the carbon footprint across the United States. *Environmental Science & Policy* 78, 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.09.001>
- [4] Paul Ekins. 2004. Step changes for decarbonising the energy system: research needs for renewables, energy efficiency and nuclear power. *Energy Policy* 32, 1891–1904. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.03.009>
- [5] Michael S. Horn. 2018. Tangible Interaction and Cultural Forms: Supporting Learning in Informal Environments. *Journal of the Learning Sciences* 27, 632–665. DOI: <https://doi.org/10.1080/10508406.2018.1468259>
- [6] Elisabeth T. Isaksen and Patrick A. Narbel. 2017. A carbon footprint proportional to expenditure - A case for Norway? *Ecological Economics* 131, 152–165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.08.027>
- [7] Diana Ivanova, Konstantin Stadler, Kjartan Steen-Olsen, Richard Wood, Gibran Vita, Arnold Tukker, and Edgar G. Hertwich. 2015. Environmental Impact Assessment of Household Consumption. *Journal of Industrial Ecology* 20, 526–536. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12371>
- [8] Klaus Konrad. 2010. Lautes Denken. *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*, 476–490. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-531-92052-8_34

- [9] Connie Malamed. 2015. *Visual Design Solutions*. John Wiley & Sons. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119153801>
- [10] Donald A. Norman. 2004. *Emotional design: Why we love (or hate) everyday things*. Basic Civitas Books.
- [11] Carbon dioxide emissions embodied in international trade (2021 ed.). OECD.Stat. Abgerufen März 14, 2022 von https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=IO_GHG_2021
- [12] Juudit Ottelin, Sanna Ala-Mantila, Jukka Heinonen, Thomas Wiedmann, Jack Clarke, and Seppo Junnila. 2019. What can we learn from consumption-based carbon footprints at different spatial scales? Review of policy implications. *Environmental Research Letters* 14, 093001. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2212>
- [13] Ken Peffers, Tuure Tuunanen, Marcus A. Rothenberger, and Samir Chatterjee. 2007. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems* 24, 45-77. DOI: <https://doi.org/10.2753/mis0742-1222240302>
- [14] Glen P. Peters and Edgar G. Hertwich. 2008. CO2 Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy. *Environmental Science & Technology* 42, 1401-1407. DOI: <https://doi.org/10.1021/es072023k>
- [15] Glen P. Peters, Jan C. Minx, Christopher L. Weber, and Ottmar Edenhofer. 2011. Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, 8903-8908. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1006388108>
- [16] Sebastian Petsch, Subhrajit Guhathakurta, Luc Heischbourg, Kerstin Müller, and Hans Hagen. 2011. Modeling, Monitoring, and Visualizing Carbon Footprints at the Urban Neighborhood Scale. *Journal of Urban Technology* 18, 81-96. DOI: <https://doi.org/10.1080/10630732.2011.648436>
- [17] Martin Schrepp, Andreas Hinderks, and ThomaschewskiJoerg. 2017. Design and Evaluation of a Short Version of the User Experience Questionnaire (UEQ-S). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence* 4, 103-108. DOI: <https://doi.org/10.9781/ijimai.2017.09.001>
- [18] Per Espen Stoknes. 2014. Rethinking climate communications and the “psychological climate paradox”. *Energy Research & Social Science* 1, 161-170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.03.007>
- [19] Project Overview. Global Carbon Atlas. Abgerufen März 14, 2022 von <http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/project-overview>
- [20] Dennis West, Bohdana Allman, Enoch Hunsaker, and Royce Kimmons. 2022. *Visual Aesthetics*. Abgerufen Juni 13, 2022 von https://edtechbooks.org/studentguide/visual_aesthetics/pdf_router/print