

Abstract

Urban life has proven to be a significant originator of environmental pressures. Cities not only contribute to air pollution, climate change, and resource scarcity but they are directly affected by the negative consequences of modern lifestyles. However, city managers struggle to meet operational and environmental needs. Although sustainable urban development is a well-established research field, current methods still have their flaws when it comes to estimating the environmental performance of a city, that is, lacking either a multi-impact or holistic point of view, and not considering the influence of local governments. This thesis aims to bridge the gap between an administrative reality and environmental science. The starting point is with the organizational life cycle assessment (OLCA), which was identified as a promising candidate to overcome most of the methodological constraints. The overall goal of this thesis is to develop a new method for city-scale environmental assessments incorporating OLCA. To meet this goal, three research questions were defined, addressing three focus areas: 1. The methodology towards city-OLCA, 2. A real-world case study, and 3. A follow-up scenario analysis. This thesis is based on three peer-reviewed journal publications, each dealing with one of these focus areas. City-OLCA was developed by systematically assessing OLCA's capabilities at city scale and accompanying the method's environmental principles with a city framework which recognizes governmental influence. City-OLCA was then applied to a real-world case study of Vienna by creating a parameterized SimaPro model that consists of 14 city activities (e.g., electricity production, transport, food consumption, etc.) and the life cycle phases use and production (including upstream emissions). With this model as baseline, a second case study was carried out, estimating the impact of autonomous driving on Vienna's environmental performance. And so, behavioristic effects from mobility research were reviewed and integrated into the city-OLCA model of Vienna. Finally, a comprehensive scenario analysis discusses these transformational impacts on and their implications for Vienna and city-OLCA, respectively. As a main result, city-OLCA proved feasible to account for activities beyond public service provision (multi-stakeholder) and beyond greenhouse gases (multi-impact). The method includes four assessment levels to recognize the local government's influence: own operations (level 1), contracted services (level 2), indirectly influenced activities (level 3a), and all other activities (level 3b). Vienna's city-OLCA was calculated for 12 impact categories. As an example, Vienna's global warming potential, ozone depletion potential, and marine eutrophication potential for 2016 were 14,686 kt CO₂ eq., 6796 kg CFC-11 eq., and 310 t N eq., respectively. Both "emission hotspots" and the "governmental influence" changed with each impact category. For global warming, 75% of emissions were caused by activities beyond the public service provision. Without food and goods consumption (level 3b), it was still 55%. However, the public sector alone was responsible for over 65% of marine eutrophication. And while global warming was dominated by transport-related emissions, heat production dominated marine eutrophication. In a future scenario with a fully electrified and partly autonomous private transport (shared vehicles), Vienna's total global warming potential could be reduced by 12%. At the same time, the city's emission responsibility increased from 25% to 32%. Transformations at the individual level have shifted emission responsibilities to the local government. Efficient mass transit, electrification of the transport sector, and grid decarbonization have a significantly larger impact on greenhouse gas emissions than autonomous individual transport. The local government may consider investments (or incentives) in the former areas to leverage emission reduction. City-OLCA has shown how to reasonably anticipate a technological trend and could thereby give strategic support to city managers by acknowledging their influence and role as part of the entire urban system. As an LCA-based method, city-OLCA goes beyond current footprint approaches. It prevents burden shifting among impact categories and among life cycle stages. It also helps in defining and analyzing mitigation pathways from a holistic point of view. And, as a management approach, it could help local authorities steer urban investments into the right direction. The question of how to properly quantify the local government's influence remains to be solved. For activities beyond governmental control (i.e., beyond the public service provision), this decision is subjective. Scenario analysis has also shown that environmental aspects are not always decisive in justifying or rejecting an optimization measure. While city-OLCA could very well estimate the global warming potential of autonomous mobility in Vienna, it – in its nature – fails to recognize non-environmental indicators such as congestion or available parking space. However, in some cases, these indicators seem more important than climate change. The organizational perspective of city-OLCA could hence be beneficial for disciplines beyond the environmental domain. With more experience gained from city-OLCA studies, the method could be a valuable follow-up of OLCA's ISO specification (ISO/TS 14072). City-OLCA must undergo a broader proof of concept before becoming eligible for international standards. If this becomes the case, it would significantly increase the reliability and trustworthiness of environmental assessments in cities and contribute to a much-needed development toward harmonization of methodologies.

Zusammenfassung

Urbanes Leben ist ein wesentlicher Verursacher von Umweltbelastungen. Städte tragen nicht nur zu Luftverschmutzung, Klimawandel und Ressourcenknappheit bei. Sie sind auch direkt von den negativen Folgen moderner Lebensstile betroffen. Dennoch fällt es Stadtverwaltungen schwer, betriebliche und ökologische Ansprüche in Einklang zu bringen. Obwohl nachhaltige Stadtentwicklung ein inzwischen gut etabliertes Forschungsgebiet ist, haben derzeitige Methoden noch immer ihre Schwächen. Bei der Umweltbewertung fehlt es entweder an einer ganzheitlichen Sichtweise oder an der Berücksichtigung des Einflusses lokaler Behörden. Diese Arbeit hat zum Ziel, die Lücke zwischen einer Verwaltungsrealität auf der einen und der Umweltwissenschaft auf der anderen Seite zu schließen. Ausgangspunkt ist die Ökobilanzierung von Organisationen (OLCA). Sie wurde als vielversprechender Kandidat zur Überwindung methodischer Herausforderungen identifiziert. In dieser Arbeit soll deshalb eine neue Methode für Umweltbewertungen auf Stadtebene unter Einbeziehung von OLCA entwickelt werden (city-OLCA). Um dieses Ziel zu erreichen, werden drei Forschungsfragen definiert, die drei Schwerpunktbereiche darstellen: 1. Die Methodik für city-OLCA, 2. eine Fallstudie aus der Praxis und 3. eine anschließende Szenarienanalyse. Diese Arbeit basiert auf drei begutachteten wissenschaftlichen Veröffentlichungen, die sich jeweils mit einem der genannten Schwerpunktbereiche befassen. City-OLCA wurde entwickelt, indem die Eignung von OLCA auf Stadtebene systematisch bewertet und mit einem städtischen Modellkonzept verbunden wurde, welches den Einfluss der Verwaltung berücksichtigt. City-OLCA wurde dann anhand einer realen Fallstudie getestet, indem ein parametrisiertes SimaPro-Modell erstellt wurde, das aus 14 städtischen Aktivitäten (z. B. Stromerzeugung, Verkehr, Lebensmittelverbrauch usw.) und den Lebenszyklusphasen Nutzung und Produktion (einschließlich vorgelagerter Prozesse) besteht. Mit diesem Modell als Grundlage wurde eine zweite Fallstudie durchgeführt, in der die Auswirkungen des autonomen Fahrens auf die Umweltleistung Wiens abgeschätzt wurden. Dazu wurden verhaltensökonomische Effekte aus der Mobilitätsforschung ausgewertet und in das city-OLCA-Modell von Wien integriert. Eine umfassende Szenarienanalyse diskutiert schließlich diese transformativen Auswirkungen auf und ihre Implikationen für Wien bzw. city-OLCA. Eines der wesentlichen Ergebnisse war, dass city-OLCA geeignet ist, Aktivitäten über die Erbringung öffentlicher Dienstleistungen (Multi-Stakeholder) und über Treibhausgase (Multi-Impact) hinaus zu berücksichtigen. Vier Bewertungsebenen erfassen den Einfluss der Stadtverwaltung: eigene Aktivitäten (Ebene 1), beauftragte Dienstleistungen (Ebene 2), indirekt beeinflusste Aktivitäten (Ebene 3a) und alle anderen Aktivitäten (Ebene 3b). Wiens city-OLCA wurde für 12 Wirkungskategorien berechnet. Als Beispiel: Wiens Treibhauspotenzial, Ozonabbaupotenzial und marines Eutrophierungspotenzial für das Jahr 2016 betrugen 14.686 kt CO₂-Äq., 6796 kg FCKW-11-Äq. bzw. 310 t N-Äq. Sowohl die Emissions-Hotspots als auch der Verwaltungseinfluss änderten sich mit der Wirkungskategorie. Beim Treibhauspotenzial wurden 75 % der Emissionen durch Aktivitäten jenseits öffentlicher Dienstleistungen verursacht. Ohne Nahrungsmittel- und Warenverbrauch waren es noch immer 55 %. Allerdings war der öffentliche Sektor allein für über 65 % des Eutrophierungspotenzials verantwortlich. Und während das Treibhauspotential durch verkehrsbedingte Emissionen dominiert wurde, dominierte beim Eutrophierungspotenzial die Wärmeerzeugung. In einem Zukunftsszenario mit vollständig elektrifiziertem und teilweise autonomem Individualverkehr (Carsharing) konnte das gesamte Treibhauspotenzial Wiens um 12 % reduziert werden. Gleichzeitig stiegen die Emissionen, die die Stadt zu verantworten hat, von 25 % auf 32 %. Transformationen auf individueller Ebene haben Verantwortlichkeiten auf die Stadtverwaltung verlagert. Ein effizienter öffentlicher Nahverkehr, die Elektrifizierung des Verkehrssektors und die Dekarbonisierung der Netze haben einen wesentlich größeren Einfluss auf die Treibhausgasemissionen als der autonome Individualverkehr. Öffentliche Investitionen (oder Incentivierungen) scheinen in diesen Bereichen am effektivsten zu sein. City-OLCA hat gezeigt, wie man einen technologischen Trend angemessen antizipieren kann. Die Methode könnte Stadtverwaltungen dahingehend unterstützen, indem sie ihren Einfluss und ihre Rolle als Teil des gesamten städtischen Systems würdigt. Als Ökobilanz-basierte Methode geht city-OLCA über die derzeitigen Fußabdruck-Ansätze hinaus. Sie vermeidet Problemverlagerungen zwischen Wirkungskategorien und Lebenszyklusphasen und hilft bei der Definition und Analyse von Maßnahmen zur Emissionsminderung aus einer ganzheitlichen Sichtweise. Als Managementansatz könnte sie lokalen Behörden helfen, städtische Investitionen in diese Richtung zu lenken. Die Frage, wie der Einfluss der lokalen Verwaltungen angemessen quantifiziert werden kann, muss noch abschließend geklärt werden. Bei Aktivitäten, die sich der staatlichen Kontrolle entziehen (d.h., die über die Erbringung öffentlicher Dienstleistungen hinausgehen), ist diese Entscheidung in gewisser Weise subjektiv. Die Szenarienanalyse hat auch gezeigt, dass Umweltaspekte nicht immer ausschlaggebend für die Rechtfertigung oder Ablehnung einer Optimierungsmaßnahme sind. Während city-OLCA das Treibhauspotenzial von autonomer Mobilität in Wien sehr gut abschätzen kann, lässt die Methode (ihrem Wesen nach) nicht-umweltbezogene Indikatoren wie Staus oder Parkraum außer Acht. In manchen Fällen scheinen diese Indikatoren jedoch wichtiger zu sein als das Treibhauspotenzial. Die organisatorische Perspektive von city-OLCA könnte daher auch für andere Disziplinen als den Umweltbereich von Interesse sein. City-OLCA könnte ein wertvoller Nachfolger der ISO-Spezifikation für OLCA (ISO/TS 14072) sein. Bevor die Methode jedoch für internationale Standards in Frage kommt, muss ein umfassender Konzeptnachweis durch weitere Studien erfolgen. Wenn dies der Fall ist, könnte city-OLCA die Zuverlässigkeit und Vertrauenswürdigkeit von Umweltbewertungen in Städten deutlich erhöhen und so zu einer dringend benötigten Entwicklung in Richtung Methodenharmonisierung beitragen.