

DISS. ETH NO. 21002

**Methodologies for the evaluation of water use related impacts on
biodiversity within Life Cycle Assessment**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

FRANCESCA VERONES

MSc ETH in Environmental Engineering

born on 30 May 1984

citizen of Bern and Eggwil, BE and Gemona, Italy

accepted on the recommendation of

Prof.Dr. Stefanie Hellweg, examiner

Prof. Dr. Assumpció Antón Vallejo, co-examiner

Prof. Dr. Olivier Jolliet, co-examiner

Dr. Stephan Pfister, co-examiner

2013

Abstract

The availability and consumption of water, and its impacts on human and ecosystem well-being, are topics of high public interest and concern. For example, the United Nations declared 2005-2015 the “Freshwater for Life” decade, and 2011-2020 the “Decade for Biodiversity”. In Life Cycle Assessment (LCA), large advances in the inclusion of water issues have been made during the past few years, and several methodologies have been developed for taking the impacts of water use on human health and ecosystem quality into account. However, water-related impacts on wetlands, fragile ecosystems with high biodiversity, are completely missing in LCA. Neither water consumption (quantitative issues) nor water quality issues have been addressed. This thesis aims to make a substantial contribution towards the consideration of quantitative and qualitative water-related impacts on wetlands and waterbodies within LCA.

Chapters 2 and 3 address the impact of water consumption on wetlands of international importance. These are the wetlands listed under the Ramsar Convention, an agreement which aims to foster the wise use of wetlands. These chapters distinguish between surface water- and groundwater-fed wetlands. For both types, we developed fate factors, indicating the loss in wetland area due to the consumption of one cubic meter of water. We subsequently calculated effect factors for the impact of the loss of these areas on biodiversity, including waterbirds, non-residential birds, reptiles, amphibians and water-dependent mammals. Fate and effect factors were then combined to create characterization factors for biodiversity loss due to water consumption. Each wetland is fed from its own catchment of either surface water or groundwater, such as an upstream portion of the major watershed, or an aquifer. Any water consumption within the entire catchment area of the wetland leads to an impact on the critical habitat of the wetlands. The developed CFs are thus applicable on a large scale, and not just on the individual wetland area. In areas where several wetland catchments overlap, CFs are additive, because changes in water quantity affects multiple wetlands. Global maps with CFs for surface and groundwater consumption are provided, and can be used as a screening methodology for wetlands of international importance.

Even though large scale methods are easy to use and apply, they can never deliver as precise results as is possible in a local case study. As is shown in chapter 4, water consumption in wetlands can lead to counterintuitive results, which are not visible at global level. In the case study in chapter 4, the agricultural water uses actually lead to a growth of the wetland in question, despite being situated in a hyper-arid region. Although only negative impacts were expected, irrigation recharged the aquifer that fed the wetland by increasing the flux from surface to groundwater.

Water-related impacts must be understood in relation to the other impacts assessed within LCA. In chapter 5, a study on evaluating the impacts from agricultural production in the same case study region is able to place the importance of the impact of water consumption in

relation to impacts from agricultural land use, machinery, transport, and fertilizer and pesticide use. Chapters 4 and 5 highlight the high potential of case studies for learning about and understanding the local peculiarities which is missed with a global study. If global approaches show the large importance of a particular area, local approaches should then be applied, in order to accurately and more comprehensively catch all relevant local impacts.

In chapters 2 to 4, impacts from water consumption predominated. However, other water quality issues, which are not currently part of LCA are receiving increased attention. One of these issues is the increase in salinity due to the overpumping of aquifers, especially in coastal freshwater bodies, and subsequent intrusion of saltwater and diminished freshwater inflow. An exploratory case study on this issue has been conducted in a wetland of international importance in southern Spain and is presented in chapter 6. We show that these impacts can be as relevant as many established impact categories, highlighting the need of furthering impact assessment methodologies for salinity in order to cover larger geographical areas.

Another aspect of water quality not currently accounted for in LCA is the impact of increased water temperature. We performed an exploratory case study, presented in chapter 7. We investigated the impact of cooling water discharges from a nuclear power plant on aquatic biodiversity in the Aare and Rhine rivers. Even though the impacts were not relevant on a yearly time scale, they can be quite important on hot summer days.

While some parts of the thesis, like the methodology presented in chapters 2 and 3, is readily applicable on a global level, more research is needed in emerging topics such as salinity and thermal pollution. With further efforts we can be confident that the coverage of impacts related to wetlands and water-related ecosystems in LCA will continue to steadily improve.

Zusammenfassung

Die Verfügbarkeit und der Verbrauch von Wasser für menschliche Gesundheit und Ökosysteme stehen heutzutage im Fokus des allgemeinen Interesses. Die Vereinten Nationen haben sowohl das Jahrzehnt „Water for Life“ (2005-2015), wie auch die Dekade für Biodiversität (2011-2020) ausgerufen, was die Wichtigkeit von Wasser- und Biodiversitätsthemen unterstreicht. Die methodische Entwicklung der Ökobilanz machte in den letzten Jahren grosse Fortschritte im Hinblick auf die Berücksichtigung von wasserverursachten Umweltschäden. So sind verschiedene Wirkungsabschätzungsmethoden entwickelt worden, die Auswirkungen von Wassernutzungen auf die menschliche Gesundheit oder die Qualität von Ökosystemen quantifizieren. Hingegen sind die Auswirkungen von Wassernutzung auf Feuchtgebiete, sehr artenreiche aber oft auch sehr fragile Ökosysteme, heutzutage noch nicht Teil von Ökobilanzen, obwohl sowohl Wasserkonsum als auch eine Beeinträchtigung der Wasserqualität zu Umweltschäden führen können. Diese Doktorarbeit hat sich zum Ziel gesetzt, einen substantiellen Beitrag für die Berücksichtigung der Auswirkungen von Wassernutzung auf die Biodiversität in Feuchtgebieten und Gewässern zu leisten.

Kapitel 2 und 3 beschäftigen sich mit den Auswirkungen des Wasserverbrauchs auf solche Feuchtgebiete, welche gemäss der Ramsar Konvention, einer Konvention für die nachhaltige Nutzung von Feuchtgebieten, von internationaler Bedeutung sind. In der vorgelegten Arbeit wird zwischen Feuchtgebieten, die von Oberflächenwasser gespeisen werden und solchen, die vom Grundwasser abhängig sind, unterschieden. Für beide Typen wurde im Rahmen der „Fate“-Analyse zunächst die Flächenverminderung des Feuchtgebiets pro Kubikmeter konsumierten Wassers berechnet. Anschliessend wurden pro verlorene Flächeneinheit die artenvermindernden Effekte auf die Taxa Wasservögel, Zugvögel, Amphibien, wasserabhängige Säugetiere und Reptilien quantifiziert. Die Fate- und Effektanalyse wurde schliesslich in Charakterisierungsfaktoren (CF) zusammengefasst, welche den potentiellen Biodiversitätsverlust pro Kubikmeter konsumiertem Wasser angeben. Jedes Feuchtgebiet hat sein individuelles Wassereinzugsgebiet, sei es ein Teil des flussaufwärts gelegenen Einzugsgebiets bei Speisung durch Oberflächenwasser oder ein Teil eines Aquifers bei einer Grundwasserspeisung. Jeder Wasserverbrauch im Einzugsgebiet führt zu einem Schaden im Feuchtgebiet selber. In Gebieten, wo mehrere dieser Einzugsgebiete überlappen, werden die CFs aufsummiert, da mehrere Feuchtgebiete betroffen sind. Die CFs werden als globale Karten für den Verbrauch von Oberflächen- und Grundwasser zur Verfügung gestellt. Sie können zum Abschätzen der Auswirkungen des Wasserverbrauchs in Feuchtgebieten von internationaler Bedeutung verwendet werden.

Globale Methoden sind einfach anwendbar, können jedoch nie einen so präzisen Einblick liefern wie lokale Fallstudien. In Kapitel 4 wird gezeigt, dass Auswirkungen von Wasserkonsum positiv sein können, was der gängigen Meinung widerspricht. In der präsentierten Studie hat landwirtschaftliche Oberflächenwassernutzung zwar negative Effekte auf das Flusssystem, jedoch einen positiven Einfluss auf das untersuchte

Feuchtgebiet, obwohl es in einer hyperariden Klimazone liegt. Um Auswirkungen von Wasserkonsum in eine Beziehung zu anderen Umweltauswirkungen in Ökobilanzen zu setzen, werden in Kapitel 5 die regionalen Umweltauswirkungen von landwirtschaftlicher Produktion berechnet und die Auswirkungen des Wasserverbrauchs mit denjenigen von landwirtschaftlicher Landnutzung, Einsatz von Maschinen, Transport, sowie dem Einsatz von Düngern und Pestiziden verglichen. Diese Resultate betonen die Wichtigkeit von lokalen Studien, um lokale Besonderheiten sichtbar zu machen. Da das mit globalen Methoden nicht möglich ist, sollten in Fällen mit hoher Relevanz in der globalen Analyse lokale Ansätze für eine Vertiefung angewendet werden.

Andere Indikatoren für Wasserqualität, die momentan noch nicht Teil einer Ökobilanz sind, erfahren zunehmend Aufmerksamkeit. Ein solcher Indikator ist der Anstieg des Salzgehaltes, der beispielsweise durch ein Überpumpen eines Aquifers in küstennahen Gewässern verursacht werden kann. Eine erste Fallstudie für diese Art von Auswirkung wurde in einem Feuchtgebiet von internationaler Bedeutung im Süden Spaniens durchgeführt (Kapitel 6). Dabei konnte festgestellt werden, dass Auswirkungen von Salzgehalten sehr wichtig für die Biodiversität im Feuchtgebiet sein können. Eine zukünftige Ausweitung dieser Fallstudie auf grössere geographische Regionen ist deshalb von grosser Relevanz.

Eine weitere, momentan in der Ökobilanz nicht berücksichtigte Auswirkung auf Wasserqualität, ist diejenige der steigenden Wassertemperaturen aufgrund von Wärmeemissionen technischer Prozesse. In einer Fallstudie (Kapitel 7) wurden die Auswirkungen von ansteigenden Wassertemperaturen wegen Kühlwassereinleitungen aus einem Kernkraftwerk auf aquatische Biodiversität von Aare und Rhein untersucht. Im Jahresdurchschnitt sind diese Auswirkungen von kleiner Bedeutung, können an heissen Sommertagen jedoch durchaus relevant werden.

Während gewisse Teile dieser Dissertation, wie die Methode aus den Kapiteln 2 und 3 bereits auf globaler Ebene anwendbar sind, beziehen sich die neuen Modelle zur Quantifizierung der Auswirkungen von steigenden Salzgehalten und thermischen Emissionen auf bestimmte Regionen und müssten vor einer grossflächigen Anwendung in weiterführender Forschung global parametrisiert werden. Mit weiterer, zukünftiger Forschung kann der Einbezug von Umweltschäden durch Wassernutzung auf Feuchtgebiete und Gewässer in Ökobilanzen ständig verbessert werden.