

RESUMÉ

Denne ph.d.-afhandling undersøger principper for cirkulær materialeøkonomi i byggeri. Dette gøres ved at kortlægge eksisterende viden om design for adskillelse i et litteraturstudie, der anvendes til at udvikle *adskillelsens tektonik* som en ny teoretisk position indenfor tektonikkens arkitekturteoretiske felt. Dette anvendes til at informere undersøgelsesdesignet for afhandlingens casestudier, som undersøger de styrende principper for samling og adskillelse i to nutidige byggesystemer til etagebyggeri.

Motivationen for projektet udspringer af et ønske om at kunne bidrage med viden til fordel for grøn omstilling af byggeriet. Cirkulær materialeøkonomi er en model for at holde ressourcer i anvendelse længst mulig og at fastholde brugsværdien på højest mulige niveau gennem genbrug og genanvendelse af byggematerialer, hvilket har betydning for at nedbringe byggeriets miljøpåvirkninger og dets forbrug af jomfruelige materialer. Omstilling af byggeriet fra en lineær model, hvor bygninger nedrives og resterne køres på losseplads, til en cirkulær model, hvor hele bygningsdele, elementer og materialer bedre kan genbruges, kræver et alternativ til destruktiv nedrivning.

Design for adskillelse er en central strategi, fordi den beskriver principper for materialer, konstruktioner, samlinger og processer, som faciliterer ikke-destruktiv demontering. I den eksisterende viden på området findes modeller, der forklarer de kredsløb som genbrugte og genanvendte byggematerialer indgår i. Og der findes tjeklister, guidelines og vurderingsskemaer til kvalitative bedømmelser, som kan anvendes i designfaser. Litteraturstudiet viser at trods design for adskillelses relativt enkle og tekniske karakter (set i relation til langt mere komplekse designparadigmer som fx *design for bæredygtighed*) er det ikke udbredt anvendt i nutidigt byggeri. Der er en mangel på praktisk viden om emnet, som afhandlingen søger at uddybe gennem casestudierne. For at indplacere design for adskillelse i arkitekturens teoretiske domæne, undersøges hvordan *adskillelse* kan forstås tektonisk. Ved at lade principperne i design for adskillelse være begrebsdannende for en ny anskuelse af de grundlæggende arkitektoniske discipliner, der handler om at danne rum ved at samle, sammenstille og sammensætte materialer, formuleres *adskillelsens tektonik* som teoretisk position. At man gennem tektonikken kan forstå og fortolke hvordan bygninger er udtænkt, udformet og udført udvides til også at kunne anvendes som forståelsesramme for hvordan bygninger kan adskilles.

I afhandlingens casestudie, undersøges design for adskillelse i byggesystemerne *WoodStock* fra Tegnestuen Vandkunsten og *LifeCycle Tower* fra CREE Buildings. Først analyseres hver case ud fra en forståelse af bygningerne som bestående af lag, der har forskellige levetider. På baggrund af dette udpeges et knudepunkt, hvor flere af bygningens lag mødes i en samling, til nærmere analyse. Fokus er på adskillelse af klimaskærmen (det bårne) fra den bærende konstruktion (det bærende). Her gennemgås tekniske og principielle aspekter af knudepunktet, som har betydning for at kunne adskille hele eller dele af bygningerne og herudfra udledes de styrende tektoniske principper for samling og adskillelse i de to cases. Adskillelse af *WoodStock* viser sig at følge principperne for en *påklædningsdukke* og *LifeCycle Tower* følger principperne i et *Lego*-system. Afslutningsvist diskuteres hovedpointerne på tværs af de to cases for at tydeliggøre hvilke perspektiver, der ligger i *adskillelsens tektonik* som forståelsesramme for både frembringelse og analyse af arkitektur.

SUMMARY

This PhD dissertation examines principles for a circular material economy in construction. This is done by discerning significant positions within the existing knowledge about design for disassembly through a literature review and by applying the concept of disassembly to the architectural theoretical field of tectonics in order to develop *tectonics of disassembly* as a novel theoretical position. This in turn informs the research design of the case study, where the governing principles for assembly and disassembly in two contemporary building systems for multi-story construction are examined.

The motivation for the project arises from wanting to be able to contribute knowledge in favor of a transition of the construction industry towards climate change mitigation. Circular economy is a model for keeping resources in use as long as possible and for maintaining the use value at the highest possible level through reuse and recycling of building materials, which is important for reducing the negative environmental impact of construction and its consumption of virgin materials. Transitioning the construction industry from following a linear model, where buildings are demolished and the remains are taken to landfill, to a circular model, where entire building parts, elements and materials can be better reused, requires an alternative to destructive demolition.

Design strategies for disassembly are central to this, because they prescribe principles for materials, constructions, assemblies, and processes that facilitate non-destructive disassembly as an alternative to demolition. The existing knowledge in this field contains models explaining the flows of reuse and recycling of construction materials, and checklists, guidelines and assessment forms for qualitative assessments that can be used in design phases. The literature review shows that despite design for disassembly's relatively simple and technical nature (seen in relation to far more complex design paradigms such as *design for sustainability*), it is not widely used in contemporary construction. There is a lack of knowledge on the subject in the practicing of architecture, which is elaborated on through the case studies. Developing a tectonic understanding of disassembly is undertaken in order to place design for disassembly within the theoretical domain of architecture. The tectonic discourse of understanding and interpreting the conceiving, designing, and construction of buildings, is proposed to embrace the ideation of disassembly of buildings. By doing so, principles of design for disassembly are assumed to be better applicable in architectural practice.

In the case studies, design for disassembly is examined in the building systems *WoodStock* from Tegnestuen Vandkunsten and *LifeCycle Tower* from CREE Buildings. Firstly, each case is analyzed from the perception that the building consists of layers with varying lifespans. Based on this, a joint displaying the governing assembly principle in the building system is identified for further analysis, with a focus on the disassembly of the *skin* from the load-bearing *structure*, a set of governing tectonic principles for disassembly are derived from the two cases. The study shows that disassembly of *WoodStock* follows the logic of a *paper doll*, whereas disassembly of *LifeCycle Tower* follows the principles of the *Lego* system. These principles are important for the separation of parts and of the building as a whole. Followingly, the main points across the two cases are discussed to clarify the perspectives that lie in *tectonics of disassembly* as a framework of understanding both the production and analysis of architecture.

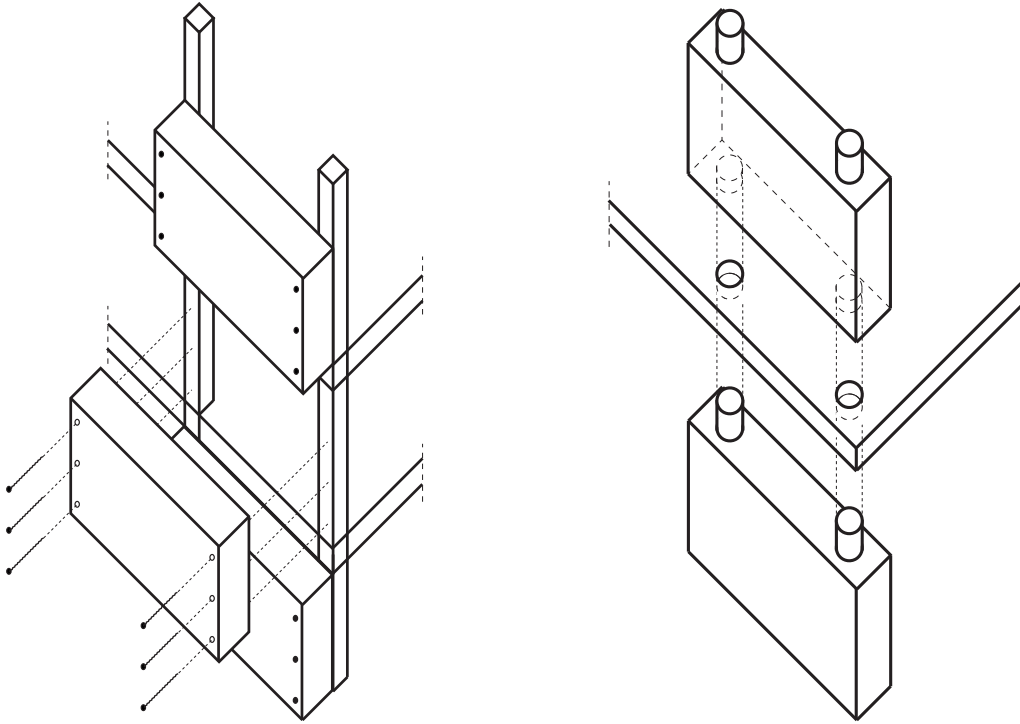


Fig. Principiel tegning af de styrende adskillelsesprincipper påklædningsdukken (til højre) og Lego (til venstre) som udledt af casestudierne
Principal drawing of the governing principles of disassembly as found in the case studies showing the *paper doll* (to the left) and the *Lego* system (to the right).