

# Rückbaubare Verbindungen für den Ingenieurholzbau

Dr. Lisa Ottenhaus  
The University of Queensland  
Brisbane, Australien







Biosphäre über, wo sie durch Recycling «kaskadiert» werden [16]. Größere Holzelemente werden zu Verbundholz wiederverarbeitet, zusammengesetzt aus kleineren Segmenten oder Furnieren, wie auch Spanplatten, Faserplatten und MDF. Sobald eine Kaskadierung nicht mehr möglich ist, kann Energie durch Müllverbrennungsanlagen verwertet werden. Dies setzt allerdings den gespeicherten Kohlenstoff frei. Deponierung ist weniger wünschenswert und damit die letzte Option.

Dennoch ist Verlängerung der Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten eine der effektivsten Nachhaltigkeitsstrategien [17]. Durch «Design for Adaptability» (DfA) (Design für Anpassungsfähigkeit) stellen sich anpassungsfähige Gebäude auf verschiedene Bedürfnisse ihrer Bewohner ein und passen sich unterschiedlichen Umwelt- und Kontextbedingungen an [18], [19]. Schmidt und Austin [20] definieren hierzu sechs Kategorien der Anpassungsfähigkeit: anpassbar, vielseitig, nachrüstbar, wandelbar, skalierbar und beweglich. Flexible Gebäude bieten Bewohnern die Möglichkeit, den Wohnraum selbst zu verändern, etwa durch Trennwände oder vielseitige Nutzung des gleichen Raums [21]. Adaptierbare Gebäude werden hingegen in der Größe angepasst, etwa durch Ausbau oder Rückbau, und können auch verlagert werden. Räumliche Anpassungsfähigkeit erfordert daher einen anderen Planungsansatz, bei dem zukünftige Veränderungsszenarien bei der ursprünglichen Planung berücksichtigt werden [21]–[24]

Brand's Konzept eines Gebäudes als «Shearing Layers of Change» bietet eine Grundlage für das DfA [25]. Abbildung 2 stellt dar, wie ein Gebäude in wandelbare Funktionsschichten unterteilt wird, die unterschiedliche Lebensspannen von Gebäudekomponenten berücksichtigen.

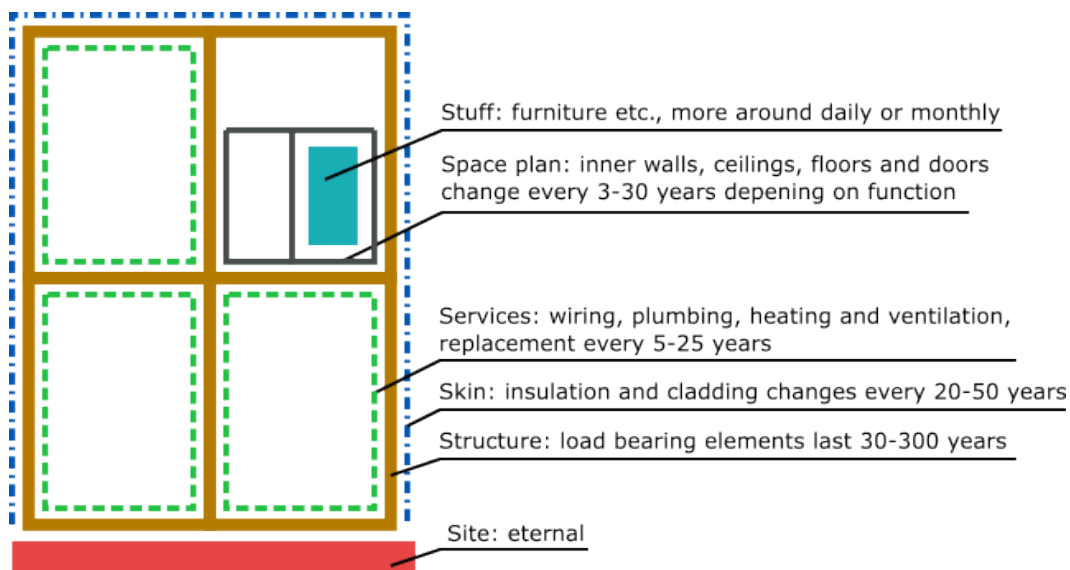


Abbildung 2: Wandelbare Gebäudeschichten [26], basierend auf Brand [25] und Nordby [27].

Die Planung eines Gebäudes in Schichten ermöglicht die Veränderung und Anpassung an neue Funktionen und Anforderungen. Gleichzeitig werden Materialabfälle vermieden, die bei konventionellen Bauprozessen anfallen [28]. Räumliche Anpassungen werden durch reversible bzw. rückbaubare Verbindungen ermöglicht, indem modulare, standardisierte Bauteile verbunden oder demontiert werden [19], [29]. Die Vorfertigung bietet eine ideale Plattform für DfA, da der Entwurfsprozess bereits vor der Montage abgeschlossen ist [30], [31]. Aus Sicht der Tragwerksplanung werden dazu wiederverwendbare Tragwerkskomponenten mit reversiblen Verbindungen befestigt, welche unabhängig von anderen Funktionsschichten demontiert werden können. In der Praxis bedeutet dies, dass z.B. die Bauphysik und Haustechnik vom Tragwerk getrennt sind. Reversible Verbindungen erleichtern außerdem die Wartung und Reparatur im Rahmen der Kreislaufwirtschaft, wie bereits zuvor erwähnt.

## 2. Rückbaubare Verbindungen

### 2.1. Historie

Zimmermannsverbindungen sind eine der ältesten Holzverbindungen und basieren hauptsächlich auf Druck, Scherung und Reibung. Letztere stellt hierbei oft eine Herausforderung für die Reversibilität dar, besonders im Zusammenhang mit Schwellen und Kriechen. Allerdings wurden im Laufe der Zeit anspruchsvolle Detaillösungen entwickelt, und es gibt viele historische Beispiele von Gebäuden, die teilweise oder vollständig demontiert und wieder zusammengesetzt wurden [32].

Einfache Beispiele für reversible Zimmermannsverbindungen finden sich in vielen Blockhäusern, während kompliziertere Lösungen in asiatischen Tempeln eingesetzt wurden. Tatsächlich beruhen viele historische Tempel und Pagoden auf dem Ersatz von Verschleißholzteilen, die durch Umwelteinflüsse, Abnutzung oder seismische Einwirkungen beschädigt werden [33], [34]. Allerdings basiert die Tragfähigkeit traditioneller Zimmermannsverbindungen oft auf Druck oder sogar Zug quer zur Faser, wodurch das gesamte Tragwerksverhalten durch die Steifigkeit und Duktilität einzelner Verbindungen beeinflusst wird [35], [36]. Dennoch führt die CNC-Technologie derzeit zu einer Renaissance von Zimmermannsverbindungen [37]–[39], die auch im großen Maßstab präzise Holzkonstruktionen ermöglichen. Fallbeispiele wie z.B. die Knotenpunkte des Tamediagebäudes in Zürich [40] oder die Zapfenverbindungen der Dalston Lane [41] sind Gegenstand aktueller Forschung [42], [43]. Hierbei zeigt sich, dass die Verstärkung traditioneller Zimmermannsverbindungen ein verbessertes Tragverhalten bietet [44], [45].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass viele zimmermannsmäßige Verbindungen zwar prinzipiell reversibel sind, die Steifigkeit, Duktilität und Festigkeit jedoch oft nicht den Gebrauchstauglichkeits- oder Tragfähigkeitsanforderungen des modernen Holzbaus entsprechen und die Reversibilität durch zeit- und feuchtigkeitsabhängige Dimensionsänderungen zusätzlich beeinträchtigt wird.

### 2.2. Moderne Verbindungen

Moderne rückbaubare Holzverbindungen sind oft vom Zimmermannsbau inspiriert, indem metallische Verbindungssysteme an Holzbauteile geschraubt werden. Oft sind diese Verbindungssysteme allerdings für eine rasche Montage ausgelegt und eignen sich nicht unbedingt für mehrfache Demontagezyklen außerhalb des elastischen Bereiches der Lastverschiebungskurve [46]. Eine Zusammenfassung verschiedener Verbindungssysteme findet sich in Ottenhaus et al. [47]. Hierbei können Verbinder grob in drei Kategorien eingeteilt werden: 1) Verbinder, die in das Stirnholz eines Trägers eingeschraubt werden, welcher an eine Stütze oder Wand angeschlossen wird, 2) Verbinder zwischen Platten- bzw. Scheibenelementen, 3) Verbinder, die den Anschluss von Gewindestangen z.B. zur Bodenverankerung ermöglichen. Einige nachgespannte Tragsysteme mit dissipativen Verbindungselementen eignen sich hier auch zur Ausbildung duktiler Knotenpunkte, da dissipative Elemente im Überlastungsfall ausgetauscht werden können [48], wie z.B. im Trimble Navigations Hauptsitz in Christchurch (Aotearoa Neuseeland), dargestellt in Abbildung 3. Erwähnenswert sind auch hybride Systeme, wie die Holz-Beton-Verbundbauweise, die in der Regel dauerhafte Verbindungen zwischen den Materialien erfordert, um eine volle Verbundwirkung zu erreichen. Holz-Beton-Verbinder mit Rückbaupotenzial sind als Trocken-Trocken-System konzipiert, bei dem eine vorgefertigte Betonplatte vor Ort an das Holzelement angebracht wird. Typischerweise werden Stahl- oder Kunststoffrohre in die Schalung eingebracht, um Hohlräume im Beton zu schaffen, in welchen Schrauben die Verbindung der Betonplatte mit den Holzelementen herstellen [49]–[52]. Allerdings zeichnen sich rückbaubare Holz-Beton-Verbindungen häufig durch eine geringere Verbundwirkung im Vergleich zu dauerhaften Verbindungen aus. Ein alternativer Ansatz wurde von Derikvand und Fink [51]–[53] vorgestellt, bei dem die Schraube mit einer Schutzschicht und einem Deckel umhüllt ist, um den Zugang zur Schraube für die Demontage zu gewährleisten. Ein umfassender Überblick über rückbaubare Holz-Beton-Verbindungen findet sich in Derikvand und Fink [53].



Abbildung 3: Dissipative Gewindestange im Trimble Navigations Hauptsitz, Ötautahi Christchurch, Aotearoa Neuseeland.

### 2.3. Diskussion

Die De- und Remontage von Verbindungen erfordert die Begrenzung von Schäden und Verformungen in den verbundenen Holzbauteilen. Dies kann entweder durch eine rein elastische Bemessung erreicht werden, bei der die Verformungen begrenzt sind, oder durch gezielte Überfestigkeit elastischer Elemente, wobei die Verformung in speziellen duktilen dissipativen Elementen konzentriert ist. Je nach Konfiguration kann ein regelmäßiger Austausch dieser dissipativen Elemente erforderlich sein. Typische Verbindungselemente wie Nägel, Dübel oder Schrauben sind nur begrenzt rückbaubar, während moderne reversible Verbindungssysteme im elastischen Bereich vollständig rückbaubar sind. Allerdings sollte die Reversibilität von Verbindungssystemen unter verschiedenen (Wieder-)Belastungsszenarien untersucht werden, als auch die Tragfähigkeit wiederverwendeter Holzelemente [54].

## 3. Entwicklung eines rückbaubaren Holzleichtbausystems

In Zusammenarbeit mit Fairweather Homes Pty Ltd wurde an der University of Queensland ein rückbaubares Holzleichtbausystem entwickelt (Doktorand Zidi Yan, Leitung Konstruktiv Dr Lisa Ottenhaus, Leitung Bauphysik und Architektur Dr Paola Leardini). Das Projekt besteht aus einem Prototyp, der sich über den Lebenszyklus einer Familie verschiedenen Nutzungsbedingungen anpasst. So besteht das Grundsystem aus einem Raum mit Küchenkonsole und vorgefertigter Badezimmerzelle, welches durch Anbauten erweitert werden kann, wie in Abbildung 4 dargestellt. Sowohl die Anbauten als auch das Grundsystem sind vollständig rückbaubar. Die Entwicklung und Erforschung rückbaubarer Verbindungen als auch die Separierung von Funktionsschichten waren von entscheidender Bedeutung.

Das Projekt beschäftigte sich dementsprechend zunächst mit der Untersuchung existierender Verbindungen, wie z.B. des SHERPA Schwalbenschwanz-Verbinders [55], [56], des SIHGA IdeFix [57] und des SIHGA HobaFix [58] im Kontext der australischen Leichtbauweise [46]. Hierzu wurden die Verbindungen außerhalb des Rahmens ihrer Europäischen Zulassung eingesetzt, insbesondere mit verringerten Schraubenrandabständen. In Anbetracht der Wiederverwendung wurden einige Einschränkungen deutlich, wie z.B. das

Verkleben der Verbindungen durch Schwinden und Kriechen aufgrund von Feuchtigkeitsschwankungen, als auch zu geringe Maßtoleranzen, um Verbinder seriell an der Schmalseite eines Wandpanels einzusetzen [46].

Als Resultat wurde der IdeFix als Verankerungselement zwischen Dachkassette und Stahlpfählen ausgewählt, wobei die Pfähle der temporären Gründung dienen. Weiterhin wurde das Verhalten angeschraubter Zapfenverbindungen untersucht [59]. Diese dienen als Verbindung zwischen der Wandunterseite und der Bodenkassette sowie als Verbindung zwischen den Dachkassettenelementen und dem First. Außerdem wurde in Zusammenarbeit mit SHERPA Connection Systems GmbH ein neuer Wandverbinder entwickelt. Diese Forschungs- und Entwicklungsergebnisse sowie weitere Forschungsergebnisse werden 2024 in der Dissertation von Zidi Yan veröffentlicht.

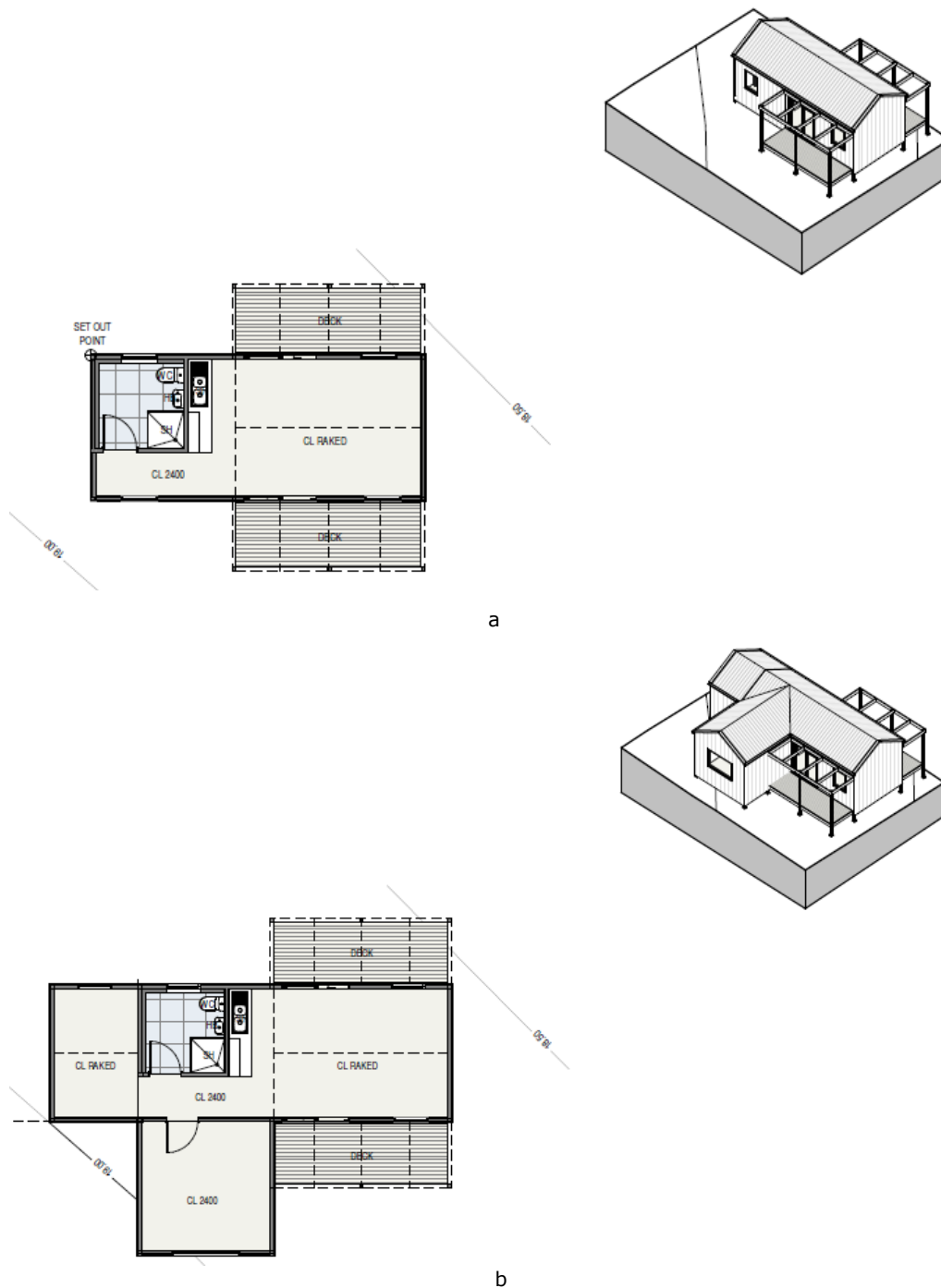


Abbildung 4: Pinjarra Hills Prototyp (ARC Linkage Projekt – Offsite manufacture reimaged for high-performance adaptable housing). a) Grundsystem und b) Ausbau. Mit freundlicher Genehmigung von Fairweather Homes Pty Ltd.

## 4. Zusammenfassung und Ausblick

Rückbaubare Holzverbindungen in Kombination mit separaten Funktionsschichten ermöglichen Anpassungsfähigkeit, Demontage, Wiederverwendung, Reparatur und Wartung.

Hierzu sollten Verbinder im Allgemeinen nur elastisch beansprucht werden, damit verbundene Bauteile keine oder nur sehr geringe Schäden aufweisen. Alternativ können elastische Elemente mit Überfestigkeit bemessen werden und mit duktilen dissipativen Elementen kombiniert werden, die im Falle einer Überlastung leicht ausgetauscht werden können.

Permanente Verformungen wirken sich sowohl auf die Leistung der Verbindung als auch auf die zulässigen Toleranzen aus. Im Allgemeinen sollten sich somit die Verformungen eher auf austauschbare dissipative Stahlelemente als auf Holzelemente konzentrieren. Außerdem können sich Reibung, Schwinden, Kriechen und Dauerhaftigkeitsprobleme (z.B. Korrosion) auf die Rückbaubarkeit auswirken und müssen bei der ursprünglichen Planung berücksichtigt werden.

Die Auswirkung von wiederholten und wechselnden Belastungen auf die Reversibilität von reversiblen Verbindungssystem sollte in Zukunft untersucht werden. Weiterhin sollten wiederholte De- und Remontage und die verbundenen Anforderungen an die Reversibilität erforscht werden.

## 5. Danksagungen

Dieser Beitrag basiert unter anderem auf dem folgenden Open Access Paper: Ottenhaus, Lisa-Mareike, Yan, Zidi, Brandner, Reinhard, Leardini, Paola, Fink, Gerhard and Jockwer, Robert (2023). *Design for adaptability, disassembly and reuse – A review of reversible timber connection systems*. Construction and Building Materials, 400 132823, 132823. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.132823 [47].

Das Forschungsvorhaben an der University of Queensland wurde vom Australian Research Council, Linkage Project LP200301402 «Offsite manufacture reimaged for high-performance adaptable housing», der Faculty of Engineering, Architecture, and Information Technology (EAIT) und der School of Civil Engineering der University of Queensland finanziell unterstützt. Die COST-Action CA20139 – «Holistic design of taller timber buildings» als auch ein Forschungsaustausch im Rahmen des FORMAS Projekts «Roadmap towards adaptability of timber buildings» (Project number 2021-02711) inspirierten die gemeinsame Entwicklung des Open Access Papers mit Robert Jockwer, Reinhard Brandner, und Gerhard Fink.

Die Zusammenarbeit mit Fairweather Homes und SHERPA Connectors GmbH werden dankend anerkannt.

## 6. Literaturverzeichnis

- [1] United Nations, *Paris Agreement*. 2015, pp. 1–25.
- [2] R. Androsevic, M. Brocato, D. Bijedic, and N. Rustempasic, «Life Cycle Assessment as a Tool for Low Waste Building Systems, Case Study Building External Wall,» *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 603, no. 4, 2019, doi: 10.1088/1757899X/603/4/042067.
- [3] McKinsey, «Growth within: a circular economy vision for a competitive europe,» *Ellen MacArthur Foundation*, p. 100, 2015.
- [4] W. Ferdous *et al.*, «Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities,» *Resour Conserv Recycl*, vol. 173, no. December 2020, p. 105745, 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105745.
- [5] European Commission Directorate – General, «EU Construction & Demolition Waste Management Protocol,» *Official Journal of the European Union*, no. June, pp. 1–22, 2016.
- [6] J. Chen, Y. Wang, Q. Shi, X. Peng, and J. Zheng, «An international comparison analysis of CO<sub>2</sub> emissions in the construction industry,» *Sustainable Development*, vol. 29, no. 4, pp. 754–767, 2021, doi: 10.1002/sd.2172.

- [7] R. M. Foster, T. P. S. Reynolds, and M. H. Ramage, «What is tall timber? Towards the formal classification of timber as a material of tall building design,» *WCTE 2018 – World Conference on Timber Engineering*, 2018.
- [8] L. Bejo, «Operational vs. Embodied Energy: a Case for Wood Construction,» *Drvna Industrija*, vol. 68, no. 2, pp. 163–172, 2017, doi: 10.5552/drind.2017.1423.
- [9] N. Ahn, A. Doodoo, M. Riggio, L. Muszynski, L. Schimleck, and M. Puettmann, «Circular economy in mass timber construction: State-of-the-art, gaps and pressing research needs,» *Journal of Building Engineering*, vol. 53, 2022, doi: 10.1016/j.job.2022.104562.
- [10] A. Campbell, «Mass timber in the circular economy: Paradigm in practice?,» *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability*, vol. 172, no. 3, pp. 141–152, 2018, doi: 10.1680/jensu.17.00069.
- [11] ARUP, «The Circular Economy in the Built Environment,» 2016.
- [12] ARUP, «Rethinking Timber Buildings,» p. 100, 2019.
- [13] E. Leising, J. Quist, and N. Bocken, «Circular Economy in the building sector: Three cases and a collaboration tool,» *J Clean Prod*, vol. 176, pp. 976–989, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.12.010.
- [14] Ellen Macarthur Foundation, «Circular economy systems diagram.» 2019. [Online]. Available: <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>
- [15] L.-M. Ottenhaus, «Butterfly Diagram of Circular Building.» 2022. doi: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.21249573.v1>.
- [16] M. S. Taskhiri, H. Jeswani, J. Geldermann, and A. Azapagic, «Optimising cascaded utilisation of wood resources considering economic and environmental aspects,» *Comput Chem Eng*, vol. 124, pp. 302–316, 2019, doi: 10.1016/j.compchemeng.2019.01.004.
- [17] V. Kazulis, I. Muizniece, L. Zihare, and D. Blumberga, «Carbon storage in wood products,» *Energy Procedia*, vol. 128, pp. 558–563, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.009.
- [18] R. Jockwer, Y. Goto, E. Scharn, and K. Crona, «Design for adaption – Making timber buildings ready for circular use and extended service life,» in *WCTE 2020*, 2020. doi: 10.1088/1755-1315/588/5/052025.
- [19] R. Askar, L. Bragança, and H. Gervásio, «Adaptability of buildings: A critical review on the concept evolution,» *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 10, 2021, doi: 10.3390/app11104483.
- [20] R. Schmidt III and S. Austin, *Adaptable Architecture*. Routledge, 2016. doi: 10.4324/9781315722931.
- [21] L. Kuiri and P. Leardini, «Design for Adaptability and Disassembly: Towards Zero Construction Waste in the Australian Housing Sector,» in *1ST International e-Conference on Green & Safe Cities (IeGRESAFE)*, 2022.
- [22] H. Estaji, «A Review of Flexibility and Adaptability in Housing Design,» *International Journal of Contemporary Architecture*, vol. 4, no. 2, pp. 37–49, 2017, doi: 10.14621/tna.20170204.
- [23] J. Till and T. Schneider, *Flexible Housing*. Routledge, 2016. doi: 10.4324/9781315393582.
- [24] A. Friedman, «Design for flexibility and affordability: Learning from the post-war home,» *J Archit Plann Res*, vol. 14, no. 2, pp. 150–170, 1997.
- [25] S. Brand, *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. New York: Viking Press (Penguin Books), 1994. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/How\\_Buildings\\_Learn](https://en.wikipedia.org/wiki/How_Buildings_Learn)
- [26] L.-M. Ottenhaus, «Building Shearing Layers.» 2022. doi: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.21172057.v1>.
- [27] A. S. Nordby, *Salvageability of building materials: Reasons, criteria and consequences regarding architectural design that facilitate reuse and recycling*, vol. PhD, no. April. 2009. [Online]. Available: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:no:ntnu:diva-5426>
- [28] L. Sparandara, M. Werner, A. Kaminsky, L. Finch, and K. Douglas, «Accelerating the Circular Economy Through Commercial Deconstruction and Reuse,» vol. 1st, pp. 1–23, 2019, [Online]. Available: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/google-deconstruction-and-reuse.pdf>
- [29] O. O. Akinade et al., «Waste minimisation through deconstruction: A BIM based Deconstruct ability Assessment Score (BIM-DAS),» *Resour Conserv Recycl*, vol. 105, pp. 167–176, 2015, doi: 10.1016/j.resconrec.2015.10.018.

- [30] M. Aitchison, T. B. Tabrizi, A. Beim, and R. Couper, *Prefab Housing and the Future of Building: Product to Process*, vol. 29, no. 2. 2018. doi: 10.1080/10331867.2019.1590760.
- [31] R. E. Smith, *Prefab Architecture: A guide to modular design and construction*. Joh Wiley & Sons Inc., 2010.
- [32] P. Crowther, «Historic Trends in Building Assembly,» *ACSA/CIB International Science and Technology Conference – Technology in Transition: Mastering the Impacts*, p. 9, 1999, [Online]. Available: <https://eprints.qut.edu.au/2837/1/Crowther-ACSA1999.PDF>
- [33] L. Panoutsopoulou and C. Mouzakis, «Experimental investigation of the behavior of traditional timber mortise-tenon T-joints under monotonic and cyclic loading,» *Constr Build Mater*, vol. 348, no. August, p. 128655, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128655.
- [34] Q. Xie, L. Zhang, Y. Cui, and J. Yao, «Finite Element Analysis on Seismic Performance of Straight Mortise-Tenon Joints of Ancient Timber Structure Buildings,» *2018 World Conference on timber engineering*, 2018.
- [35] T. Tannert, F. Lam, and T. Vallée, «Structural performance of rounded dovetail connections: Experimental and numerical investigations,» *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 69, no. 3, pp. 471–482, Aug. 2011, doi: 10.1007/s00107-010-0459-1.
- [36] F. Bai, Z. Fan, J. Xue, C. Wu, C. Hu, and J. Li, «Experimental study on seismic performance and deformation damage of loose dovetail-tenon joints in ancient timber structures,» *Structures*, vol. 54, no. May, pp. 541–555, 2023, doi: 10.1016/j.istruc.2023.05.059.
- [37] Z. Xin and J. Gattas, «Structural Behaviors of Integrally-Jointed Plywood Columns with Knot Defects,» *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, vol. 21, no. 2, pp. 1–36, 2021, doi: 10.1142/S021945542150022X.
- [38] R. Jockwer, F. Brühl, J. M. Cabrero, U. Hübner, J. Munch-anderssen, and K. Ranasinghe, «Modern Connections in the Future Eurocode 5 – Overview of Current Developments,» *WCTE 2021 – World Conference on Timber Engineering*, 2021.
- [39] M. Flach, O. Baumgartner, and R. Maderebner, «CNC prefabricated modular homes designed and built by students in an experimental site of architecture in France».
- [40] R. Jussel, «Tamediagegebäude Zürich – städtisches Holztragwerk für einen 7-geschossigen Bürobau,» in *18. Internationales Holzbau-Forum 2012*, 2012, pp. 1–11.
- [41] T. Harley, G. White, A. Dowdall, J. Bawcombe, A. Mcrobie, and R. Steinke, «Dalston Lane – The world’s tallest CLT building,» in *WCTE 2016 – World Conference on Timber Engineering*, 2016.
- [42] T. Claus, T. Riehle, W. Seim, and T. Götz, «Interlocking shear wall connections,» in *WCTE 2018 – World Conference on Timber Engineering*, 2018, pp. 1–18.
- [43] J. R. Brown, «Seismic Performance of CLT Core-Wall Systems and Connections.» [Online]. Available: <http://www.civil.canterbury.ac.nz>
- [44] T. Tannert, «Improved performance of reinforced rounded dovetail joints,» *Constr Build Mater*, vol. 118, pp. 262–267, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.038.
- [45] T. Guo, N. Yang, H. Zhou, and S. Wang, «Experimental and Numerical Studies on the Traditional Penetration Mortise–Tenon Connection Reinforced by Self-Tapping Screws,» *Forests*, vol. 13, no. 4, Apr. 2022, doi: 10.3390/f13040513.
- [46] Z. Yan, L. M. Ottenhaus, P. Leardini, and R. Jockwer, «Performance of reversible timber connections in Australian light timber framed panelised construction,» *Journal of Building Engineering*, vol. 61, no. March, p. 105244, 2022, doi: 10.1016/j.jobe.2022.105244.
- [47] L. M. Ottenhaus, Z. Yan, R. Brandner, P. Leardini, G. Fink, and R. Jockwer, «Design for adaptability, disassembly and reuse – A review of reversible timber connection systems,» *Constr Build Mater*, vol. 400, no. July, p. 132823, 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.132823.
- [48] R. Liu and A. Palermo, «Characterization of Filler-Free Buckling Restrained Fuse-Type Energy Dissipation Device for Seismic Applications,» *Journal of Structural Engineering*, vol. 146, no. 5, pp. 1–13, 2020, doi: 10.1061/(asce)st.1943-541x.0002591.
- [49] E. Lukaszewska, H. Johnsson, and M. Fragiaco, «Performance of connections for prefabricated timber-concrete composite floors,» *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, vol. 41, no. 9, pp. 1533–1550, 2008, doi: 10.1617/s11527-007-9346-6.
- [50] R. Crocetti, T. Sartori, and R. Tomasi, «Innovative Timber-Concrete Composite Structures with Prefabricated FRC Slabs,» *Journal of Structural Engineering*, vol. 141, no. 9, pp. 1–10, 2015, doi: 10.1061/(asce)st.1943-541x.0001203.

- [51] M. Derikvand and G. Fink, «Design for Deconstruction: Benefits, Challenges, and Outlook for Timber–Concrete Composite Floors,» *Buildings*, vol. 13, no. 7, 2023, doi: 10.3390/buildings13071754.
- [52] M. Derikvand and G. Fink, «Deconstructable connector for TCC floors using self-tapping screws,» *Journal of Building Engineering*, vol. 42, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2021.102495.
- [53] M. Derikvand and G. Fink, «Bending properties of deconstructable cross-laminated timber-concrete composite floor elements,» *Wood Mater Sci Eng*, pp. 1–8, May 2022, doi: 10.1080/17480272.2022.2077658.
- [54] R. Brandner and L.-M. Ottenhaus, «Properties of salvaged structural timber components: How to account for long-term loading effects given unknown load histories?,» 2022.
- [55] H. Vinzenz and J. Kowal, «Sherpa Manual – Efficient, Flexible, Safe SHERPA Connection Systems,» 2013.
- [56] J. Kowal and M. Augustin, «Sherpa – Standardized timber connection system based on aluminium plates and inclined fully threaded screws,» in *WCTE 2016 – World Conference on Timber Engineering*, 2016.
- [57] A. Teil, «Europäische Technische Bewertung ETA-14 / 0354,» no. 305, 2015.
- [58] Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), «Europäische Technische Bewertung ETA-11/0135 (SIHGA HobaFix),» 2013.
- [59] M. LeBarre, «Evaluation of structural performance of castellated carpentry joint between LVL and Australian sawn timber,» Université de Mons, 2017.