

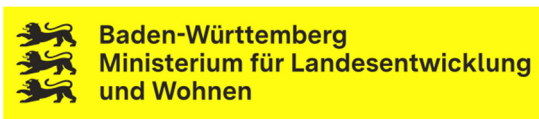
Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus

Schlussbericht

Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus

Schlussbericht

Gefördert durch:



Dieses Projekt wurde gefördert vom Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen des Landes Baden-Württemberg (MLW BW).

Projektlaufzeit: 03/2023 – 12/2024

IMPRESSUM

Herausgeber

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine

Autor:innen

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion
PD Dr.-Ing. Matthias Frese (*Projektbearbeitung, Projektkoordination*)
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philipp Dietsch (*Projektleitung*)

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Stahl- und Leichtbau
Dr.-Ing. Matthias Müller (*Projektbearbeitung*)
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Ummenhofer

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Christoph Ehrenlechner (*Projektbearbeitung*)
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Metallbau
Christoph Ehrenlechner (*Projektbearbeitung*)
Dr.-Ing. Christina Radlbeck
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Mensinger

Redaktion

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine

Stand

Dezember 2024

Gestaltung

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Johannes Grymer

Bildnachweis

Titelbild: KIT Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten.

Zitiervorschlag

Dietsch, P., Müller, M., Frese, M., Ehrenlechner, C., Mensinger, M., Winter, S., Ummenhofer, T.;
Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus
(Forschungsbericht), Karlsruher Institut für Technologie und Technische Universität München, 2025

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Politische Rahmenbedingungen	2
1.3 Aufbau des Berichts	3
1.4 Begrifflichkeiten	4
2 Erhöhung der Wiederverwendungsquote	9
2.1 Wiederverwendung im Stahlbau – aktueller Stand	9
2.2 Wiederverwendung im Holzbau – aktueller Stand	10
2.3 Hemmnisse der Wiederverwendung	12
2.4 Entwicklung eines strukturierten Vorgehens zur Wiederverwendung	15
3 Bestandsanalyse	23
3.1 Allgemeines	23
3.2 Vorgehensweise	29
3.3 Bestandsunterlagen	30
3.4 Objektbegehung	35
3.5 Bewertungsgrundlagen	41
3.6 Hinweise zu Dokumentation und Kennzeichnung	44
4 Selektiver Abbruch und Rückbau	45
4.1 Stahlbau	45
4.2 Holzbau	45
5 Physikalische und mechanische Eigenschaften von wiederzuverwendenden Bauteilen	59
5.1 Prüfung im Stahlbau	59
5.2 Prüfung im Holzbau	86
6 Aufbereitung von Bauteilen	105
6.1 Allgemeines	105
6.2 Handlungsempfehlungen für den Stahlbau	106
6.3 Handlungsempfehlungen für den Holzbau	108
7 Baurechtliche Bewertungsverfahren	110
7.1 Stahlbau	110
7.2 Holzbau	112
8 Zusammenfassung, Ausblick und Forschungsbedarf	118
8.1 Zusammenfassung	118
8.2 Ausblick und Forschungsbedarf	119
Literaturverzeichnis	121

Anhang I: Leitfaden zur Wiederverwendung tragender Bauteile.....	137
1 Allgemeine Anmerkungen.....	137
2 Bestandsanalyse.....	139
2.1 Allgemeine Anmerkungen.....	139
2.2 Erstprüfung.....	140
2.3 Detailprüfung.....	142
3 Rückbau.....	143
4 Analyse der physikalischen und mechanischen Eigenschaften.....	144
5 Aufbereitung.....	145
6 Bemessung.....	146
Teil A Materialspezifische Festlegungen Stahlbau.....	147
A.1 Allgemeine Anmerkungen.....	147
A.2 Bestandsanalyse.....	147
A.3 Rückbau.....	148
A.4 Analyse der physikalischen und mechanischen Eigenschaften.....	148
A.5 Aufbereitung.....	157
A.6 Bemessung.....	158
Teil B Materialspezifische Festlegungen Holzbau.....	159
B.1 Allgemeine Anmerkungen.....	159
B.2 Bestandsanalyse.....	159
B.3 Rückbau und Demontage.....	161
B.4 Analyse der physikalischen und mechanischen Eigenschaften.....	162
B.4.1 Allgemeine Anmerkungen.....	162
B.4.2 Zerstörende Prüfverfahren.....	163
B.4.3 Zerstörungsarme Prüfverfahren – Bohrkerne.....	163
B.4.4 Zerstörungsfreie Prüfverfahren.....	164
B.5 Aufbereitung.....	171
B.6 Entwurf und Bemessung.....	171
Anhang II: Regressionsanalyse.....	174
Anhang III: Biegeversuche Holzbalken.....	175
Anhang IV: Studienobjekte.....	178
Anhang V: Protokolle der Interviews – Teil TUM.....	182
Anhang VI: Protokolle der Interviews – Teil KIT.....	211

Förderhinweis und Danksagung

Das Forschungsprojekt wurde durch das Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen Baden-Württemberg (MLW), Referat 21 – Bautechnik und Bauökologie, initiiert und finanziert. Dieses begleitete das Projekt auch in der Umsetzung. Ein besonderer Dank gilt den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschuss sowie allen Expert:innen, die mit ihren fachlichen Beiträgen und wertvollen Anregungen zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ein großer Dank gilt auch den Studierenden, die durch themenbezogene Abschlussarbeiten und Arbeit als wissenschaftliche Hilfskräfte das Projekt mit jungen Ideen inhaltlich bereichert haben. Darin zeigt sich die Bereitschaft und Motivation, zukünftig die Auseinandersetzung mit den vielfältigen Fragestellungen der Wieder- und Weiterverwendung selbst in die Hand zu nehmen.

Projektteam

Projektleitung Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philipp Dietsch, KIT

Projektbearbeitung Dr.-Ing. Matthias Müller, KIT
PD Dr.-Ing. Matthias Frese, KIT
Christoph Ehrenlechner, TUM

Projektteam Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Ummenhofer, KIT
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter, TUM
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Mensinger, TUM

Forschungsstellen Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Lehrstuhl für Metallbau

Auftraggeber

Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen BW

Johannes Streib
Dominik Horvath
Eberhard Kühnemann

Projektbegleitender Ausschuss

Prof. Andrea Klinge, ZRS Architekten Ingenieure, Berlin
Gregor Machura, bauforumstahl, Düsseldorf
Karl Moser, Aichach
Dr.-Ing. Ronald Schwuchow, Deutsches Institut für Bautechnik,
Berlin
Prof. Dr.-Ing. habil. Jörg Schänzlin, Hochschule Biberach
Prof. Dr.-Ing. Patrik Aondio, Hochschule Biberach
Mike Schrader, Salzgitter Mannesmann Stahlhandel, Peine
Dr.-Ing. Tobias Wiegand, Studiengemeinschaft Holzleimbau,
Wuppertal
Dr.-Ing. Tim Zinke, Hochtief, Essen

1 Einleitung

1.1 Motivation

Eine real praktizierte Ressourcenschonung ist eine entscheidende Voraussetzung für Nachhaltigkeit im Bauwesen. Zirkuläres Wirtschaften schont Ressourcen und trägt damit zu einer nachhaltigen Entwicklung bei. Immer drängender ist die Notwendigkeit, allgegenwärtig anzutreffende Bekenntnisse zur Nachhaltigkeit durch ein entsprechendes Handeln auch aktiv zu leben. Viele Beispiele belegen, dass sich das Bauwesen für mehr Nachhaltigkeit entschieden hat und dies auch in gewissen Bereichen bereits umsetzt. Das betrifft das Material und die Herstellung von Bauprodukten, die Planung, den Entwurf, das Bauen selbst und das überdurchschnittlich langfristige Betreiben des Gebäudebestands.

Wenn sich der so wichtige Erhalt des Bestands nicht durchsetzen lässt, weil Bemühungen für eine weitere Nutzung ausblieben oder scheitern, erfolgt in vielen Fällen ein selektiver Abbruch oder Rückbau. Dann erfordert das zirkuläre Wirtschaften u. a. so viele tragende Bauteile wie technisch möglich schonend zu demontieren und sie im Sinne des zirkulären Wirtschaftens wieder- und weiterzuverwenden. Bei näherer Betrachtung – was die praktische Umsetzung betrifft – ist das eine sehr schwierige und auch umfangreiche Aufgabe. Gegenwärtig stattfindende selektive Abbruch- und Rückbauprozesse sind in der Regel alles andere als schonende Demontagen, auch weil Abbruchunternehmen mit Ihrem Instrumentarium und der personellen Ausstattung für jene nur selten ausgerüstet und ausgerichtet sind. Dafür beispielhaft sind die auf den Fotografien in Abbildung 1 festgehaltenen Prozesse bei zwei unterschiedlichen Abbruchvorhaben im Jahre 2023 in der Karlsruher Innenstadt.



Abbildung 1: Gängige Praxis beim selektiven Abbruch; mechanisches Abschneiden von Stahlstützen (links) und aus einem Dachwerk herausgerissene Holzbauteile (rechts)

Aufgrund des in Deutschland Anfang des 20sten Jahrhunderts für die meisten Bauwerke eingeführten Vier-Augen-Prinzips (Prüfingenieure) kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass diese Bauwerke korrekt nach dem zum jeweiligen Zeitpunkt geltenden technischen Regeln ausgeführt wurden. Bei vorwiegend ruhend beanspruchten Konstruktion kann unter dieser Annahme weiter davon ausgegangen

werden, dass Stahl- und Holzbauteile keine nennenswerten äußeren und inneren einwirkungsbedingten Schäden aufweisen. Sind auch keine außergewöhnlichen nutzungs-, instandhaltungs- und alterungsbedingten Schäden vorhanden, ist die Arbeitshypothese gerechtfertigt, dass solche Bauteile nach einer schonend durchgeführten Demontage ein zweites langes „Leben“ haben können.

Damit wird die Frage nach vorhandenen äußeren und inneren Schäden an wieder- und weiterzuverwendenden Bauteilen zum primären Forschungsgegenstand dieser Arbeit. Inwiefern und inwieweit solche Schäden die technische Integrität eines Stahl- und Holzbauteils für ein zweites „Leben“ tatsächlich herabsetzen, ist dann ein essenzieller sekundärer Forschungsgegenstand. Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen sind umfangreiche praktische und komplexe theoretische Fragestellungen zu lösen. Dabei ist das vorhandene Wissen um Kriterien und Bedingungen für technische Integrität von Stahl- und Holzbauteilen aufzuspüren, zu bewerten und für die konkrete Anwendung in der Kreislaufwirtschaft aufzubereiten.

1.2 Politische Rahmenbedingungen

Der Umbau zu einer Kreislaufwirtschaft betrifft alle Wirtschaftsbereiche, wobei dem Bausektor mit 50 % des weltweiten Abfallaufkommens eine besondere Rolle zukommt. Politisch wird diese Transformation auf nationaler und internationaler Ebene vorangetrieben.

Der Circular Economy Action Plan der Europäischen Kommission (2020) definiert auf europäischer Ebene Ziele und Maßnahmen, die zur Umsetzung der Kreislaufwirtschaft in verschiedenen Sektoren, darunter auch im Bausektor, durchgeführt werden sollen. Eine der Maßnahmen ist die Überarbeitung der Bauproduktenverordnung, auf die sich das Europäische Parlament und der Rat am 23.1.2023 geeinigt haben (EU 2023). Ein zentraler Punkt ist nach dem Vorbild der Ökodesign-Richtlinie (EU 2009) die Einführung eines digitalen Produktpasses, um die Wiederverwendung im nächsten Lebenszyklus zu ermöglichen.

Um eine einheitliche Definition von Nachhaltigkeit zu schaffen, definiert die EU-Taxonomie sechs Nachhaltigkeitsziele (EU 2020). Eines dieser Ziele ist der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft. Für ausgewählte Wirtschaftsaktivitäten definiert die EU-Taxonomie, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit die Aktivität als nachhaltig bezeichnet werden kann. Demnach muss sie einen substanziellen Beitrag zu einem der sechs Nachhaltigkeitsziele leisten und gleichzeitig bestimmte Mindeststandards in den anderen fünf Nachhaltigkeitszielen erfüllen. Ziel der EU-Taxonomie ist es, globale Finanzströme in nachhaltige Aktivitäten zu lenken. Dazu müssen Unternehmen ab einer bestimmten Größe den Anteil ihrer Aktivitäten, die als nachhaltig eingestuft werden, ausweisen.

Für die Wirtschaftsaktivität „Errichtung neuer Gebäude“ gilt, dass eine Wirtschaftsaktivität dann einen substanziellen Beitrag leistet, wenn u.a. maximal 30 % der metallischen und 80 % der biogenen Baustoffe aus Primärmaterial stammen und Konstruktionsregeln eingehalten werden, die die Kreislauffähigkeit fördern. Die

ursprünglich im Entwurf geforderte Vorgabe, dass mindestens 15 % der Materialien aus wiederverwendeten Bauteilen stammen müssen (Platform on sustainable finance (2022)), wurde nicht übernommen.

Auf nationaler Ebene werden u.a. durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) und das deutsche Ressourceneffizienzprogramm (BMU 2020) die Grundlagen für eine Kreislaufwirtschaft gelegt, wobei der Schwerpunkt auf Recycling und weniger auf Wiederverwendung liegt.

Nachhaltigkeitsbewertungssysteme im Bauwesen (z. B. QNG, DGNB, BNB) bewerten die Wiederverwendung von Bauteilen positiv. Da ab 20.4.2022 ein Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) für eine KfW-Förderung im Neubau erforderlich ist (BMWK 2022), werden damit teilweise monetäre Anreize für die Wiederverwendung von Bauteilen gesetzt.

Sowohl der Koalitionsvertrag (SPD, Grüne, FDP 2021) der Bundesregierung als auch der Koalitionsvertrag der Landesregierung Baden-Württemberg (Grüne & CDU 2021) nennen das Ziel der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen. Während auf Bundesebene hierzu vor allem der Gebäuderessourcenpass adressiert wird, wird im Koalitionsvertrag auf Landesebene u.a. auch der Verwendbarkeitsnachweis für gebrauchte Bauprodukte als Ziel genannt.

1.3 Aufbau des Berichts

Alle politischen Forderungen und Ziele zur Kreislaufwirtschaft im Bauwesen können nur umgesetzt werden, wenn die entsprechenden technischen Grundlagen für die Wiederverwendung bekannt sind. Dies ist der Ansatzpunkt dieser Arbeit, wobei entsprechend dem Forschungsauftrag ausgewählte Bauprodukte des Holz- und Stahlbaus betrachtet werden. Ausgehend vom aktuellen Stand und den Hemmnissen wird in Abschnitt 2 der entwickelte Ansatz zur Wiederverwendung vorgestellt. In Abschnitt 3 wird die Vorgehensweise zur Bestandsaufnahme und Datenerhebung vor dem selektiven Rückbau erläutert, der in Abschnitt 4 behandelt wird. Zur Ermittlung der mechanisch-technologischen Eigenschaften der wiederzuverwendenden Bauteile werden in Abschnitt 5 Prüfverfahren für den Holz- und Stahlbau vorgestellt. Für niedrige Schadensfolgeklassen werden mögliche konservative Annahmen zur Abschätzung der Bauteileigenschaften in Abhängigkeit vom Baujahr dargestellt. Darüber hinaus wird ein Prüfumfang definiert, um die Bauteileigenschaften in Abhängigkeit von den vorliegenden Informationen zu ermitteln. Abschnitt 6 behandelt die Aufbereitung der Bauteile. Die baurechtlichen Bewertungsverfahren und eine mögliche Anpassung der Teilsicherheitsbeiwerte für wiederverwendete Bauteile werden in Abschnitt 7 diskutiert. Im Rahmen dieses Projektes wurde auch ein Leitfaden für die Praxis entwickelt. Das vorliegende Dokument dient als Hintergrunddokument für diesen Leitfaden.

1.4 Begrifflichkeiten

Für nachfolgende Begriffe können verschiedene Interpretationen geläufig sein, da verschiedene Definitionen auch unterschiedliche Perspektiven für Anwendungen und Anwender zulassen bzw. offenlassen. Im Sinne dieses Forschungsprojektes bedeuten die Begriffe:

Abbruch

(Komplette) Beseitigung einer baulichen Anlage – ohne explizite Berücksichtigung des vorhandenen Materialbestandes. Die Materialtrennung erfolgt entweder nachträglich oder nicht. (Hillebrandt et al. 2021)

Abfallhierarchie

Nach § 6 (1) KrWG. Maßnahmen der Vermeidung und der Abfallbewirtschaftung die in folgender Reihenfolge stehen:

1. Vermeidung,
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung,
3. Recycling,
4. sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung,
5. Beseitigung.

Hinweis:

Für das Konzept des Forschungsprojekts wird folgende Abfallhierarchie zu Grunde gelegt:

1. Vermeidung,
2. Wiederverwendung,
3. Weiterverwendung,
4. Recycling,
5. sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung,
6. Beseitigung.

Aufbereitung (zur Wiederverwendung)

Jegliche Tätigkeit, die an einem gebrauchten Bauprodukt/Bauteil bzw. deren Bestandteilen vor dem Wiedereinbau durchgeführt wird, um spezifische Anforderungen wie Optik, Sicherheit, Dauerhaftigkeit zu erfüllen.

Bauteil

Funktionelle (z. B. tragende) Komponente eines Bauwerkes. Nicht weiter zerlegbar, ohne seine grundlegenden Eigenschaften zu verlieren. Nach DIN EN ISO 10209 (2012).

Bergung (zur Wiederverwendung)

Selektives Herausholen wiederverwendbarer Bauprodukte/Bauteile aus einem Haufen oder einer vorläufigen Lagerung nach dem Abbruch einer baulichen Anlage oder selektive Entnahme wiederverwendbarer Bauprodukte/Bauteile aus einer baulichen Anlage unmittelbar vor dem Abbruch. Nach DIN 14011 (2018).

Bewertung

Reihe von Aktivitäten, die durchgeführt wird, um die Zuverlässigkeit eines bestehenden Produktes sowie Tragwerkes zu überprüfen. Die Ergebnisse der Bewertung können für die Bemessung gebrauchter Produkte herangezogen werden.

Degradation (Verschlechterung)

Leistungsminderung im Laufe der Zeit. (Hillebrandt et al. 2021)

Demontage

Vereinzelung einer baulichen Anlage zu Baugruppen, Bauteilen und/oder formlosem Stoff durch Trennen. Nach VDI 2243 (2002).

Demontageprozess

Kombination zerstörungsfreier und zerstörender Trennverfahren, bei denen ausgewählte, wirtschaftlich nutzbare oder toxische Werkstoffe, Bauteile und Baugruppen einer baulichen Anlage demontiert werden. Nach VDI 2343 Blatt 1 (2001).

Demontageschaden (Ausbauschaaden)

Schaden der im Zuge einer Demontage entstanden ist.

Empfängerbauwerk

Ein zu erstellendes Bauwerk, in welches wiederverwendbare Bauprodukte/Bauteile eingebaut werden. (Devènes et al. 2022)

Fachkunde

Fachkundig ist, wer zur Ausübung einer bestimmten Aufgabe über die erforderlichen Fachkenntnisse verfügt. Die Anforderungen an die Fachkunde sind abhängig von der jeweiligen Art der Aufgabe. Zu den Anforderungen zählen eine entsprechende Berufsausbildung, Berufserfahrung oder eine zeitnah ausgeübte entsprechende berufliche Tätigkeit sowie die Teilnahme an spezifischen Fortbildungsmaßnahmen. Nach § 2 (16) GefStoffV (2010).

Funktionsgerecht

In seiner Funktion nicht beeinträchtigter Zustand, zur Erfüllung der Anforderungen die an das gebrauchte Bauprodukt gestellt werden.

Kaskadennutzung

Mehrfache, hintereinander geschaltete stoffliche (Nutzung) und gegebenenfalls anschließende energetische Verwertungsmaßnahmen von Rohstoffen, etwa von Holz (z. B. Bauholz – Spanplatte – energetische Verwertung). (Hillebrandt et al. 2021)

Kreislaufwirtschaft

Wirtschaft, bei der die eingesetzten Rohstoffe bzw. Produkte über den Lebenszyklus eines Produkts oder einer Konstruktion hinaus wieder vollständig einer Nutzung zurückgeführt werden. (Hillebrandt et al. 2021)

Lebensdauer

Zeitspanne von der Herstellung bis zum Ausfall (Leistungsfähigkeit endet) oder Beseitigung eines Produktes bzw. einer baulichen Anlage. Nach VDI 2343 Blatt 1 (2001).

Nutzungsdauer

Zeitspanne zwischen der erst- und letztmaligen Nutzung eines Bauproduktes in seiner Eigenschaft. Nach VDI 2343 Blatt 1 (2001).

Objektbegehung (zur Wiederverwendung)

Begutachtung einer bestehenden baulichen Anlage vor Ort, zur Feststellung wiederverwendbarer Bauprodukte/Bauteile und Klärung von Fragestellungen des selektiven Rückbaus.

Recycling

Überbegriff für die Verwendung oder Verwertung von Bauprodukten, Teilen von Bauprodukten sowie Werkstoffen in Form von Kreisläufen. Nach VDI 2243 (2002).

Jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden; es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, nicht aber die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind. Nach § 3 (25) KrWG (2020).

Reklassifikation

Verfahren zum Nachweis bestimmter Leistungsmerkmale eines gebrauchten Bauproduktes, um dieses neu einzuordnen. Eine Reklassifikation gewährleistet in gewissen Grenzen oder mit ausdrücklichen Einschränkungen ein einheitliches Sicherheitsniveau, das sich auf Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit erstreckt.

Schaden

Veränderung an einem Bauprodukt/Bauteil, durch die seine vorgesehene Funktion (Standicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit) wesentlich beeinträchtigt oder unmöglich gemacht wird.

Innerer Schaden

Schaden im Bauteilinneren, der nur mit geeignetem technischem Instrumentarium detektiert werden kann.

Äußerer Schaden

Schaden an der Bauteiloberfläche, der ohne technisches Instrumentarium nur mit dem bloßen Auge erkannt oder mit den Händen ertastet werden kann

Sekundär-Rohstoff-Zentrum

Regionales Aufbereitungs- und Lagerzentrum für Materialien und Bauprodukte aus dem Rückbau.

Selektiver Abbruch

Verfahren zum (kompletten) Abbruch einer baulichen Anlage. Die einzelnen Materialien werden dabei vor, während oder nach dem Abbruch getrennt. (Hillebrandt et al. 2021)

Selektiver Rückbau

Vereinzelung einer baulichen Anlage zu Baugruppen, Bauteilen und/oder formlosen Stoffen durch selektives und zerstörungsarmes Trennen, ohne erheblichen Schaden zu verrichten. (Hillebrandt et al. 2021)

Spenderbauwerk

Eine bauliche Anlage, bereit für den Abbruch, woraus wiederzuverwendende Bauprodukte/Bauteile demontiert werden. (Devènes et al. 2022)

Teilabbruch

Planvolle Teilung eines vorherigen Ganzen in zwei oder mehrere Teile, bei Anwendung geeigneter Verfahren. Nach VDI 6210 Blatt 1 (2016).

Vermeidung

Jede Maßnahme, die ergriffen wird, bevor ein Stoff, Material oder Erzeugnis zu Abfall geworden ist, und dazu dient, die Abfallmenge, die schädlichen Auswirkungen des Abfalls auf Mensch und Umwelt oder den Gehalt an schädlichen Stoffen in Materialien und Erzeugnissen zu verringern. Hierzu zählen insbesondere die anlageninterne Kreislaufführung von Stoffen, die abfallarme Produktgestaltung, die Wiederverwendung von Erzeugnissen oder die Verlängerung ihrer Lebensdauer [...]. Nach § 3 (20) KrWG (2020).

Hinweis:

Im Bauwesen dient zur Vermeidung von Abfall insbesondere der Bestandserhalt.

Vorbereitung der Wiederverwendung

Vorgang der eine anschließende Wiederverwendung möglich machen soll. Nach VDI 2243 (2002).

Jedes Verwertungsverfahren der Prüfung, Reinigung oder Reparatur, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile von Erzeugnissen, die zu Abfällen geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wieder für denselben Zweck verwendet werden können, für den sie ursprünglich bestimmt waren. Nach § 3 (24) KrWG (2020)

Wiederverwendung

Erneute Nutzung von gebrauchten Produkten oder Produktteilen für denselben Verwendungszweck wie zuvor. Die Gestalt bleibt dabei unverändert oder wird nur in Teilen geringfügig verändert. Nach VDI 2243 (2002).

Jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren. Nach § 3 (21) KrWG (2020)

Für das Konzept des Forschungsprojekts wird der Begriff „Wiederverwendung“ nach folgender Definition verwendet:

Erneute Nutzung von gebrauchten Bauteilen für denselben Verwendungszweck wie zuvor. Unter Verwendungszweck wird im Sinne dieses Forschungsprojekts die tragende bzw. nicht-tragende Funktion eines Bauteils verstanden, nicht die Kategorisierung (Stütze, Träger, etc.). Der Begriff „Wiederverwendung“ umfasst hier somit z. B. die erneute Nutzung eines gebrauchten Deckenbauteils sowohl als Deckenbauteil, wie auch als Wandbauteil. Die Anforderungen, welche die Bauteile für ihre erneute Nutzung erfüllen müssen, können dabei variieren. Somit ist auch der Aufwand für die Untersuchung, Reklassifikation, Ertüchtigung, etc. variabel.

Hinweis:

Für das Konzept des Forschungsprojekts wird die "(direkte) Wiederverwendung" ohne Aufbereitung (Stufe 1 der Abfallhierarchie nach KrWG) und die "Vorbereitung zur Wiederverwendung" (Stufe 2 der Abfallhierarchie nach KrWG) unter dem Begriff "Wiederverwendung" zusammengefasst werden. Eine Unterscheidung in Abhängigkeit des Grad des erforderlichen Aufwands für die Untersuchung, Bewertung, Reinigung, Instandsetzung bzw. Ertüchtigung entfällt hier somit.

Weiterverwendung

Erneute Nutzung von gebrauchten Produkten oder Produktteilen für einen anderen Verwendungszweck wie zuvor. Die Gestalt bleibt dabei unverändert oder wird nur in Teilen geringfügig verändert. Nach VDI 2243 (2002).

Hinweis:

Der Begriff „Weiterverwendung“ ist im Kreislaufwirtschaftsgesetz nicht definiert.

Für das Konzept des Forschungsprojekts wird der Begriff „Weiterverwendung“ nach folgender Definition eingeführt:

Erneute Nutzung von gebrauchten Bauteilen für einen anderen Verwendungszweck als zuvor. Unter Verwendungszweck wird im Sinne des Leitfadens die tragende bzw. nicht-tragende Funktion eines Bauteils verstanden, nicht die Kategorisierung (Stütze, Träger, etc.). Der Begriff „Weiterverwendung“ umfasst im Leitfaden somit die erneute Nutzung vormals tragender Bauteile als nicht-tragende Elemente, d. h. für eine sekundäre bzw. untergeordnete Verwendung. Die „Weiterverwendung“ beschreibt die Nachnutzung als Elemente mit geringeren Anforderungen und ermöglicht somit einen reduzierten Aufwand.

Zerlegen

(Möglichst) zerstörungsfreie Demontage einer baulichen Anlage bzw. zerstörungsfreies Trennen von Bauteilschichten unter Erhalt der Bauteil- bzw. Baustoffeigenschaft. Nach VDI 2343 Blatt 1 (2001).

2 Erhöhung der Wiederverwendungsquote

2.1 Wiederverwendung im Stahlbau – aktueller Stand

Im Stahlbau werden derzeit je nach Quelle 83-97 % des Materials recycelt, 5-14 % wiederverwendet und 1-3 % gehen als Sammelverluste verloren. (Durmisevic & Noort 2003, Steel recycling institute 2008, Institut Bauen und Umwelt 2018). Demnach ist die Kreislaufwirtschaft im Stahlbau bereits etabliert, jedoch ist der Anteil der Wiederverwendung sehr gering. Ein Großteil der Wiederverwendung findet im privaten Einfamilienhausbau und in der Landwirtschaft statt.

Stahlbauwerke werden in Europa nach DIN EN 1090-1 und -2 ausgeführt. Nach DIN EN 1090-1 müssen die Konstruktionsmaterialien „den Europäischen Normen entsprechen, auf die in den maßgebenden Abschnitten von DIN EN 1090-2 verwiesen wird“. DIN EN 1090-2 lässt für die Konstruktionsmaterialien die folgende Option zu: „Sollen Ausgangsprodukte verwendet werden, die nicht durch die aufgeführten Normen abgedeckt sind, müssen deren Eigenschaften festgelegt werden. Die relevanten, festzulegenden Eigenschaften müssen folgende sein:

- Festigkeit (Streckgrenze und Zugfestigkeit);
- Bruchdehnung;
- Anforderungen an die Brucheinschnürung, falls erforderlich;
- Toleranzen bezüglich Abmessungen und Form;
- Kerbschlagarbeit oder -zähigkeit, falls erforderlich;
- Lieferzustand hinsichtlich Wärmebehandlung;
- Anforderungen an die Verformungseigenschaften in Dickenrichtung (Z-Güte), falls erforderlich;
- Höchstgrenzen für innere Inhomogenitäten oder Risse in zu schweißenden Zonen, falls erforderlich.

Demnach kann die Wiederverwendung von Stahlbauteilen bereits heute praktiziert werden, indem die entsprechenden Eigenschaften an einzelnen Bauteilen durch zerstörungsfreie und zerstörende Prüfungen ermittelt werden und ein Verwendbarkeitsnachweis in Form einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) kombiniert mit einer vorhabenbezogenen Bauartgenehmigung (vBG) erwirkt wird. Da diese Vorgehensweise nicht dazu geeignet ist die Wiederverwendung in der Breite umzusetzen, gibt es bereits nationale (LBV 2023) und internationale Arbeiten in der Schweiz (SZS 2023), in Schweden (MVR 2021), in Norwegen (2018) und in Großbritannien (SCI 2019), die sich mit einer praktikablen Vorgehensweise befassen. Auf europäischer Ebene ist in diesem Zusammenhang die parallel zu dieser Arbeit entstandene Technische Spezifikation zu DIN EN 1090 (CEN/TC 135 2024) zu nennen, die sich ebenfalls mit der Wiederverwendung von Stahlbauteilen beschäftigt. Bereits heute werden rückgewonnene Stahlbauteile gehandelt und wiederverwendet. Der Handel findet dabei fast ausschließlich unreguliert auf privaten Plattformen wie eBay®, Kleinanzeigen.de oder historische-baelemente.com statt.

Ein etabliertes Verfahren zur Wiederverwendung von Stahlbauteilen findet sich im Traggerüstbau. Hier werden seit vielen Jahrzehnten Bauteile für ähnliche Anwendungen wiederverwendet. Nach der Herstellung werden an den Bauteilen keine regelmäßigen zerstörungsfreien oder zerstörenden Prüfungen durchgeführt. Es erfolgt lediglich eine Sichtkontrolle vor jedem Einbau.

2.2 Wiederverwendung im Holzbau – aktueller Stand

Die für die Gegenwart relevanten Aspekte zur Wieder- und Weiterverwendung von tragenden Holzbauteilen wurden im Bericht des Umweltbundesamtes bereits weitgehend vollumfänglich dargestellt (Dechantsreiter et al. 2015). Baustoffübergreifende Feststellungen finden sich dort im Abschnitt 1, S. 16ff, im Abschnitt 6, S. 79 und jene, die das Holz im Einzelnen betreffen, im Abschnitt 6.3, S. 104ff.

Es gibt zu denken, dass die ebendort angeführten Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen bereits neun Jahre alt sind. Zwischenzeitlich erschienene umfangreiche Werke oder Kurzinformationen zu gegenwärtigen Forschungsaktivitäten zum Thema sind u. a.: Meetz et al. (2015); Risse & Richter (2018); BMI (2019); Hauke et al. (2021); John & Stark (2021); Küpfer & Fivet (2021); Müller & Moser (2022); Schuster & Geier (2023); Zuschnitt (2023); Padalkina et al. (2023); Lignatec (2023); Weigl-Kuska (2023); Weigl-Kuska & Schomakers (2023); Lampugnani (2023). Einen aktuellen Überblick nicht nur über die Situation in der Schweiz gibt Steckel (2024).

Trotz des mittlerweile sehr gut erforschten Umfelds und neuerer Handlungsempfehlungen, z. B. Lignatec (2023), ist das Maß der Wieder- und Weiterverwendung von Holzbauteilen und Holzbaustoffen für tragende Zwecke heute noch verschwindend gering. Dieser Zustand ist direkt beeinflusst und bedingt durch:

- **Gesellschaft** (u. a. Haltung gegenüber dem Bestand; Bewusstsein der Bauherrenschaft; gegenwärtige Wertschätzung für baulich gebundene Ressourcen und diesbezügliche Wahrnehmungslücken; Wechselwirkung aus Akzeptanz gegenüber Kreislaufprodukten und Ausbau des Angebots)
- **Abbruchindustrie und starke etablierte Entsorgungs- und Verwertungswege**, die keine bzw. wenig Kompatibilität mit einer Wieder- und Weiterverwendung besitzen
- **Bautechnik des Bestands** (Fügen und Verbinden) → technischer Einfluss auf Demontage und die demontagebedingten Zusatzschäden und Verluste
- **Kosten-, Zeit- und Personalaufwand** als Entscheidungskriterium für das Ausbleiben/Durchführen einer schonenden Demontage und behutsamen Bergung
- **Beprobung von Baumaterialien und -stoffen** im Zusammenhang mit heute nicht mehr zulässigen oder unerwünschten Holzschutzmitteln
- Verfügbarkeit, Eignung und Nutzen demontierter Bauteile für neue tragende Zwecke (Angebot, Relevanz und Nachfrage)
- **Logistische Herausforderungen** (Bergung, Transport, Inventarisierung, Lagerung und Vertrieb) und **Aufwand für Aufbereitung**
- Ungewissheit hinsichtlich Qualität

- Fehlende oder unvollständige erforderliche Daten
- **Derzeitiger Erfahrungsschatz** im Zusammenhang mit Wieder- und Weiterverwendungsprojekten
- **Aufklärung zu Vor- und Nachteilen** von wieder- und weiterzuverwendenden Holzbaustoffen
- **Unbefriedigende Nutzung** der wertgebenden Eigenschaften
- **Ökologische Vorteile** der Wieder- und Weiterverwendung, die aus Einsparpotenzial an Rohstoff und Energie resultieren
- **Neuaulegung der gestalterischen Freiheit** beim Bauen mit Holzbauteilen und Holzbaustoffen aus dem selektiven Abbruch bzw. Rückbau
- **Normen für Wieder- und Weiterverwendung** und labelbestimmte Einflussfaktoren, z. B. aus diversen Gebäude-Zertifizierungen

Im Zusammenhang mit der zirkulären Bauwirtschaft gibt es ab Mitte der 1990er Jahre Bauteilbörsen, Kataster und mittlerweile zunehmende Angebote im Internet. So genannte Baustoffbörsen wie beispielsweise restado, Concular-Shop oder allgemein eBay® vermitteln oder verkaufen gebrauchte Baustoffe, wobei Holzbaustoffe und Holzbauteile für tragende Zwecke, siehe Abbildung 2, eher selten auf den Angebotsseiten anzutreffen sind. Solche Börsen bieten aktuell vor allem mannigfaltige Baustoffe und Bauteile für den nicht tragenden Bereich an. Gut organisiert über den Unternehmerverband Historische Baustoffe e.V. ist seit 1992 der Handel u. a. mit entsprechenden Holzbauteilen (UHB 2024).

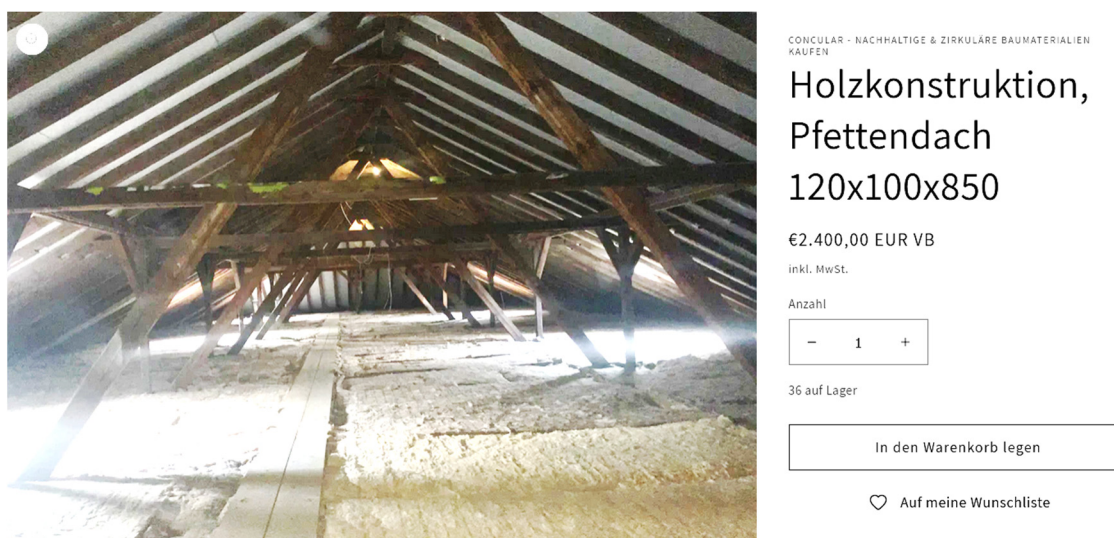


Abbildung 2: Beispiel eines Concular-Angebots für eine Holzkonstruktion, Quelle: Concular (2024)

Da Börsen und Verbände private Interessen, unternehmerische Absichten und gesellschaftliche Anliegen relativ schnell erkennen und pragmatisch umsetzen, können ihre Formate schon heute ein Vorbild für Handelsstrukturen mit wiederzuverwendendem Holz und Organisationsformen zukünftiger *Sekundär-Rohstoff-Zentren* sein. Davon unabhängig wurde historisches Bauholz aus Nadel- und Laubholz unter Berücksichtigung der statisch relevanten Einschränkungen, die sich aus der ursprünglichen Bearbeitung ergeben, in der Vergangenheit bei Bedarf nach DIN 4074-1 bzw. 4074-5 sortiert. Wichtig hierbei ist, dass die Altholzverordnung nicht greift und Holz nicht als Abfall deklariert wird, z. B. Trinkert (2023).

Nicht wirklich zu quantifizieren ist die schon immer bei Abbruchvorhaben, auf den kommunalen Wertstoffstationen, im privaten Bereich o. ä. unter der Hand stattfindende Kreislaufwirtschaft im Sinne von Cradle-to-Cradle mit Holzbaustoffen. Holz wird in dieser Grauzone in der Regel, mit der Absicht stofflich weiterverwendet zu werden, durch Mitnahme vor dem Downcycling oder der thermischen Verwertung bewahrt. Dazu tragen die beim Abbruch kleinerer Vorhaben gegebenen Möglichkeiten und die offenen Schuttmulden bei, die einen unerkannten Abtransport oder eine Mitnahme begünstigen. Es liegt in der Natur der Dinge, dass wertvolle oder brauchbare Gegenstände, die entdeckt werden können, von Interessenten für neue Zwecke in Besitz genommen werden. Die nie mit dem Ziel des inoffiziellen Austauschs (der im Übrigen untersagt ist) eingerichteten kommunalen Wertstoffstationen, lassen bereits heute ein Format einer gelebten Kreislaufwirtschaft mit Qualitätserhalt erkennen, an dem sich die Planung professioneller *Sekundär-Rohstoff-Zentren* orientieren kann. Baustoffe sollten daher angemessen präsentiert werden, damit sie für die neuen Zwecke geprüft und für gut befunden werden können. Auf diese Weise ließen sich die zumeist auf Recycling im Sinne von Downcycling abzielenden Zentren schrittweise in Richtung Wieder- und Weiterverwendung transformieren.

Beispiele für auf Recycling basierenden *Sekundär-Rohstoff-Zentren* (SRZ) sind:

- SRZ der Harzer Recyclingwirtschaft
- SRZ der Lausitzer Energie Bergbau AG

Beispiele für Projekte, Bauelemente und Bauteile, in denen Holzbaustoffe wieder- und weiterverwendet wurden und in denen konkrete Grundlagen dafür geschaffen wurden, sind:

- Infozentrale auf dem Vollgut in Berlin-Neukölln (Anerkennung, Deutscher Holzbaupreis 2019)
- Rippen für Holztafelwände aus ehemaligen Sparren beim Aufstockungsprojekt in Kelsterbach der Unternehmensgruppe Nassauische Heimstätte (Ryll 2023)
- Rekonstruktion des Dom-Römer-Areals in Frankfurt (Trinkert 2023)
- Forschungsvorhaben RE4 (Anerkennung, Deutscher Holzbaupreis 2019)

2.3 Hemmnisse der Wiederverwendung

2.3.1 Allgemeines

Ein grundsätzliches Hemmnis für eine Wiederverwendung von Bauteilen ist die Frage der Haftung. Der ursprüngliche Hersteller bzw. Verkäufer der Bauprodukte kann nicht mehr bei Mängeln herangezogen werden, wodurch für Bauherren ein Risiko besteht, falls das ausführende Unternehmen oder eine dritte Partei (z. B. der Betreiber eines *Sekundär-Rohstoff-Zentrums*) keine Gewährleistung für die Eigenschaften der Ausgangsprodukte übernimmt. Optische Mängel durch Gebrauchsspuren können ein Hemmnis für eine Wiederverwendung sein. Da die Wiederverwendung als nachhaltige Bauweise gerne als Werbeinstrument genutzt wird, zeigt sich, dass Gebrauchsspuren

aus dem ersten Lebenszyklus auch als Argument für eine Wiederverwendung genutzt werden können.

Weitere allgemeine baustoffübergreifende Hemmnisse sind:

- Unlösbare **Bauteilverbindungen**, wobei durch unmittelbar im Verbindungsbereich vorgenommene Trennschnitte zumindest Abschnitte von Bauteilen realisiert werden können
- Höherer **Aufwand** bei der schonenden **Demontage** bzw. bei der behutsamen Bergung
- Höherer Aufwand für **Aufarbeitung** (kleinere lokale Reparaturen wie Ausflücke) und Ertüchtigung (größere Reparaturen wie statisch wirksame Ergänzungen)
- Die **fehlende** etablierte **Prozesskette** für Bestandsanalyse, schonenden Rückbau, Geometrieerfassung, Prüfung, Aufbereitung und Lagerung führt zu einem Mehraufwand bei jedem Projekt.
- Unwissenheit über durchzuführende **Prüfungen** und unbekanntes Bauteileigenschaften zum Planungszeitpunkt führen zu einer weiteren Kosten- und Terminunsicherheit

Diese Liste ließe sich noch um viele weitere Punkte ergänzen, vor allem was Gestaltung und Architektur betrifft, vgl. Devlieger (2018). Das würde der inhaltlichen Vervollständigung dienen, aber auch zugleich die Barriere anheben, die einem wirksamen Handeln im Sinne der Wieder- und Weiterverwendung aktuell im Wege steht. Bedenken und Einwände, die berechtigterweise bei der Wieder- und Weiterverwendung von Baustoffen und -bauteilen aus Stahl und Holz bestehen, werden abgeschwächt, wenn man klein startet, vgl. Steckel (2024). Das Ausmaß möglicher negativer Folgen bleibt dann überschaubar, wird aber im Gegenzug mit wertvoller und richtungsweisender Erfahrung belohnt.

2.3.2 Hemmnisse im Stahlbau

Derzeit gibt es keine Vorschriften und Regelwerke die vorgeben, welche Eigenschaften an wie vielen Bauteilen für eine Wiederverwendung durch Prüfungen ermittelt werden müssen. Die derzeit mögliche Vorgehensweise nach DIN EN 1090-2 (siehe Abschnitt 2.1) gibt keine Vorgabe an wie vielen Bauteilen die Prüfungen durchzuführen sind. Eine zerstörende Prüfung aller zurückgewonnenen Bauteile ist aufwandstechnisch nicht darstellbar, weshalb der Prüfumfang in der Regel projektspezifisch festgelegt wird, was Unsicherheit hinsichtlich des Vorgehens bei allen Planungsbeteiligten verursacht.

Ein weiteres Hemmnis ist die Unkenntnis vieler Planender über die Eigenschaften von Stahl und deren zeitliche Veränderung. Während „moderner“, vorwiegend ruhend beanspruchter, korrosionsgeschützter Stahl seine Eigenschaften mit der Zeit nicht verändert, haben Schadensfälle an altem Stahl (z. B. Schäden an Hochspannungsmasten aus Thomasstahl nach Extremschnee 2005) die Baubranche für Probleme mit alten Stahlkonstruktionen sensibilisiert. Altstähle aus dem Windfrischverfahren (Bessemerstahl und Thomasstahl) weisen hohe Stickstoffgehalte von bis zu 0,03 % auf (Stroetmann et. al. 2017). Ungebundene Stickstoffatome können

mit der Zeit wandern und lagern sich bevorzugt an plastisch verformten Bereichen ab, wo sie Versetzungen dauerhaft blockieren und so zur Versprödung des Werkstoffs führen. Da die Ursachen und Schädigungsprozesse bekannt sind und gefährdete Bauteile durch Prüfungen identifiziert werden können (vgl. Abschnitt 5.1.4), kann dieses technische Hemmnis beseitigt werden.

Die Anforderungen an die Stahlherstellung und damit an die Eigenschaften von Stahlbauteilen haben sich im Laufe der Zeit geändert. So besteht bei älteren Baustählen die Gefahr von Doppelungen. Ebenso durften bis 2005 nach DIN EN 10025 (1994) unberuhigte Stähle im Bauwesen eingesetzt werden was über den Querschnitt verteilt zu inhomogenen Eigenschaften führen kann. Eine detaillierte Darstellung der geänderten Anforderungen erfolgt in Abschnitt 5.1.3.

Sollen nicht nur die Ausgangsprofile, sondern Bauteile als Ganzes mit angeschweißten Kopfplatten, Anschlussblechen und Korrosionsschutz wiederverwendet werden, ergeben sich weitere Hemmnisse, wie z. B. die Suche nach einem geeigneten Einsatzgebiet, das Gefährdungspotential alter Korrosionsschutzsysteme sowie die nachträgliche Qualifizierung von Schweißnähten.

2.3.3 Hemmnisse im Holzbau

Hemmnisse im Zusammenhang mit Holz werden von Dechantsreiter et al. (2015) im Abschnitt 1, S. 21f und Abschnitt 6.3.6, S. 115f dargelegt. Ausgehend von den dort als grundlegend identifizierten Hemmnissen ergeben sich aus aktualisierter Sicht und ergänzend bzw. präzisierend zu Abschnitt 2.2 folgende Hemmnisse:

- Unsicherheit bei der Einschätzung des Gefährdungspotenzials durch heute nicht mehr zugelassene/unerwünschte Holzschutzmittel oder Schadstoffe
- Gefährdungspotenzial durch Holzschutzmittel oder Schadstoffe als Vorwand, eine schonende Demontage und entsprechende Bergung zu unterlassen
- Vorbehalte bei der Umsetzung flexibler Strategien zur abschließenden Klärung eines Gefährdungspotenzials durch Holzschutzmittel oder Schadstoffe, z. B. durch Einsatz einer mobilen Laboreinheit auf der Rückbaustelle, vgl. Kooperatives Baustofflabor (2022)
- Vorurteilsbehaftete Haltung, dass tatsächlich schadstoffbelastete Bauteile nicht wiederverwendbar sind, wobei auch hier unbedenkliche Einsatzzwecke oder Verfahren zur „Reinwaschung“ angewendet oder entwickelt werden könnten, vgl. Risse & Richter (2018) und Fürhapper (2023)
- Unwissenheit hinsichtlich der im Bestand tatsächlich vorhandenen Bauteilwerte und damit verbundene Nichtbeachtung beim selektiven Abbruch mit der Folge von Downcycling (Spanplatte) bzw. thermischer Verwertung

Indirekt bestätigt werden die vorgenannten Hemmnisse in Teilen durch im Privatbereich dennoch umgesetzte Wieder- und Weiterverwendungsprojekte. Hier werden baurechtliche Vorschriften bzw. Hürden, Konsequenzen aus dem Abfallrecht, wirtschaftliche Barrieren o. ä. mit Sparsamkeit, Idealismus, Geschick und Mut schlicht und ergreifend umgangen.

In einem liberalen Umfeld kann, wenn man baurechtliche Regeln beachtet und für die konkrete Fragestellung ingenieurtechnisch angemessen auslegt, sich etwas entwickeln. In der Einzelbetrachtung sind entsprechende Realisationen zwar quantitativ unbedeutend und wirken fallweise unbeholfen, aber gesamtheitlich wird dadurch mutmaßlich einiges bewirkt. Zwei Belege für private Aktivitäten illustrieren die Fotografien in Abbildung 3. Statt der vorgesehenen thermischen Verwertung (Klassifizierung in Altholzkategorie IV), sollen die geborgenen Kanthölzer (links) in einem landwirtschaftlichen Gebäude wiederverwendet werden. Wenngleich die Kerne des oberen Sparrens in der Biegezugzone des nachgiebig miteinander verbundenen Trägers mechanisch nicht sinnvoll angeordnet ist, vermittelt der Ausschnitt (rechts) etwas von dem erforderlichen Ideenreichtum für die Weiterverwendung.



Abbildung 3: Für die Weiterverwendung geborgene Kanthölzer (links) und zu einem nachgiebig verbundenen Biegeträger verarbeitete Sparren (rechts)

2.4 Entwicklung eines strukturierten Vorgehens zur Wiederverwendung

2.4.1 Projektbeispiele

Der Status Quo zur Wiederverwendung lässt sich folgendermaßen festhalten:

- Ab- und Wiederaufbau historischer Bauwerke,
- Integration historischer Konstruktionen beim Neubau als architektonisches Gestaltungsmittel,
- Wieder- und Weiterverwendung von Bauprodukten als nicht tragende Bauteile,
- Wieder- und Weiterverwendung von tragenden Bauteilen aus Unwissenheit oder durch Umgehung Technischer Baubestimmungen oder allgemein anerkannter Regeln der Technik,
- Wieder- und Weiterverwendung von tragenden Bauteilen im Rahmen einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) / vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBg).

Nur bei sehr wenigen Objekten wurde bisher eine Wiederverwendung tragender Stahl- und Holzbauteile praktiziert (Stillfried 2023). In Tabelle 1 sind einige erfolgreiche Projektbeispiele und die daraus gewonnenen Erkenntnisse zusammengestellt. An diesen konkreten Beispielen lassen sich die Herausforderungen bei der Wiederverwendung erkennen und danach Methoden und Prozesse für die Baupraxis ableiten.

Tabelle 1: Ausgewählte Projektbeispiele zur Wiederverwendung tragender Stahl- und Holzbauteile

Projektbezeichnung	Beschreibung der Wiederverwendung	Erkenntnisse zur Wiederverwendung
<i>Halle Q Werkstadt-Areal (SZS 2023)</i>	<p>Alte Fahrleitungsmasten als Tragwerk für Galerieböden wiederverwendet (siehe Abbildung 4);</p> <p>Stückelung der Einbaukonstruktion wurde entsprechend den wiederverwendbaren Stahlmasten explizit geplant;</p> <p>Mastenteile mit angeschweißter Kopfplatte als Stütze mit Fußplatte wiederverwendet (siehe Abbildung 5);</p>	<p>Der Bauteilbestand wurde vorweg auf schadstoffbelastete Anstriche, Verkrümmungen oder Beschädigungen geprüft und anschließend ungeeignete Bauteile aussortiert;</p> <p>Das Ziel, möglichst viel und direkt wiederzuverwenden, erfordert eine kontinuierliche Interaktion zwischen Entwurf und Bemessung;</p>
<i>Christ Pavillon (Dechantsreiter et al. 2015)</i>	<p>Geplant als modulares Stahlbausystem, um es nach der Nutzung auf der Expo 2000 wieder in seine Einzelteile zerlegen zu können;</p> <p>Nachnutzung der Stahl-Glas-Konstruktion als Anbau an eine historische Klosterkirche;</p>	<p>Sind sämtliche Nutzungseinflüsse bekannt, ist eine direkte Wiederverwendung einfach umsetzbar;</p>
<i>Windkraftanlagen (Dechantsreiter et al. 2015)</i>	<p>Nach 20 bis 30 Jahren ist das vorgesehene Nutzungsende einer Windkraftanlage erreicht und diese können rückgebaut werden;</p> <p>Wiederverwendung von Bauteilen des Stahlrohrturms;</p>	<p>Prozess der Wiederverwendung lässt sich bei baugleichen Anlagen gut standardisieren;</p>
<i>Aufstockung Kopfbau Halle 118 (siehe Abbildung 6) (Stricker 2021)</i>	<p>Bauteile zur Wiederverwendung wurden zuerst gesucht, dann deren Abmessungen und Zustand bestimmt und der Neubau explizit danach geplant;</p> <p>Insgesamt 60 t Stahl wiederverwendet;</p> <p>Mehrere Transporte und Zwischenlager waren für die rückgebauten Stahlbauteile erforderlich;</p>	<p>Planungsprozess ist durch die begrenzte Auswahl an wiederverwendbaren Bauteilen wesentlich aufwändiger;</p> <p>Es braucht eine Neukonzeptionierung der üblichen Bauabläufe, um den logistischen und koordinativen Aufwand gering zu halten;</p> <p>Die termingerechte Lieferung aller eingeplanten gebrauchten Bauteile ist eine logistische Herausforderung;</p>

<p><i>Primeo Energie Kosmos – Science und Erlebnis Center für Klima & Energie (SZS 2023)</i></p>	<p>70 % der Bauteile sind wiederverwendet, recycelt, aus nachwachsenden Rohstoffen, Restposten, B-Ware oder Abfallprodukten;</p> <p>Es wurde ein computergestützter Entwurf mit den verfügbaren Stahlbauteilen durchgeführt;</p> <p>Die Fassadenkonstruktion wurde aus Stahlträgern rückgebauter Strommasten konstruiert;</p>	<p>Wiederverwendbare Bauteile aus regionaler Herkunft, damit der Aufwand für den Transport möglichst gering ist;</p> <p>Der Einsatz von Building Information Modeling beim Entwurfsprozess erleichtert zwar die Optimierung der neuen Konstruktion in Bezug auf die Wiederverwendung, jedoch ist dafür ein hoher Aufwand erforderlich, um vorweg alle erforderlichen Bauteildaten exakt aufzunehmen;</p>
<p><i>Recyclingzentrum Juch-Areal (SZS 2023)</i></p>	<p>Vor Beginn der Planung wurde eine koordinierte Suche nach möglichen gebrauchten Bauteilen durchgeführt („Bauteil Minen“);</p> <p>Wiederverwendung von Stahlbauteilen einer bestehenden Hallenkonstruktion;</p> <p>Zur Anwendung von Building Information Modeling wurde der Bestand mittels 3d-Laserscanner aufgenommen und danach eine digitale Bauteilliste erstellt;</p>	<p>Die Digitalisierung des Bauteilbestandes mittels Laserscanning ist nur bei klar strukturierten und zugänglichen Tragwerken baupraktisch sinnvoll, bei komplexen und verwinkelten Strukturen wird der Aufwand für die nachträgliche Datenaufbereitung unverhältnismäßig groß;</p>
<p><i>Historische Torfremise Schechen (Zuschnitt 2023)</i></p>	<p>Demontage und Wiederverwendung eines Holztragwerkes mit zimmermannsmäßigen Verbindungen;</p> <p>Neubau eines Wohnhauses und Werkstatt mit Integration der historischen Holzkonstruktion;</p>	<p>Der hohe Arbeitsaufwand wird durch viel Eigenleistung der Bauherren getragen;</p> <p>Reversible Holz-Holz-Verbindungen bilden die Grundlage für den selektiven Rückbau;</p>

Die zusammengetragenen Projektbeispiele zeigen, dass die Wiederverwendung von tragenden Stahl- und Holzbauteilen aktuell noch Pioniercharakter hat und der Prozess in keinem geregelten Umfeld stattfindet.

Bisher werden wiederverwendbare Bauteile in den meisten Fällen zuerst explizit gesucht, deren Abmessungen und Leistungseigenschaften aufgenommen und erst danach der Neubau geplant. Dementsprechend langwierig und aufwändig fällt der Planungsprozess dabei aus. Die Bauwirtschaft ist es gewohnt die benötigten Bauprodukte aus umfangreichen Katalogen frei auszuwählen. Besonders beim Holzbau erschweren das inhomogene Material und die individuellen Konstruktionsweisen eine systematische Wiederverwendung (Eh 2023). Außerdem gibt es laut Derix

(Zuschnitt 2023) für gebrauchte Holzbauteile (noch) kein standardisiertes Prüfverfahren. Hier bietet der Stahlbau Vorteile wie erprobte Methoden der Werkstoffprüfung (siehe Abschnitt 5.1.2), genormte Profilquerschnitte und geschraubte Verbindungen sowie Systembauten.



Abbildung 4: Galerietragwerk mit wiederverwendeten Stahlbauteilen (Quelle: baubüro in situ ag)



Abbildung 5: Wiederverwendung eines Stahlträgers mit angeschweißter Kopfplatte als Stütze (Quelle: baubüro in situ ag)



Abbildung 6: Stahlkonstruktion aus wiederverwendeten Stahlträgern zur Aufstockung einer bestehenden Lagerhalle (Quelle: baubüro in situ ag)

2.4.2 Experteninterviews

Fachkundige Personen aus dem Stahl- und Holzbausektor wurden zum Thema Wiederverwendung befragt, um ein repräsentatives Stimmungsbild aus Sicht der Wissenschaft und Praxis zu gewinnen. Nach einer umfassenden Hintergrundrecherche rund um das Thema Wiederverwendung, konnte eine konkrete Fragenliste zusammengetragen werden, welche als Leitfaden für Experteninterviews diente.

An dieser Stelle wird den nachfolgenden Personen (ungeordnete Liste) für ihren wertvollen Beitrag zu dieser Arbeit gedankt:

- Dr. Sc. Techn., Dipl. Bauing. ETH Roland Bärtschi, Bärtschi Partner Bauingenieure
- Dipl.-Ing. Markus Bernhard, IngPunkt Ingenieurgesellschaft für das Bauwesen mbH
- Dr.-Ing. Norbert Burger, BBI Ingenieure GmbH
- Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes, KIT Technologie und Management im Baubetrieb
- Dr.-Ing. Rainer Görlacher (i. R.) KIT Holzbau und Baukonstruktion
- Marc Kreissig, B.Sc., H. Wetter AG
- Dr.-Ing. Bernhard Mohr, Dr. Schütz Ingenieure Beratende Ingenieure im Bauwesen PartG mbB
- Prof. Dipl.-Ing. (FH) Florian Scharmacher, M.Sc., OTH Regensburg
- Dr.-Ing. Sabine Kuban und Andreas Stiene, Landesamt für Denkmalpflege, Esslingen
- N.N., Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft, Karlsruhe
- N.N., Leinweber Holzbau
- N.N., SchwörerHaus KG
- N.N., W. u. J. Derix GmbH & Co. KG
- Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jürgen Oberföll, Münzner-Bau GmbH
- N.N., Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter e.V.
- Michael Eh, Karl Streit GmbH & Co. KG
- Pascal Jahn, Veolia Umweltservice Süd GmbH & Co. KG
- N.N., JaKo Baudenkmalpflege GmbH
- Dr. Kristine Nore (lead Projekte "sirktre" und "circwood"), Omtre AS
- Dr. Martin Weigl-Kuska (lead Projekt „timberloop“), Holzforschung Austria – Österreichische Gesellschaft für Holzforschung
- Clemens Kaiser, Kaiser Abbruch GmbH
- Yannick Dörr, SER Sanierung im Erd- und Rückbau GmbH
- Remo Thalmann, M.Sc., ZPF Ingenieure AG
- Dr. Thomas Pinger, ZINQ GmbH & Co. KG
- Marcus Lippe und Jonas Pons, Salzgitter AG, Peiner Träger GmbH

Der erarbeitete Fragenkatalog deckt die folgenden Themenschwerpunkte ab:

- Umfang/Rahmen der Wiederverwendung,
- Bestandsanalyse,
- selektiver Rückbau,
- technische Bewertung,
- Vorgehen bei Entwurf und Bemessung,
- Hinweise für die Baupraxis.

Bei der Auswertung der Gesprächsprotokolle (siehe Anhang V und VI) wurden inhaltliche Gemeinsamkeiten zusammengeführt und unterschiedliche Ansichten beleuchtet. Die Kerninhalte werden im Folgenden kurz erläutert:

Ungeachtet des ökologischen Nutzens und persönlichen Bestrebens zur Wiederverwendung von Bauteilen, überwiegen derzeit noch viele technische und wirtschaftliche Vorteile beim Bauen mit neuen Bauprodukten. Aufgrund der fehlenden Routine wird für die Praxis eine geregelte Vorgehensweise zur Wiederverwendung von Bauteilen benötigt. Die wesentlichen Schritte sind dabei die Aufnahme und Analyse des wiederverwendbaren Bauteilbestandes und die Bauteilprüfung. Vorerst nicht wiederverwendet werden sollen durch Brand, Erdbeben und andere außergewöhnliche Einwirkungen geschädigte Bauteile. Kritisch gesehen wird im Allgemeinen die Wiederverwendung bei nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung der Bauteile, wie zum Beispiel Kranbahnträger.

Die Bestandsanalyse zur Wiederverwendung orientiert sich im Wesentlichen am Vorgehen und den Methoden der Bauwerkserhaltung. Dies geschieht vorrangig mittels visueller Zustandserfassung der Bauteile, da eine abschließende Prüfung erst nach dem Rückbau erfolgt. Die Gefahr von Holzschutzmitteln und schadstoffhaltigen Beschichtungen sorgt bei allen Befragten für Skepsis. Im Falle der Notwendigkeit des Nachweises von Schadstoffen, sind die folgenden Schritte zur Wiederverwendung sehr aufwändig. Für den selektiven Rückbau braucht es je nach Komplexität des Tragwerkes eine Rückbauplanung mit detaillierter Beschreibung der Demontagerihenfolge und statischen Berechnungen zu den Rückbauzuständen.

Die Bemessung gebrauchter Bauteile ist in den aktuell geltenden Normen nicht explizit definiert. Es sollten die Regeln der Eurocodes sinngemäß angewendet werden. Basis dafür bildet die Feststellung anzunehmender Materialkenngrößen. Im Stahlbau sind die erforderlichen Produkteigenschaften durch die Normen DIN EN 1993-1-1 (2010), DIN EN 1090-1 (2012) und DIN EN 1090-2 (2018) vorgegeben. Beim Holzbau bildet eine visuelle Sortierung nach DIN 4074-1 (2012) die Grundlage zur Zuordnung in eine Festigkeitsklasse mit entsprechenden Werten für Festigkeiten und Steifigkeiten. Darüber hinaus gibt es nationale Bestrebungen zur Realisierung einer Norm zur Sortierung von gebrauchten Holzbauteilen (Zuschnitt 2023).

2.4.3 Vorgehensweise

Das im Rahmen dieses Projektes erarbeitete Vorgehen zur Wiederverwendung von Bauteilen gründet auf der durchgeführten wissenschaftlichen Recherche, einem ausführlichen Austausch mit fachkundigen Personen und praxisnahen Begleituntersuchungen.

Dieses Forschungsprojekt zielt auf eine einheitliche technische Vorgehensweise ab, die eine Wiederverwendung von tragenden Holz- und Stahlbauteilen erlaubt. Im Fokus steht dabei der Nachweis der Qualität gebrauchter Bauteile des Holz- und Stahlbaus.

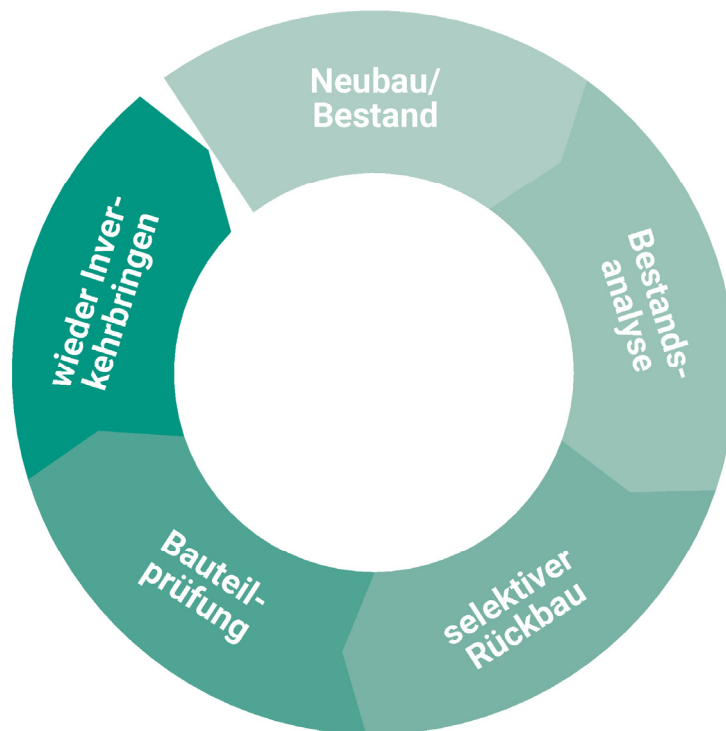


Abbildung 7: Kreislauf der Wiederverwendung

Ist die Entscheidung zum Abbruch eines Trag-/Bauwerks getroffen, kommt dieses grundsätzlich als Quelle für wiederverwendbare Bauprodukte in Frage. Eine Bestandsanalyse soll daher zunächst Aufschluss über das Potential zur Wiederverwendbarkeit der Bauteile geben. Hierzu gehört die Auswertung von Bestandsunterlagen und eine Objektbegehung mit Bauteilprüfung in begrenztem Umfang. Sind die Kriterien zur Wiederverwendung erfüllt, folgen der selektive Rückbau und die Bauteilprüfung. Die Daten der Bestandsanalyse bilden hierfür eine wertvolle Planungsgrundlage. Ein materialspezifisches Prüfprozedere, gesondert für Holz und Stahl, liefert den Qualitätsnachweis für ein geregeltes Wieder-Inverkehrbringen der gebrauchten Bauprodukte. Vor dem Wiedereinbau wird ggf. eine Aufbereitung der Bauteile erforderlich, um die geforderten Nutzungsansprüche gewährleisten zu können.

Abbildung 8 stellt den gesamten Prozess zur Wiederverwendung von tragenden Holz- und Stahlbauteilen dar. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Bestandteile im Detail erläutert.



Abbildung 8: Prozess zur Wiederverwendung von tragenden Holz- und Stahlbauteilen

3 Bestandsanalyse

3.1 Allgemeines

Bauwerke werden im Laufe der Zeit durch die natürliche Alterung bestimmter Baustoffe, Witterungs- und Umwelteinflüsse sowie veränderliche Einwirkungen beeinträchtigt (Fouad 2012). Schäden entstehen im Zusammenhang mit Fehlern bei der Planung und Bauausführung, nicht vorgesehener Nutzung und Einflüssen, mangelnder Instandhaltung und versehentlicher oder mutwilliger Zerstörung. Eine besondere Herausforderung stellt das Erkennen und Bewerten von Schäden im Bestand dar (Gänßmantel 2012). Zum einen spielt dabei die subjektive Wahrnehmung eine wesentliche Rolle. Zum anderen können sich Technische Regeln, welche eine objektive Bewertungsgrundlage darstellen, geändert haben. Die Arbeit im Bestand verlangt daher fachkundige Personen, wie zum Beispiel Bauingenieure und Architekten, mit entsprechender Erfahrung, nachweislich durch eine entsprechende Qualifikation (ARGEBAU 2006).

Vor diesem Hintergrund wird im Bauwesen mittels Bestandsanalyse der Zustand baulicher Anlagen erfasst und hinsichtlich Kriterien der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit bewertet. So werden Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen nach DIN 1076 (1999) in regelmäßigen Abständen auf Mängel und Schäden geprüft und die Ergebnisse in einem Bauwerksbuch dokumentiert. Einige weitere Regelwerke, die sich mit der Überprüfung und Bewertung bestehender Tragwerke beschäftigen sind in Tabelle 2 aufgelistet. Darin sind neben dem jeweiligen Anwendungsbereich einige relevante Inhalte zum Verfahren und Anforderungen aufgeführt.

Tabelle 2: Regelwerke zur Überprüfung und Bewertung bestehender Bau- und Tragwerke

DIN 1076 (1999)	<u>Anwendungsbereich</u> - Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen <u>Verfahren und Anforderungen</u> - Turnusmäßige Prüfung und Überwachung hinsichtlich Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit - Grundlage für Prüfung und Überwachung bilden die zugehörigen Bauwerksunterlagen - Sichtprüfung, handnahe Untersuchungen und weitergehende Kontrollmessungen durch einen fachkundigen Ingenieur - Prüfhinweise u. a. zu Stahl- und Holzkonstruktionen - Prüfdaten müssen fortlaufend dokumentiert werden
-----------------	--

DIN CEN/TS 17440 (2020)	<p><u>Anwendungsbereich</u></p> <ul style="list-style-type: none">- Bestehende Tragwerke und Teile davon im Anwendungsbereich von DIN EN 1990 (2002) <p><u>Verfahren und Anforderungen</u></p> <ul style="list-style-type: none">- Zuverlässigkeitsbewertung- Stufenartiger Bewertungsprozess (siehe Abbildung 9) mit unterschiedlicher Tiefe der Untersuchungen & Maßnahmen- Detaillierungs- und Genauigkeitsgrad ist von den Beteiligten vorab festzulegen- Sämtliche verfügbare Informationen aus Bestandsunterlagen, Inspektionen, Bestandsaufnahme und Tragwerksuntersuchungen gehen in die Bewertung ein
RÜV (2008) und RBBau Abschnitt C (2021)	<p><u>Anwendungsbereich</u></p> <ul style="list-style-type: none">- Bauliche Anlagen des Bundes <p><u>Verfahren und Anforderungen</u></p> <ul style="list-style-type: none">- Abgestufte Überwachung, bestehend aus Begehung mit Sichtkontrolle, (stichprobenartige) handnahe Untersuchung und weitergehende Untersuchung- Vorab sind Bestandsinformationen einzuholen- Beurteilung soll durch fachkundige Person (z. B. Ingenieur, Architekt, Prüfenieur) erfolgen- Prüfhinweise u. a. für Stahl-/Metallkonstruktionen und Holzbauwerke- Ergebnisse und Maßnahmen sind in einem Prüfprotokoll (Überwachungsliste) zu dokumentieren
Richtlinie ARGEBAU (2006)	<p><u>Anwendungsbereich</u></p> <ul style="list-style-type: none">- Alle baulichen Anlagen von privaten Eigentümern/Verfügungsberechtigten sowie von Bund, Ländern oder kommunalen Körperschaften <p><u>Verfahren und Anforderungen</u></p> <ul style="list-style-type: none">- Pflicht des Eigentümers/Verfügungsberechtigten eines Bauwerks zur regelmäßigen Instandhaltung- Abgestuftes Vorgehen bei der Überprüfung der Standsicherheit, bestehend aus Begehung durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten, Sichtkontrolle durch eine fachkundige Person und eingehende Prüfung durch eine besonders fachkundige Person- Fachkundige Person sind zum Beispiel Bauingenieure und Architekten, die eine entsprechende Berufserfahrung nachweisen können- Besonders fachkundige Person sind zum Beispiel Bauingenieure mit besonderer Qualifikation oder Prüfenieure/-sachverständige für Standsicherheit

VDI-Richtlinie 6200 (2010)	<p><u>Anwendungsbereich</u></p> <ul style="list-style-type: none">- Alle baulichen Anlagen außer Verkehrsbauwerke <p><u>Verfahren und Anforderungen</u></p> <ul style="list-style-type: none">- Verweis auf (ARGEBAU 2006)- Konkretisierung von Anforderungen an eine Bestandsdokumentation und deren prüfende Person- Inspektion einer Tragkonstruktion durch Sichtprüfung- Visuelle Überprüfung, handnahe Überprüfung, Materialprüfung- Bereiche mit Auffälligkeiten und Schädigungen erfordern besondere Betrachtung, wie handnahe Untersuchungen und Berechnungen
----------------------------	---

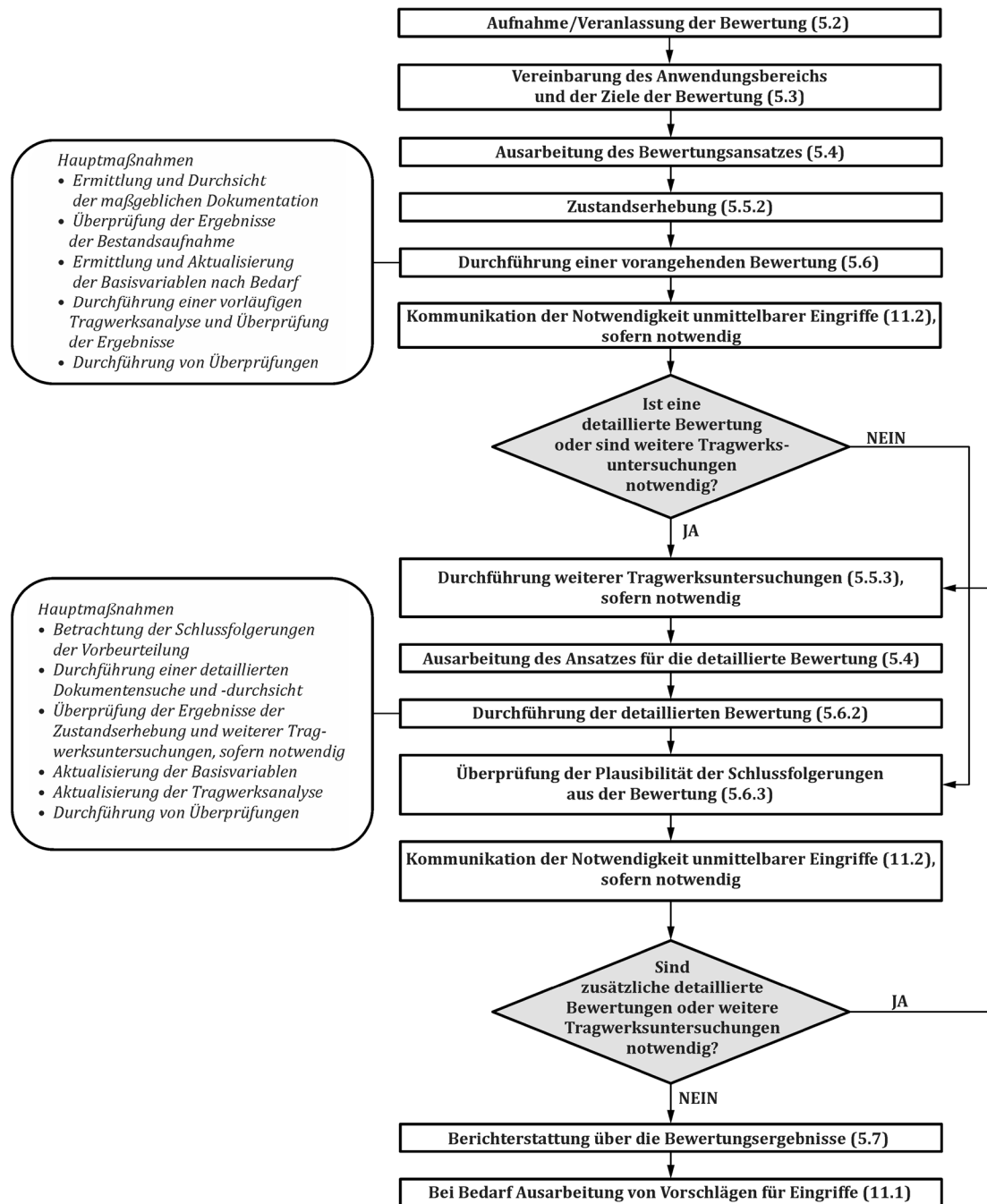


Abbildung 9: Flussdiagramm aus DIN CEN/TS 17440 (2020)

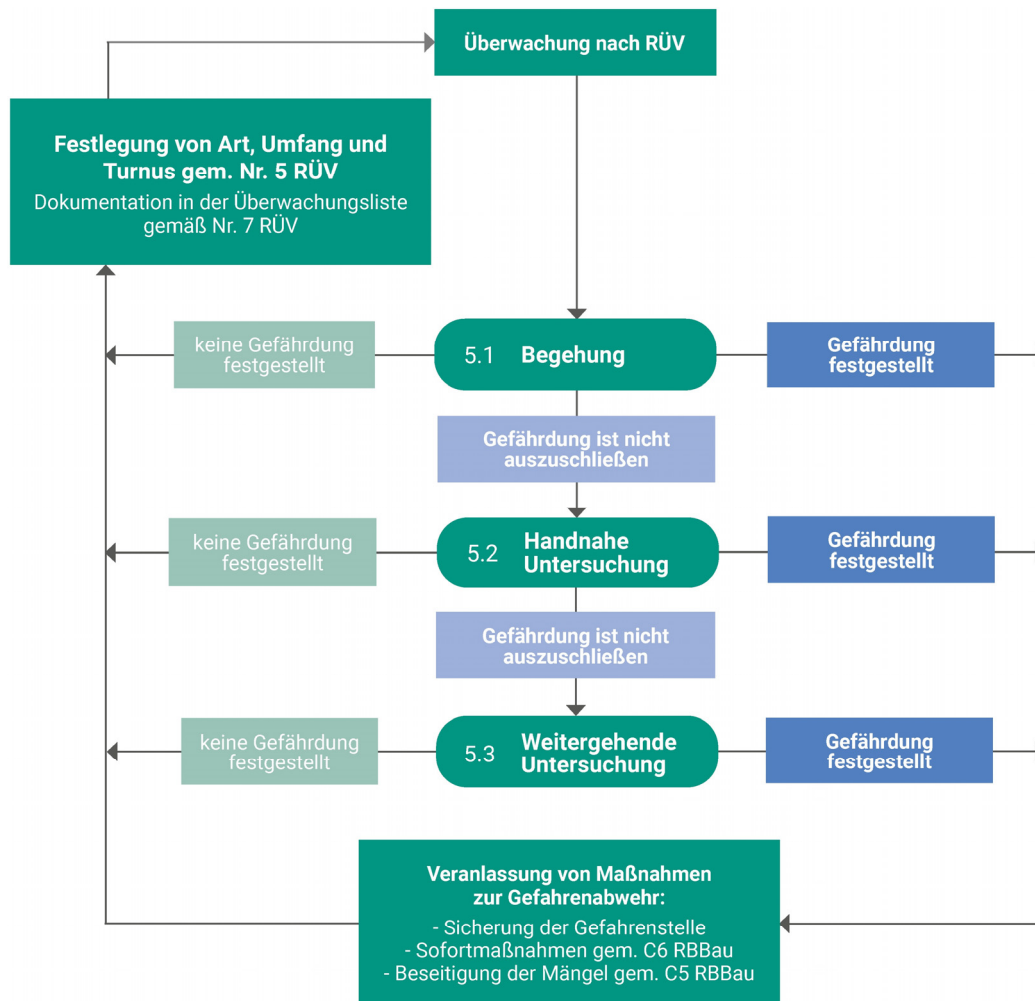


Abbildung 10: Flussdiagramm (Eigene Darstellung nach RÜV, 2008)

Details zur Bewertung	Stufe		
	Begehung	Inspektion	Eingehende Überprüfung
	durch den Eigentümer/ Verfügungsberechtigten	durch eine fachkundige Person	durch eine besonders fachkundige Person
Anforderungen an die Personen	-	Bauingenieure/Architekten, mindestens 5 Jahre Aufstellung von Standsicherheitsnachweisen, techn. Bauleitung & vergleichbare Tätigkeiten; davon mindestens 3 Jahre Aufstellung von Standsicherheitsnachweisen	Bauingenieure, mindestens 10 Jahre Aufstellung von Standsicherheitsnachweisen, techn. Bauleitung & vergleichbare Tätigkeiten; davon mindestens 5 Jahre Aufstellung von Standsicherheitsnachweisen & 1 Jahr techn. Bauleitung; Erfahrung mit vergleichbaren Konstruktionen: Massiv-, Stahl-, Holzbau
		Bauingenieure/ Architekten mit mindestens 3 Jahren Erfahrung mit vergleichbaren Konstruktionen	Prüfingenieure/ Prüfsachverständige für Standsicherheit für Massiv-, Stahl-, Holzbau Mitarbeiter von Prüfämtern, die bauaufsichtliche Prüfaufgaben im Bereich Standsicherheit wahrnehmen
Detailgrad der Bewertung	Besichtigung auf offensichtliche Mängel	Visuelle Überprüfung i.d.R. ohne techn. Hilfsmittel	Eingehende Überprüfung, ggf. mit technischen Hilfsmitteln, auch schwer zugänglicher Bereiche - Schwachstellenanalyse
Zusätzliches	Beachtung von Einflüssen, die die Standsicherheit zukünftig gefährden könnten	-	Bewertung der Relevanz von eventuell aufgedeckten Schwachstellen bzgl. der Standsicherheit - ggf. Sicherheitsanalyse
Dokumentation	Dokumentation von Mängeln/Schäden an tragenden Bauteilen	Dokumentation der Ergebnisse, notwendiger Maßnahmen im Bauwerksbuch	Dokumentation der Ergebnisse im Bauwerksbuch
Information des Eigentümers	Begehung durch Eigentümer selbst	Erforderliche Maßnahmen sind dem Eigentümer mitzuteilen	Information des Eigentümers bei unzureichender Restsicherheit
Weitere Informationen	Checkliste Anforderungen an diese Stufe in Anhang C der Richtlinie	Checkliste mit Mindestanforderungen in Anhang D der Richtlinie	-

Abbildung 11: Bewertungsstufen nach VDI 6200 (2010), entnommen aus (Loebjinski 2021)

In Abbildung 9 und Abbildung 10 als Flussdiagramm und in Abbildung 11 als Tabelle, sind verschiedene Verfahrensweisen zur Überprüfung und Bewertung von Bestandsbauwerken dargestellt. Diese Anleitungen verfolgen im Wesentlichen das Ziel der Weiternutzung/-verwendung im Sinne der Bauwerkserhaltung. Hier wird mit der Bestandsanalyse die Wiederverwendung von tragenden Holz- und Stahlbauteilen fokussiert. Die Ziele mögen unterschiedlich erscheinen, im Kern beider steht die Aufnahme und Bewertung eines Zustandes. Daher kann die Bestandsanalyse zur Wiederverwendung im Großen und Ganzen aus vorhandenen Regelungen und Methoden hergeleitet werden.

Das Vorgehen bei der Bestandsanalyse zur Wiederverwendung wird im nächsten Abschnitt genauer beschrieben. Allgemein gilt, je früher wiederverwendbare Bauteile identifiziert werden, desto geringer ist das Risiko einer unbewussten Zerstörung durch Abbruch (Dechantsreiter et al. 2015). Der Aufwand sollte jedoch immer im Verhältnis zum Nutzen stehen (Müller 2015). In vorliegender Aufgabe bedeutet dies, mit verhältnismäßigem Aufwand und Mitteln das Potenzial zur Wiederverwendung aufzuzeigen und als ersten Schritt eine gesicherte Datengrundlage zur Qualitätssicherung gebräuchter Bauprodukte zu schaffen. Im Fokus stehen dabei tragende Bauteile des Holz- und Stahlbaus.

Eine allgemeine Methode für die Bestandsanalyse zur Wiederverwendung von Bauprodukten enthält (FCRBE 2020). Das darin enthaltene Verfahren bezieht sich auf verschiedenste Baustoffe, tragende und nicht tragenden Bauteile und technische Anlagen eines Gebäudes und ist daher recht unspezifisch. In (Devènes et al. 2022) wird die Bestandsanalyse von Stahlbetonbauteilen näher beschrieben. Dieser Beurteilungsprozess berücksichtigt ein Empfängergebäude und schränkt damit die Wiederverwendung durch eine Nutzungsklasse ein. Beide vorangestellten Vorgehensweisen berücksichtigen kein darauf aufbauendes Prüfverfahren für tragende Holz- und Stahlbauteile.

3.2 Vorgehensweise

Bestandsbauwerke sind individuell, ihr Zustand ist neben ordnungsgemäßer Planung, Bauausführung und sorgfältiger Instandhaltung, von einem bestimmungsgemäßen Gebrauch abhängig. Das Vorgehen einer Bestandsanalyse mit dem Ziel der Wiederverwendung lässt sich folglich nur bedingt verallgemeinern und grundsätzlich sind alle Bauteile im Einzelnen zu untersuchen. Dies geht auch aus den Bestandsuntersuchungen von (Bisinger 2023) und (Link 2023) hervor. Auch bei gleicher Bauform lassen sich aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren im Bestand keine allgemeingültigen Vorgaben festlegen. Jedoch braucht es eine strukturierte Vorgehensweise für eine systematische und nachweisbare Qualitätsbewertung gebrauchter Bauprodukte.

Die Abbildung 12 zeigt schematisch die vorgesehenen Schritte der Bestandsanalyse zur Wiederverwendung. Demnach soll mit verhältnismäßigem Aufwand die Wiederverwendbarkeit von Bauteilen im Bestand durch eine fachkundige Person abgeschätzt werden. Die Qualifikation einer fachkundigen Person entspricht den Festlegungen in „Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten“ der Bauministerkonferenz (ARGEBAU) in der geltenden Fassung. Die aufgenommenen Bauteildaten bilden außerdem die Grundlage für:

- die Planung neuer Bauwerke mit gebrauchten Bauteilen,
- den bauteilschonenden Rückbau,
- die Bauteilprüfung,
- etwaige (erforderliche) Aufbereitungsmaßnahmen.

Der Leitfaden zu diesem Bericht beinhaltet dieses zweistufige Verfahren, bestehend aus Erst- und Detailprüfung. Im Rahmen der Erstprüfung werden durch eine fachkundige Person bestimmte Grundvoraussetzungen zur Wiederverwendung geprüft und der danach in Frage kommende Bauteilbestand inventarisiert. Dies erfolgt auf Basis der Bestandsunterlagen. Fehlende Informationen sind durch eine Vorbegehung zu ergänzen. Die darauffolgende Detailprüfung sieht die Aufnahme spezifischer Bauteilinformationen im Rahmen einer Objektbegehung durch eine fachkundige Person vor. Als erprobtes Mittel der Bauwerkserhaltung, kommen zur Zustandserfassung der Bestandsbauteile vorwiegend visuelle Methoden zum Einsatz. Ziel ist, die

Wiederverwendbarkeit auf pragmatische Weise zu bewerten. Offensichtlich geschädigte Bauteile bzw. geschädigte Teile davon, die für tragende Zwecke nicht mehr nutzbar sind, werden danach aussortiert, mit der Option auf eine Weiterverwendung oder ein (hochwertiges) Recycling. Vor Ort werden die wiederverwendbaren Bauteile gekennzeichnet, zum einen um die Rückverfolgbarkeit aller dokumentierten Bauteildaten sicherzustellen zum anderen um als Arbeitsgrundlage für die Prozesse des selektiven Rückbaus und der Bauteilprüfung zu dienen.

Die einzelnen Schritte dieser Vorgehensweise werden in den folgenden Abschnitten konkretisiert.

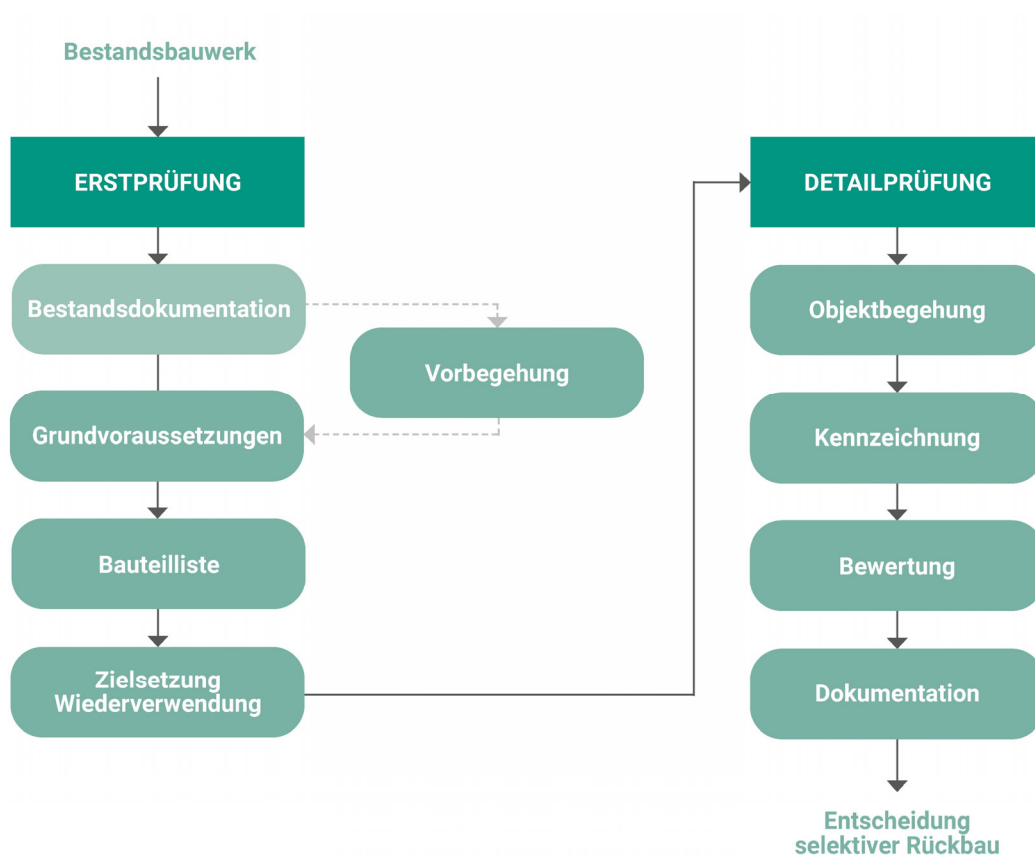


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Vorgehensweise bei der Bestandsanalyse zur Wiederverwendung

3.3 Bestandsunterlagen

Grundlage für den Prozess der Wiederverwendung bilden die verfügbaren Bestandsunterlagen. Im Wesentlichen sind dies:

- Bauvorlagen (Bauantragsdokumente),
- (geprüfte) bautechnische Nachweise (Konstruktionspläne und statische Berechnungen),
- Ausführungsunterlagen,

- Bauüberwachungsprotokolle,
- Bau- und Sachverständigengutachten,
- Prüfberichte und Abnahmeprotokolle,
- Prüfbescheinigungen,
- Ü-Zeichen bzw. CE-Kennzeichen und Leistungserklärungen
- bauaufsichtliche Ver- und Anwendbarkeitsnachweise,
- Unterlagen zu Umbauten und Nutzungsänderungen
- Unterlagen zu Bauwerksprüfungen und Instandsetzungen.

Eine aussagekräftige Ergänzung dazu können Gesprächsprotokolle mit Orts- und Betriebskundigen sein.

Weitere sinnvolle Ergänzungen zu den Bestandsunterlagen liefern:

- Normenrecherche zum (damaligen) Stand der Technik,
- Austausch mit Fachgutachtern,
- Vorbegehung mit Fotodokumentation.

Aus den Bestandsunterlagen lassen sich wichtige Informationen zu Bauwerk und den einzelnen Bauteilen gewinnen. In Tabelle 3 bis Tabelle 6 sind Daten aufgelistet, die bei der Sichtung der Unterlagen von Interesse sein können (Link 2023). Diese Datensammlung soll den Charakter einer „Checkliste“ haben. Sie ist keinesfalls abschließend und wird in den seltensten Fällen durchgängig vervollständigt werden können. Je nach Situation können manche Daten weggelassen werden, manche dieser Informationen ergeben sich erst im Verlauf einer Begehung und Prüfung.

Ergänzend dazu wird auch auf die Inhalte der DIN SPEC 91484 (2023) verwiesen.

Tabelle 3: Allgemeine Bauwerksdaten die zum Bestandsbauwerk aufzunehmen sind

Information	Beschreibung
Bauwerkstyp	- bspw. Wohngebäude, Bürogebäude, Halle
Bauweise	- Art der Baukonstruktion
Baujahr	- Jahresangabe (liefert einen Anhaltspunkt für den damaligen Stand der Technik)
Standort	- Ortsangabe - Lage ü. NN - Besonderheiten der umgebenden Topografie - vorherrschende Umgebungsbedingungen
Abmessungen	- Brutto-Grundfläche (BGF) - Brutto-Rauminhalt (BRI) - Bauwerkshöhen

Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> - ursprüngliche Nutzung - aktuelle Nutzung - belegbare Nutzungsänderungen und Nutzungsdauern - vermutete Nutzungsänderungen und Nutzungsdauern
Umbau-/Erweiterungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - realisierte und dokumentierte Umbauten mit Datumsangabe - vermutete Umbauten mit Datumsangabe
Instandsetzungs-/Sanierungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - stattgefundene und dokumentierte Tragwerksüberprüfungen - realisierte und dokumentierte Instandsetzungsmaßnahmen mit Datumsangabe - vermutete Instandsetzungsmaßnahmen mit Datumsangabe

Tabelle 4: Allgemeine Bauteildaten die für jedes wiederverwendbare Bauteil aufzunehmen sind

Kategorie	Information	Beschreibung
<i>Kennzeichnung</i>	Nummer	- Nummerierung zur eindeutigen Identifikation
	Position	- Angabe der genauen Lage innerhalb des Bauwerkes
	Bezeichnung	- Benennung des jeweiligen Konstruktionselementes entsprechend seiner Funktion
<i>Spezifikationen</i>	Hersteller	- Bezeichnung des Herstellers
	Herstelljahr	- Datumsangabe
	Technische Dokumentation	<ul style="list-style-type: none"> - Auflistung der zum Zeitpunkt der Erstellung zugehörigen, geltenden Normen - Auflistung der vorhandenen technischen Spezifikationen
	Material	<ul style="list-style-type: none"> - Benennung des Materials - Auflistung der nachgewiesenen Werte zu den physikalischen und mechanischen Eigenschaften
	Ausführung	- Auflistung der relevanten und vorhandenen Eignungsnachweise, bspw. für Schweißen, Kleben
	Einbausituation	<ul style="list-style-type: none"> - Art der Verbindung - Art und Anzahl der Verbindungsmittel je Verbindung - Einschätzung der Lösbarkeit der Verbindung
	Belastungssituation	<ul style="list-style-type: none"> - planmäßige Einwirkungen - vermutete nicht planmäßige Einwirkungen
<i>Geometrie</i>	Querschnittsbezeichnung	- Benennung eines Standardquerschnittes oder Beschreibung der Querschnittsform
	Querschnittsabmessungen	- Maßangabe
	Bauteillänge	- Maßangabe

Tabelle 5: Ergänzende stahlspezifische Bauteildaten die ggf. aufzunehmen sind

Kategorie	Information	Beschreibung
<i>Zustand</i>	Schweißung	- Art der Schweißung
	Materialermüdung	- Anzeichen auf eine dynamische Beanspruchung
<i>Aufbereitung</i>	Anstrich	- Art und Umfang des Anstrichs
	Beschichtung	- Art und Umfang der Beschichtung
<i>Rückbau</i>	Zugänglichkeit	- Bauteil voll/bedingt/nicht zugänglich - Verbindung voll/bedingt/nicht zugänglich
	Sortenreinheit	- Angabe und Beschreibung weiterer angefügter Schichten
<i>Anmerkungen</i>	Schadstoffe	- Auflistung belegbarer Schadstoffe im Grundmaterial, im Anstrich, der Beschichtung oder weiteren dem Bauteil angefügten Schichten - Auflistung vermuteter Schadstoffe im Grundmaterial, im Anstrich, der Beschichtung oder weiteren dem betreffenden Bauteil angefügten Schichten Hinweis: Altanstriche und -beschichtungen sind besonders auf den Gehalt von Asbest, Teer, Chromat, Blei und Cadmium zu untersuchen.
	Rückbau	- Auflistung von Hinweisen für den Rückbau
	Bauteilprüfung	- Auflistung von Hinweisen für die Bauteilprüfung

Tabelle 6: Ergänzende holzspezifische Bauteildaten die ggf. aufzunehmen sind

Kategorie	Information	Beschreibung
<i>Zustand / Verwendung</i>	Nutzungs-klasse	- Angabe der geplanten Nutzungs-klasse nach DIN EN 1995-1-1 - Angabe der vermuteten Nutzungs-klasse nach DIN EN 1995-1-1
	Gebrauchsklasse	- Angabe der geplanten Gebrauchsklasse nach DIN 68800 - Angabe der vermuteten Gebrauchsklasse nach DIN 68800
	Klebung	- Bezeichnung des Klebstofftyps - Angabe des Klebstoffherstellers - Angaben zur Ausführung der Klebung, wie z. B. Firmenname und Datum - Auflistung aller dokumentierter Kenngrößen zur Produktion, wie z. B. Umgebungs-temperatur, Luftfeuchte, Leimauftragsmengen und Pressdrücke
	Materialermüdung	- Anzeichen auf eine dynamische Beanspruchung
<i>Aufbereitung</i>	Anstrich	- Art und Umfang des Anstrichs
	Beschichtung	- Art und Umfang der Beschichtung

<i>Rückbau</i>	Zugänglichkeit	- Bauteil voll/bedingt/nicht zugänglich - Verbindung voll/bedingt/nicht zugänglich
	Sortenreinheit	- Angabe und Beschreibung weiterer angefügter Schichten
<i>Anmerkungen</i>	Schadstoffe	- Auflistung belegbarer Schadstoffe im Holz, im Anstrich, der Beschichtung oder weiteren dem Bauteil angefügten Schichten - Auflistung vermuteter Schadstoffe im Holz, im Anstrich, der Beschichtung oder weiteren dem betreffenden Bauteil angefügten Schichten Hinweis: Altholz, -anstriche, und -beschichtungen sind besonders auf den Gehalt von Asbest, künstliche Mineralfasern, Polychlorierte Biphenyle (PCB), Formaldehyd, Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe und chemische Holzschutzmittel zu untersuchen. Bis ins Jahr 1984 war vorbeugender chemischer Holzschutz verbindlich. Bis zum Jahr 2000 wurden Holzbauteile vorwiegend mit Holzschutzmitteln behandelt. Die in der Bundesrepublik Deutschland bis Ende der 1980er-Jahre zur Behandlung von tragenden Holzbauteilen eingesetzten chemischen Holzschutzmittel in Gebäuden sind vor allem: Pentachlorphenol (PCP), Lindan (HCH) und Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT), Teer (PAK), Quecksilber, Arsen, Bor, Chrom, Fluorid, Kupfer, Zink. (LFU 2019)
	Rückbau	- Auflistung von Hinweisen für den Rückbau
	Bauteilprüfung	- Auflistung von Hinweisen für die Bauteilprüfung

Erfahrungen aus dem Bauen im Bestand und der Bauwerkserhaltung lehren, dass in den wenigsten Fällen umfassende und aktuelle Bestandsunterlagen vorliegen. Nach (Dietsch & Winter 2009) fehlen insbesondere baustatische Unterlagen. Die Untersuchungen von (Bisinger 2023) und (Link 2023) bestätigen dies. Oftmals werden Bauunterlagen nach Ablauf der Gewährleistungsfrist verworfen oder gehen beim Besitzerwechsel verloren. Mögliche weitere Quellen für Bestandsunterlagen können Bauämter und beim Bau beteiligte Planungsbüros sein.

Der Wiederverwendung fördernd wäre künftig eine ordentliche und gesicherte Bestandsdokumentation in Form eines (verpflichtenden) Bauwerksbuches. Ein möglicher Aufbau ist in (Dietsch & Köhler 2010) enthalten. Eine neuere Methode ist ein „Digitaler Zwilling“ des Bauwerks mittels Building-Information-Modelling (BIM). Neben einem „Digitalen Zwilling“ eines Neubaus, können Bestandsbauwerke auch nachträglich digital erfasst werden. Im „Digitalen Zwilling“ können die realen Ressourcen visualisiert und überprüft sowie anschließend Vorhersagen getroffen werden, die Entscheidungen der Planung und Durchführung der Wiederverwendung unterstützen. (Bettels 2020)

3.4 Objektbegehung

3.4.1 Allgemeines

Die Begehung ist von fachkundigen Personen durchzuführen, die mit der Begutachtung von Bestandskonstruktionen vertraut sind (ARGEBAU 2006). Die in diesem Bereich geltenden Normen, Merkblätter, Leitlinien und weitere Regelwerke sollen der fachkundigen Person dabei bekannt sein. Detaillierte Erläuterungen der verschiedenen Methoden und Verfahren zur Begutachtung sind nicht Bestandteil dieser Arbeit. Hierzu wird auf die umfangreiche Fachliteratur verwiesen. Einen allgemeinen Überblick zur Bauwerksdiagnostik gibt (Fouad 2012). Im Folgenden wird ein Überblick zum Vorgehen bei der Begehung im Zuge der Bestandsanalyse gegeben mit dem Ziel der Wiederverwendung von tragenden Holz- und Stahlbauteilen.

Aus der Objektbegehung sollte hervorgehen:

- Beurteilung der grundlegenden Wiederverwendbarkeit,
- Einschätzung zu schadstoffhaltigen Materialien bzw. Ausschluss einer Schadstoffbelastung,
- Auswahl und Quantifizierung wiederverwendbarer Bauteile.

Dafür eignen sich als Untersuchungsmethoden:

- Sichtkontrolle,
- handnahe Überprüfung,
- (stichprobenhafte) Materialanalyse.

Sind keine oder nur sehr lückenhafte Bestandsunterlagen vorhanden, wird wie im vorherigen Abschnitt erwähnt, eine Vorbegehung empfohlen. Dabei sollten möglichst viele Daten zu den Tabellen aus Abschnitt 3.3 aufgenommen bzw. lückenhafte Daten in der Dokumentation ergänzt werden. Für nachträgliche Auswertungen hat sich nach (Link 2023) die Erstellung einer umfassenden Fotodokumentation bewährt. Der durch eine Vorbegehung entstehende Mehraufwand ist vorweg mit dem Auftraggeber der Wiederverwendung abzustimmen.

Bei der Objektbegehung sind die vorhandenen Bestandsunterlagen durch eine fachkundige Person stichprobenhaft mit der tatsächlichen Bauausführung auf Übereinstimmung abzugleichen. Im Zuge der Objektbegehung ist stets auch auf Anzeichen zu achten, die auf eine von der Planung abweichende oder in sonstiger Weise nicht ordnungsgemäße Ausführung bzw. unsachgemäße Nutzung hindeuten. In solchen Fällen sollte eine Überprüfung/Analyse der Bauteilzustände, Materialeigenschaften, etc. durchgeführt werden.

Anschließend sollte eine visuelle Zustandsfeststellung der einzelnen Bauteile erfolgen. An dieser Stelle ist festzuhalten, dass hierbei lediglich offensichtliche Schäden an den Bauteilen erfasst werden. Bei vermutlichen Schäden und zur eindeutigen Bewertung dieser sind weitere Untersuchungen notwendig. Entsprechende Bauteile sind dementsprechend zu kennzeichnen.

Bauteilschäden entstehen infolge natürlicher Alterung oder Fehlern bei der Planung und Bauausführung, aber auch durch falsche Benutzung, mangelnde Instandhaltung, Brand, Naturkatastrophen sowie versehentliche oder mutwillige Zerstörung (Gänßmantel & Horn 2012). Zu den typischen Anzeichen auf Schäden, bei Bauteilen wie Stützen, Dach- und Deckenträgern, gehören (Sing 2023):

- Verformungen,
- Risse,
- Feuchtestellen,
- Korrosion.

Weitere Untersuchungen wie Bauteilprüfungen können prinzipiell vor oder nach dem Rückbau durchgeführt werden. Jedoch sind nicht alle Bauteile vor dem Rückbau zugänglich. Aufgrund der Einbaubedingungen, der Gefahr von Rückbauschäden und dem Vorteil der kompletten Zugänglichkeit wird eine Bauteilprüfung nach dem Rückbau empfohlen.

In Tabelle 7 sind mögliche Untersuchungsmethoden in Abhängigkeit der Bauteilzugänglichkeit zusammengestellt.

Tabelle 7: Untersuchungsmethoden in Abhängigkeit der Bauteilzugänglichkeit

Zugänglichkeit	Beschreibung	Methode
<i>Voll</i>	Bauteil ist allseitig einsehbar und zugänglich.	i) Analyse der Bestandsunterlagen ii) Sichtkontrolle iii) handnahe Überprüfungen iv) (stichprobenhafte) Materialanalyse
<i>Bedingt</i>	Bauteil ist nicht allseitig einsehbar, da es durch weitere Schichten verdeckt wird, kann aber durch möglichst schadensfreie Entfernung der weiteren Schichten, oder durch Herstellung einer Öffnung, zugänglich gemacht werden.	i) Analyse der Bestandsunterlagen ii) Sichtkontrolle iii) handnahe Überprüfungen iv) (stichprobenhafte) Materialanalyse
<i>Nicht</i>	Bauteil ist weder einsehbar noch zugänglich und kann vor dem Rückbau auch nicht zugänglich gemacht werden, die Entscheidung der Wiederverwendbarkeit ist von der Qualität der Bestandsunterlagen abhängig.	i) Analyse der Bestandsunterlagen

Wie zu Beginn dieses Abschnitts erläutert, kann die Wiederverwendbarkeit anhand bestimmter Zustandsmerkmale festgesetzt werden. In den folgenden beiden Abschnitten wird näher auf die Begutachtung von Stahl- und Holzbauteilen eingegangen.

3.4.2 Begutachtung von Stahlbauteilen

Wiederverwendbare Bauprodukte des Stahlbaus können z. B. Träger und Stützen aus I- oder H-Profilen aus Baustahl sowie Dacheindeckungen aus Trapezblech sein. Zur visuellen Begutachtung durch eine fachkundige Person in Hinblick auf eine Wiederverwendung, sind in Tabelle 8 wesentliche Merkmale zusammengestellt.

Tabelle 8: Begutachtungsmerkmale zur Wiederverwendung von Stahlbauteilen

Merkmal	Beschreibung	Anmerkung
<i>Oberfläche</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Verschmutzungen - Verfärbungen - Anstriche - Beschichtungen - Rußablagerung 	<ul style="list-style-type: none"> - Gebrauchstauglichkeit/ Funktionstüchtigkeit reduziert / nicht mehr gewährleistet <p>Hinweis: Bei Schadstoffverdacht ist eine Schadstoffanalyse durchzuführen.</p>
<i>Korrosion</i>	- örtliche oder flächige Zersetzung	<ul style="list-style-type: none"> - Korrosion ist nur oberflächlich und verursacht keine nennenswerte Beeinträchtigung des Tragverhaltens - Korrosion beeinträchtigt das Tragverhalten durch Querschnittsreduktion bzw. Verschlechterung der technischen Eigenschaften <p>Hinweis: Nicht alle Korrosionserscheinungen sind oberflächlich erkennbar.</p>
<i>Verformungen</i> <i>a) planmäßig</i> <i>b) unplanmäßig</i>	zu a) - Überhöhung (global) zu b) - Durchbiegung (global) - Verdrehung (global) - Knicken/Beulen (global) - Schiefstellung (global) - Krümmung (global/lokal) - Deformation (lokal)	Zu b) - Standsicherheit/ Gebrauchstauglichkeit/ Funktionstüchtigkeit reduziert / nicht mehr gewährleistet
<i>Abnutzung</i>	- örtlicher oder flächiger Materialabtrag	<ul style="list-style-type: none"> - Abnutzung ist nur oberflächlich und verursacht keine nennenswerte Beeinträchtigung des Tragverhaltens - Abnutzung beeinträchtigt das Tragverhalten durch Querschnittsreduktion bzw. Verschlechterung der technischen Eigenschaften
<i>Risse</i>	Riss im - Stahl - Schweißnaht - Beschichtung	Hinweis: Nicht alle Risse sind oberflächlich erkennbar.
<i>Querschnittsschwächungen</i>	- bspw. Bohrloch, Durchbruch, Ausnehmung	- Reduktion der Querschnittstragfähigkeit

<i>Defekt (mechanische Beschädigung)</i>	- Bruch	<ul style="list-style-type: none"> - Gewaltbruch (spontaner, schneller Bruch nach einmaliger Überbelastung) - Zeitbruch (Ermüdungsbruch, Schwingungsbruch, Korrosionsbruch, Verschleißbruch) Ursache: <ul style="list-style-type: none"> - (Einmalige) statische/dynamische Überbeanspruchung - Unvorhergesehene Einwirkung - Fehlerhafte Bemessung
<i>Schadstoffe</i>	Im Verdachtsfall Analyse auf: <ul style="list-style-type: none"> - Arsen (Farbpigmente in Farben und Lacken) - Kupfer (Farbpigmente in Farben und Lacken) - Quecksilber (Farbpigmente in Farben und Lacken) - Blei (Farbpigmente in Farben und Lacken, Bleimennige für Korrosionsschutzanstriche) - Cadmium (Farbpigmente in Farben und Lacken) - Chrom (Farbpigmente in Farben und Lacken) - Nickel (Farbpigmente in Farben und Lacken) - Zink (Farbpigmente in Farben und Lacken) 	

Bei der Objektbegehung sind diese Merkmale mittels geeigneter Methoden festzustellen (siehe Tabelle 7) und ergänzend zu den Daten der Bestandsunterlagen zu dokumentieren.

3.4.3 Begutachtung von Holzbauteilen

Wiederverwendbare Bauprodukte des Holzbaus können z. B. Träger und Stützen aus Schnittholz oder Brettschichtholz sowie Platten und Scheiben aus OSB-Platten sein. Zur visuellen Begutachtung durch eine fachkundige Person in Hinblick auf eine Wiederverwendung, sind in Tabelle 9 wesentliche Merkmale zusammengestellt.

Tabelle 9: Begutachtungsmerkmale zur Wiederverwendung von Holzbauteilen

Merkmal	Beschreibung	Anmerkung
<i>Oberfläche</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Verschmutzungen - Verfärbungen/ Vergrauungen - Anstriche, Holzschutzmittel (HSM) - Feuchtestellen (aus vergangener oder vorhandener Durchfeuchtung) - Algen, Schimmelpilze - Rußablagerung, Brandflecken, Verkohlung 	<ul style="list-style-type: none"> - Gebrauchstauglichkeit/ Funktionstüchtigkeit reduziert / nicht mehr gewährleistet <p>Hinweis: Bei Schadstoffverdacht ist eine Schadstoffanalyse vorzusehen.</p>
<i>Fäulnis/Korrosion, Insektenbefall</i>	<ul style="list-style-type: none"> - örtliche oder flächige Zersetzung des Verbindungsmittels im Holzwerkstoff - örtliche oder flächige Auflösung des Zellgefüges 	<ul style="list-style-type: none"> - Korrosion ist nur oberflächlich und verursacht keine nennenswerte Beeinträchtigung des Tragverhaltens - Korrosion beeinträchtigt das Tragverhalten durch Querschnittsreduktion bzw. Verschlechterung der technischen Eigenschaften <p>Hinweis: Nicht alle Korrosionserscheinungen sind oberflächlich erkennbar.</p>
<i>Verformungen</i> a) <i>planmäßig</i> b) <i>unplanmäßig</i>	<p>zu a)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Überhöhung (global) <p>zu b)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Durchbiegung (global) - Verdrehung (global) - Knicken (global) - Schiefstellung (global) - Krümmung (global/lokal) - Quellen/Schwinden (global/lokal) - Deformation (lokal) 	<p>zu b)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Standsicherheit/ Gebrauchstauglichkeit/ Funktionstüchtigkeit reduziert / nicht mehr gewährleistet.
<i>Abnutzung</i>	<ul style="list-style-type: none"> - örtlicher oder flächiger Materialabtrag 	<ul style="list-style-type: none"> - Abnutzung ist nur oberflächlich und verursacht keine nennenswerte Beeinträchtigung des Tragverhaltens - Abnutzung beeinträchtigt das Tragverhalten durch Querschnittsreduktion bzw. Verschlechterung der technischen Eigenschaften

<i>Risse</i>	detektierbar im - Holz - Klebstoffuge	- Rissbildung im Holz ist vom Umgebungsklima abhängig - Angabe von Datum, Umgebungsfeuchte und Holzfeuchte bei der Risskontrolle - Beurteilung der zulässigen Risstiefe ist situationsbedingt und erfordert eine fachkundige Person Hinweis: Nicht alle Risserscheinungen sind oberflächlich erkennbar (z. B. Risse im Querschnittsinneren).
<i>Klebstoffe</i>	- Klebstofftyp	Hinweis: Bei Verdacht auf Klebstofftyp II, bspw. UF-Harz ist eine Bestimmung des Klebstofftyps vorzusehen.
<i>Querschnittsschwächungen</i>	- bspw. Bohrloch, Durchbruch, Ausnehmungen	- Reduktion der Querschnittstragfähigkeit
<i>Defekt (mechanische Beschädigung)</i>	- bspw. Faserbruch, Druckfalten	Ursache: - (einmalige) statische/dynamische Überbeanspruchung - unvorhergesehene Einwirkung - fehlerhafte Bemessung - nicht bestimmungsgem. Klebstoff
<i>Schadstoffe / Holzschutzmittel (HSM)</i>	Im Verdachtsfall Analyse auf: - Arsen (Wirkstoff in HSM) - Kupfer (Wirkstoff in HSM) - Quecksilber (Wirkstoff in HSM) - Blei (Farbpigmente in Farben) - Chrom (Farbpigmente in Farben, HSM) - Chlor (PCB) (Flammschutzmittel in Farben und Lacke, Beachte PCB-Richtlinie) - Fluor (Wirkstoff in HSM) - PCP (Pentachlorphenol) (Wirkstoff in HSM, beachte PCP-Richtlinie) - Lindan (HCH) (Wirkstoff in HSM) - DDT (Wirkstoff in HSM) - Teeröl (PAK, Wirkstoff in HSM)	

Bei der Objektbegehung sind diese Merkmale mittels geeigneter Methoden durch eine fachkundige Person festzustellen (siehe Tabelle 7) und ergänzend zu den Daten der Bestandsunterlagen zu dokumentieren. Für eine Beschreibung üblicher Methoden handnaher Untersuchungen von Holzbauteilen wird auf (Dietsch & Köhler 2010) verwiesen.

3.4.4 Hinweise zu Bauwerkstypen und Bauweisen

Im Fokus dieses Forschungsprojektes liegen Bauwerke des Stahl- und Holzbaus, die in den letzten 40 bis 60 Jahren errichtet wurden. Rund zwei Drittel der Bestandsgebäude in Deutschland stammen aus den Baujahren 1950 bis 1980 (Fouad 2023). Viele dieser Bauwerke haben mittlerweile das Ende ihrer Nutzungsdauer erreicht oder erreichen dies in naher Zukunft. Dieser Annahme liegt eine geplante Nutzungsdauer von 50 Jahren zugrunde. Hinsichtlich einer Wiederverwendung von Bauprodukten, ist demnach mit einem entsprechenden Angebot an Bauwerken zu rechnen.

In Hinblick auf eine methodische Wiederverwendung sind besonders Bauwerke gleichen Alters und Typs interessant (Eh 2023). Außerdem liegt der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit primär auf den Tragwerken, da diese durch Material, Konstruktion, Bauteilabmessungen und Demontagemöglichkeiten die Wiederverwendung tragender Bauteile im Wesentlichen definieren.

Nach (SCI 2019) sind maßgebende Kriterien zur Wiederverwendung eines Tragwerkes:

- Einfachheit der Konstruktion mit einer begrenzten Anzahl an Materialien,
- Standardisierung und Regelmäßigkeit,
- Aufbau in Schichten,
- Zugänglichkeit und Lösbarkeit von Verbindungspunkten.

Dementsprechende Stahlbauwerke sind beispielsweise Geschossbauten in Skelettbauweise, Hallen mit Rahmentragwerk, Lastenregale, Tragmasten. (Kuhnhenne et al. 2021) Nennenswert beim Holzbau sind vor allem Dachtragwerke und Geschossdecken von Wohngebäuden, Hallentragwerke (Stützen-Riegel-Konstruktionen, Haupt- und Nebenträgersysteme). (Eh 2023)

3.5 Bewertungsgrundlagen

Generell ist immer die höchstmögliche Form der Weiternutzung anzustreben (Hillebrandt et al. 2021). Steht jedoch die Entscheidung zum Abbruch fest, soll die Bestandsanalyse das Potenzial zur Wiederverwendung aufzeigen. Dazu wird vor dem Bauwerksabbruch eine Bestandsanalyse in Form einer Erst- und Detailprüfung durchgeführt. Die Ziele der beiden Stufen sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Da bestimmte Zustandsmerkmale ein signifikantes Sicherheitsrisiko (Stand sicherheits- und/oder Gesundheitsrisiko) darstellen können, wurden im Rahmen dieses Forschungsprojektes Grundvoraussetzungen zur Wiederverwendung von tragenden Stahl- und Holzbauteilen festgelegt.

Sind einzelne Bauteile nur stellenweise betroffen, besteht die Möglichkeit die offensichtlich geschädigten Teile durch geeignete Verfahren zu entfernen und den nicht betroffenen Teil weiterzuverwenden. Für geschädigte Bauteile bzw. geschädigte Teile kann ein hochwertiges Recycling in Betracht gezogen werden.

Tabelle 10: Stufen und Ziele der Bestandsanalyse zur Wiederverwendung

Stufe	Ziele
1) <i>Erstprüfung</i>	i) Erfassung und Analyse der Bestandsunterlagen ii) Überprüfung der Grundvoraussetzungen iii) Anlegen einer Bauteilliste
2) <i>Detailprüfung</i>	iv) Begutachtung des Ist-Zustandes - visuelle und bauteildiagnostische Analyse der Bestandsbauteile v) Kennzeichnung wiederverwendbarer Bauteile vi) Dokumentation der gesammelten Daten

Ausschlusskriterien zur Wiederverwendung von Stahlbauteilen sind:

- Schädigung verursacht durch Brandeinwirkung,
- Schädigung verursacht durch außergewöhnliche Einwirkungen, bspw. Erdbeben, Explosion, Anprall.
- unplanmäßige lokale plastische Verformungen.
- Ausschlusskriterien zur Wiederverwendung von Holzbauteilen sind:
- Schädigung verursacht durch Brandeinwirkung, sofern eine Verkohlung von mehr als $d_{\text{char}} = 5,0$ mm vorliegt,
- Schädigung verursacht durch außergewöhnliche Einwirkungen, bspw. Erdbeben, Explosion, Anprall,
- großflächig zerstörte Holzstruktur, z. B. durch Insektenbefall oder Fäulnis
- Faserbruch,
- Druckfalten,
- geklebte Bauteile mit Klebstoffen des Klebstofftyp II nach DIN EN 301 (2023)

Anzeichen für nicht ordnungsgemäße Verklebung (z. B. Fugendicken oberhalb der zulässigen Werte, nicht ordnungsgemäßes Keilzinkenbild in den Lamellen). Die Auswirkungen eines Brandes auf die Bauteileigenschaften sind aufgrund der sehr individuellen Brandszenarien nicht allgemeingültig bestimmbar. Wesentlichen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften von Stahl (Knobloch et al. 2024) und Holz (Glos & Henrici 1990) haben die thermische Beanspruchung und Branddauer. Der temperaturabhängige Einfluss auf die Festigkeiten und Steifigkeiten ist beim Holz, unter anderem aufgrund seiner anisotropen Eigenschaften, noch nicht vollumfänglich geklärt (Indefrey 2013).

Daneben entstehen bei einem Feuer Giftstoffe und Brandrückstände wie Rauch, Ruß und Asche sowie ggf. schädigende Einflüsse durch den Einsatz von Löschmitteln zur Brandbekämpfung. Aufgrund des erwartungsgemäß immensen Aufwandes für Prüfung und Aufbereitung sowie in Relation zur geringfügigen Anzahl brandbeanspruchter Bauteile wird an dieser Stelle die Wiederverwendung solcher Bauteile nicht weiter fokussiert. Dasselbe gilt für Bauteile, die durch außergewöhnliche Einwirkungen, wie z. B. Anprall, Erdbeben und Explosion, beansprucht wurden.

Sofern ein gebrauchtes Bauteil aufgrund von offensichtlichen Defekten, die nach den aktuell geltenden technischen Baubestimmungen geforderten Anforderungen nicht gewährleisten kann, wird die Wiederverwendung ausgeschlossen.

Aufgrund vermehrter Schadensfälle im Zusammenhang mit geklebten Holzbauteilen (Aicher 2012), erfolgt an dieser Stelle noch ein ausdrücklicher Hinweis zur Wiederverwendung von Brettschichtholz. Bei Brettschichtholz ist die Bestimmung des Klebstofftyps und Klassifizierung gemäß DIN EN 301 (2023) bei fehlenden Unterlagen eine besondere Herausforderung. Je nach Nutzungsklasse sind nur bestimmte Klebstofftypen zulässig, was nicht nur Brettschichtholzbauteile betrifft, sondern für alle tragenden geklebten Verbindungen im Holzbau gilt. Eine nachträgliche Bestimmung des verwendeten Klebstoffes ist möglich, bedarf aber entsprechender fachkundiger Personen und Prüfstellen. Hierzu wird auf (ARGEBAU 2013) und das Merkblatt zur Bewertung von Klebstoffugen in Brettschichtholzbauteilen im Bestand (Studiengemeinschaft Holzleimbau 2021), verwiesen. Die Wiederverwendung harnstoffharzverklebter tragender Holzbauteile, Harnstoff-Formaldehyd(UF-)Harz, Klebstofftyp II gemäß DIN EN 301 (2023), wird hier ausnahmslos ausgeschlossen. Dieser Klebstoff kam vorwiegend in den Jahren 1950 bis 2007 zum Einsatz. Ist die Dauerhaftigkeit einer tragenden geklebten Verbindung nicht ausreichend sichergestellt, wird eine Wiederverwendung nicht empfohlen.

In allen Verdachtsfällen ist eine Schadstoffanalyse im Hinblick auf die Wiederverwendung durch z. B. eine akkreditierte Prüfstelle für Schadstoffuntersuchungen durchzuführen. Werden dabei Schadstoffe festgestellt, ist eine Wiederverwendung technisch möglich, jedoch mit entsprechendem Aufwand für Dekontamination und in diesem Zusammenhang mit Rückbau und Bauteilprüfung sowie aufwändigen Aufbereitungsmaßnahmen verbunden. Sind Kontaminationen vorhanden, die nicht herausgeschleust bzw. entfernt werden können, wird gleichermaßen für Stahl und Holz je nach Möglichkeit eine sonstige Verwertung oder Beseitigung gemäß KrWG (2020) empfohlen.

Neben den technischen Voraussetzungen zur Wiederverwendung spielen auch der Demontageaufwand sowie die dabei entstehenden Verluste und Schäden eine nicht unbedeutende Rolle. Zur Wiederverwendung von Bauteilen muss ein Bauwerk in seine Einzelteile zerlegt werden. Je nachdem wie die Bauteile eingebaut sind, ist für die Demontage mehr oder weniger Aufwand erforderlich (Dechantsreiter et al. 2015). Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde der Aufwand für den selektiven Rückbau jedoch nicht als Ausschlusskriterium für die Wiederverwendung eingestuft.

Die in diesem Abschnitt aufgezeigten Begutachtungsmerkmale zur Wiederverwendung von tragenden Bauteilen des Holz- und Stahlbaus sind allesamt konstruktions-, umgebungs- und nutzungsabhängig. Die Beurteilung der Wiederverwendbarkeit ist im Einzelfall, unter Berücksichtigung der Abnutzung, Schweregrad eines Defektes usw., durch eine fachkundige Person zu treffen. Sofern ein Bauprodukt auf Basis der Bestandsanalyse die künftigen Grundanforderungen erfüllen kann, ist es in seiner Form als wiederverwendbar zu bewerten. (Stillfried 2023)

Letztlich sind die technischen Eigenschaften eines Bauteils wesentlich zur Erfüllung der geltenden Grundanforderungen an Bauwerke nach BauPVO (2013). Zum Nachweis der Ver- bzw. Anwendbarkeit entsprechend dem deutschen Regelungssystem für Bauprodukte und Bauarten sind daher ggf. Bauteilprüfungen und Aufbereitungsmaßnahmen nach dem selektiven Rückbau erforderlich.

3.6 Hinweise zu Dokumentation und Kennzeichnung

Eine ordentliche Dokumentation aller Prozesse der Wiederverwendung ist Grundlage der Qualitätssicherung und des Wieder-Inverkehrbringens gebrauchter Bauprodukte (Abegg & Streiff 2021). Daher ist die Datensammlung zu Spenderbauwerk und wiederverwendbaren Bauteilen in einem lesbaren, dauerhaften und austauschbaren Format zu sichern. Dafür bietet sich beispielsweise eine Tabellenkalkulation an. Datenänderungen lassen sich darin interaktiv vornehmen und hinzukommende Informationen mit wenig Aufwand einpflegen.

Ebenso wichtig ist eine eindeutige Zuordnung des Datensatzes zum jeweiligen Bauteil. Dafür ist eine dauerhafte Kennzeichnung erforderlich. Als exemplarisches Beispiel ist in Abbildung 13 im linken Bild die Etikettierung einer Stahlstütze und im rechten Bild die Etikettierung eines Holzbalkens dargestellt. Bei beiden Beispielen wurden im Zuge der Begutachtung Daten dokumentiert. Die eindeutige Zuweisung der Daten erfolgt bei der Stahlstütze mittels Nummerierung. Das Etikett der rechten Abbildung 13 trägt neben der Bauteilnummer einen QR-Code. Im Code sind alle bereits erfassten Bauteilinformationen hinterlegt. Per Scanner können diese jederzeit abgerufen werden. Darüber hinaus ermöglicht diese digitale Komponente eine unmittelbare Datenergänzung direkt am Bauteil bei allen weiteren Schritten (Link 2023).



Abbildung 13: Exemplarische Etikettierung einer Stahlstütze (links) und eines Holzbalkens (rechts)

Die Kennzeichnung mit geklebten Etiketten ist jedoch nicht unbegrenzt dauerhaft. Aufgrund von Witterungseinflüssen und mechanischen Einwirkungen während des Rückbaus, Transport und Lagerung besteht die Gefahr, dass sich aufgeklebte Markierungen lösen. Ebenso behindern alle Kennzeichnungen, die sich auf der Bauteiloberfläche befinden, mögliche oberflächliche Aufbereitungsmaßnahmen wie Strahlen und Beschichten. Alternativen bieten das Stanzen oder Prägen von Nummern oder Anhängen von Plaketten.

4 Selektiver Abbruch und Rückbau

4.1 Stahlbau

Abbruch- und Rückbaumaßnahmen sind im Grunde immer Sonderfälle, da Planung und Ausführung von der jeweiligen Bestandssituation abhängig sind. Da Stahl bereits seit einigen Jahren in großem Umfang recycelt wird, sind bereits viele Abbruch- und Rückbauunternehmen auf die Demontage von Stahlkonstruktionen wie ausgedienten Industriehallen, Seilbahnanlagen, Brücken, Hochregallager usw. spezialisiert. Vor diesem Hintergrund beschränken sich die nachfolgenden Anmerkungen auf die wesentlichen Punkte.

Im Stahlbau gestaltet sich der selektive Rückbau in der Regel, soweit bekannt, entsprechend dem Montagekonzept der ursprünglichen Montage. Bei den üblichen Stahlhochbaukonstruktionen handelt es sich vorwiegend um vorgefertigte und geschraubte Tragwerke, die verhältnismäßig leicht demontierbar sind, auch wenn das Montagekonzept nicht mehr bekannt ist (Küpfer & Fivet 2021). Bei komplexeren Konstruktionen kann neben der Demontageplanung auch eine Statische Berechnungen kritischer Demontagezustände notwendig werden.

Die Bauteile von geschweißten Konstruktionen oder genieteten Konstruktionen können aufgrund der unlösbaren Verbindungen nicht direkt wiederverwendet werden. Es besteht aber die Möglichkeit Teile der ursprünglichen Bauteile zu erhalten und diese wiederzuverwenden, z. B. durch den Einsatz eines Schneidbrenners beim Rückbau. In diesen Fällen kann sich jedoch unter Umständen ein großer Demontageaufwand ergeben.

Die häufigeren geschraubten Hochbaukonstruktionen eignen sich grundsätzlich zum selektiven Rückbau, dabei ist der Zustand der Verschraubungen bei der Erstellung des Demontagekonzepts zu berücksichtigen. Auch geschraubte Verbindungen können aus unterschiedlichen Gründen nicht lösbar sein, z. B. aufgrund von Korrosion. Bei hochbeanspruchten Scher-Lochleibungsverbindungen können plastische Verformungen des Schraubenschafts ein Lösen erschweren oder verhindern.

4.2 Holzbau

4.2.1 Allgemeine Anmerkungen

Dieser Abschnitt beschreibt gegenwärtige Zustände und Defizite, aber auch Chancen und Potenziale, die der selektive Abbruch und der selektive Rückbau von Holztragwerken heute bergen. Besprochen werden sechs tatsächliche, zwei geplante und ein fiktiver selektiver Abbruch- bzw. Rückbauprozess (siehe Objektliste im Anhang IV). Die Prozesse sind im Zuge einer nicht kontrollierbaren Erhebung entdeckt worden.

Sie dienen als Grundlage für Analysen und als Belege, um für Handlungsmöglichkeiten zu sensibilisieren und Lösungen zu begleitenden Problemen anzustoßen.

Die zweite Wertschöpfung beginnt im materiellen Sinne mit dem Zeitpunkt der Demontage zum Zwecke einer Wieder- und Weiterverwendung. Zuvor muss im baulich intakten Zustand das quantitative und qualitative Wieder- und Weiterverwendungspotenzial erkannt und festgestellt worden sein. Daraus ergibt sich, welche Bauteile schonend demontiert, behutsam geborgen und für die Wieder- und Weiterverwendung technisch zu bewerten sind, s. Abschnitt 3.

Verfahren eines schonenden selektiven Rückbaus und einer behutsamen Bergung der Holzbauteile und deren Mengen sowie Regeln einer technischen Bewertung für die Wieder- und Weiterverwendung müssen aufeinander abgestimmt sein.

Es ergibt keinen Sinn, jetzt Zeit verstreichen zu lassen, bis heute bereits gegebene pragmatische Möglichkeiten der Reklassifikation erst mittelbar zu ressourcenschonenden Veränderungen bei den Abbruch- und Rückbauprozessen führen werden (Steckel 2024). Die Transformation eines heute praktizierten selektiven Abbruchs hin zu einer schonenden Demontage mit behutsamer Bergung sollte – wo erforderlich – so schnell wie möglich begonnen bzw. verbessert werden. Die neun nachfolgend vorgestellten Studienobjekte zeigen fallweise ein gutes quantitatives und/oder qualitatives Wiederverwendungspotenzial auf. Sie sollen als Anreiz für die beschriebene Transformation dienen. Im Mittelpunkt des Wiederverwendungspotenzials stehen Nadelschnittholz (vor allem Kantholz), Brettschichtholz und OSB-Platten. Da eine schonende Demontage in wünschenswertem Umfang noch nicht praktiziert wird, sollen die Beispiele auch vermitteln, wie wichtig es ist, sich dem umsichtigen und verlustarmen Lösen von Verbindungsmitteln in Forschung und Praxis zuzuwenden.

4.2.2 Demontage und Abbruch des Pavillons KA300, Karlsruhe

Anlässlich des 300. Karlsruher Stadtgeburtstags wurde im Schlosspark nördlich des Schlosses der so genannte Pavillon KA300 errichtet. Neben etlichen Tonnen Stahl wurden 338 m³ Brettschichtholz verbaut. Die Standzeit des temporären Eventbauwerks beschränkte sich auf die Sommermonate im Jahr 2015. Die Montage begann im Frühjahr 2015; der Abbau erfolgte im darauffolgenden Herbst, s. Abbildung 14. Das grau lasierte Brettschichtholz war etwa acht Monate lang der Witterung ausgesetzt, erfuhr dadurch eine gewisse Verschlechterung, war dadurch aber keinesfalls wertlos geworden. Aus einem Teil der nach dem Abbruch realisierten Brettschichtholzträger wurden quaderförmige Sitzbänke hergestellt, die für einige Jahre im Karlsruher Stadtgebiet aufgestellt waren.

Rückwirkend betrachtet sind der selektive Abbruch und die Weiterverwendung ein wichtiger Beleg dafür, dass bei gegebenem Willen und Inkaufnahme von demontagebedingten Verlusten Mittel und Wege gefunden werden, Holz- und Holzwerkstoffe für die Wieder- und Weiterverwendung zu realisieren. Der selektive Abbruch des Pavillons zeigt auch, dass hinsichtlich der Demontage neben

verlustbehafteten Sägeschnitten, vor allem dem Lösen von Verbindungsmitteln Aufmerksamkeit zu schenken ist. Wenn man von der Verschlechterung durch die mehrmonatige Bewitterung einmal absieht, dann spricht vor allem eine kurze erste Nutzungsdauer des Materials für eine einfache Reklassifikation im Sinne einer zweiten Wertschöpfung. Es steht außer Frage, dass die stattgefundenene Weiterverwendung des Materials in Form von frei bewitterten Sitzbänken das Ziel der Ressourcenschonung verfehlt.



Abbildung 14: Montage des Pavillons im April 2015 (oben, links), Knotenpunkt (oben, rechts), selektiver Abbruch im November 2015 (unten, links) und Weiterverwendung als frei bewitterte Sitzbank, Mai 2023 (unten, rechts)

4.2.3 Selektiver Abbruch des Markgräflichen Palais', Karlsruhe

Die in Abbildung 15 und Abbildung 16 dargestellten Fotografien verdeutlichen den im Sommer 2023 durchgeführten selektiven Abbruch der östlichen und westlichen Dachwerke des Markgräflichen Palais' in Karlsruhe. Nachweislich 60 m³ dem Augenschein nach technisch einwandfreies, trockenes Bauholz wurden aus dem Gefüge gerissen, in Containern gesammelt und anschließend sehr wahrscheinlich thermisch verwertet. Bei der zweimaligen Begehung des Dachwerks und der handnahen Begutachtung der Hölzer zeigten sich diese in einem tadellosen Zustand. Mit qualifiziertem Personal und Hilfskräften hätte sich der Anschauung nach mit einer schonenden Demontage ein großer Teil des verbauten Kantholzes für eine Wieder- und Weiterverwendung realisieren lassen können.



Abbildung 15: Dachwerk (links) und Blick in dessen Inneres (rechts) vor dem selektiven Abbruch



Abbildung 16: Dachwerk des Süd- und Ostflügels während des selektiven Abbruchs (oben) und Zustand des aus dem Gefüge gerissenen Holzes (unten)

4.2.4 Selektiver Abbruch einer Halle, Karlsruhe

Im Frühjahr 2022 wurde auf dem Gelände der Kirchfeld-Kaserne, Karlsruhe eine Halle abgebrochen, s. Abbildung 17, links. Der Vorgang fand bereits vor der Projektlaufzeit statt und wird daher rückwirkend analysiert. Oberhalb der im Abstand von schätzungsweise vier Metern angeordneten Stahlbeton- oder Spannbetonbinder verliefen 42 Stränge aus Dachbalken mit etwa 40 m Länge. Die aus etwa 30 m Entfernung fotografierten Kanthölzer (Abbildung 17, rechts), die als Dachbalken dienten, vermitteln einen technischen Zustand, der eine Wieder- oder Weiterverwendung grundsätzlich ermöglichen sollte; eine schonende Demontage sei vorausgesetzt. Der angetroffene regelmäßige Dachaufbau hätte eine solche Demontage (nach dem Lösen von Winkelverbindern an den Sattelhölzern oberhalb der

Binder) und eine behutsame Bergung ohne Weiteres möglich gemacht. Das Gesamtvolumen der 420 Dachbalken betrug schätzungsweise 30 bis 40 m³.



Abbildung 17: Sekundärbauteile aus Holz im Dachaufbau (links) und Lagerung während des selektiven Abbruchs (rechts)

4.2.5 Selektiver Abbruch eines Supermarkts, Landau

Im Herbst 2023 wurde in Landau ein Supermarkt mit Dachtragwerk aus Nagelplattenbindern abgebrochen, s. Abbildung 18, links. Dieser Abbruch sensibilisiert für folgende Überlegung. Nagelplattenbinder-Konstruktionen sind Massenware und häufig Gegenstand eines selektiven Abbruchs. Da sie aus Sicherheitsgründen nach einer Demontage nicht als einzelne Fachwerkträger wiederverwendet werden sollten, bieten sie für eine Weiterverwendung vor allem Bohlen u. U. auch Kanthölzer aus den Ober- und Untergurten. Von technisch getrocknetem, maßhaltigem und festigkeitssortiertem Holz ist auszugehen. In der Regel sind Bohlen 60 x 280 mm² oder 60 x 200 mm³ zu erwarten, vergleiche die beispielhaft gewählte Ausführung in Abbildung 19. Bei einer Stützweite von etwa 26 m beträgt je Binder das alleinige Holzvolumen der Ober- und Untergurte schätzungsweise 0,7 bis 0,8 m³. Bei einer gängigen Gebäudelänge von 40 m und einem Binderabstand von 1,25 m beträgt das Gesamtvolumen der Ober- und Untergurthölzer etwa 30 m³. Füllstäbe kämen noch hinzu.



Abbildung 18: Nagelplattenbinder eines Supermarkts (links) und Holzbruch während der Lagerung im Zuge des selektiven Abbruchs (rechts)

Das qualitative Weiterverwendungspotenzial ist bei den Ober- und Untergurten angesichts der eingepressten Nagelplatten eingeschränkt. Als Alternative zum vorgefundenen Zustand (Abbildung 18, rechts) scheint eine Weiterverarbeitung von ausgekappten Kurzstücken zu keilgezinktem Vollholz theoretisch möglich.

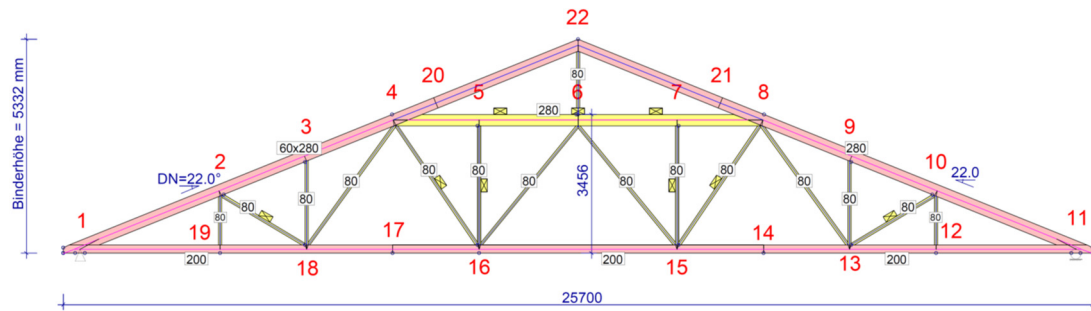


Abbildung 19: Ausführungsbeispiel für einen Nagelplattenbinder mit etwa 26 m Länge

4.2.6 Selektiver Abbruch eines Siedlungshauses, Karlsruhe-Neureut

In Karlsruhe-Neureut wurde im Sommer 2023 ein mutmaßlich 1932 errichtetes Siedlungshaus mit Holzbalkendecken selektiv abgebrochen, s. Abbildung 20. Dank der verständnisvollen Unterstützung durch die Bauherrenschaft¹, die das Haus zu Gunsten eines Neubaus entfernen ließ, konnten von den insgesamt 36 Dach- und Deckenbalken drei Dachbalken (rund $12 \times 20 \times 860 \text{ cm}^3$) und ein Kellerdeckenbalken (rund $12 \times 22 \times 740 \text{ cm}^3$) einigermaßen schonend aus dem Baugefüge „entnommen“ werden. Sie wurden behutsam für Prüfzwecke geborgen, s. Abbildung 21, links. Der größere Teil der Balken wurde für ein studentisches Bauvorhaben beiseitegelegt. Die gesamte Holzmenge der Dach-, Erd- und Kellergeschossbalken betrug etwa 7 m^3 , s. Abbildung 21, rechts.



Abbildung 20: Siedlungshaus mit Stockwerksbauweise im OG und Abbruchprozess

¹ Herrn Prof. Laurent Schmalen vom KIT sei an dieser Stelle für die Überlassung der Balken für weitere Untersuchungen, Biegeprüfungen und für das Projekt gedankt.



Abbildung 21: Dach- und Kellerbalken für Prüfungen (links) und für Projekt (rechts)

Da die Dachbalken nur mit Dollen auf den Rähmen fixiert waren und die übrigen in Aussparungen und Mauernischen lagen, konnten sie mit etwas „Gefühl“ vom Baggerführer mit dem Abbruch- und Sortiergreifer aus dem Gefüge gehoben werden. Ausbauschäden ließen sich dabei nicht gänzlich vermeiden, hielten sich aber im Sinne einer Wiederverwendung in Grenzen. Das für Prüfzwecke gesicherte Material wurde vor Ort von den seitlich aufgenagelten Latten befreit, gesäubert und je nach Zustand für gut befunden. Davon abhängig wurde das Material sofort nach DIN 4074-1 sortiert.

4.2.7 Beabsichtigter Rückbau einer Fuß- und Radwegbrücke, Ruppertsweiler

Die im Jahre 2004 errichtete Fuß- und Radwegbrücke, s. Abbildung 22, wurde aufgrund der Ergebnisse einer regelmäßig stattfindenden Bauwerksprüfung nach DIN 1076 durch den Landesbetrieb Mobilität Kaiserslautern vorsorglich für Nutzer gesperrt, um vorhandene Schäden am Bauwerk weiter begutachten zu können. Bei den Schadensbildern handelt es sich im Wesentlichen um Risse an den Haupt- und Querträgern der Brücke sowie Anzeichen für Feuchteschäden am Holz. Die ergänzenden Untersuchungen haben ergeben, dass als Voraussetzung für die weitere Nutzung grundlegende Instandsetzungsarbeiten an der verklebten Holzkonstruktion des Überbaus zur Schließung der Risse erforderlich wären. Die Stahlkonstruktion war gemäß der Schadensanalyse nicht auffällig.

Geh- und Radwegbrücken mit einem Überbau aus Holz, deren Holztragwerk nicht geschützt ist, wird nach der Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung – ABBV, lfd. Nr. 1.2.5.1 – eine theoretische Nutzungsdauer von 30 statt 60 Jahren unterstellt, da sie der Witterung stärker ausgesetzt sind als überdachte Brücken. Die bisherigen Praxiserfahrungen mit ungeschützten Holzbrücken haben jedoch gezeigt, dass die Nutzungsdauer bei den Holzbrücken dieser Generation oft deutlich überschätzt und meist nicht erreicht wurde. Da das Bauwerk mittelfristig zur Erneuerung vorgesehen ist, hat sich der Straßenbaulastträger entschlossen, auf eine aufwendige Instandsetzung zu verzichten und den hölzernen Überbau zurückzubauen.

Für eine Wieder- und Weiterverwendung kommen vor allem die Quer- und Längsträger unterhalb der Geh- und Fahrbahn in Frage. Da exakte Angaben zu den Sekundärbauteilen vorlagen, kann das Gesamtvolumen der fünf Längsträger aus Lärchenschnittholz auf 6,5 m³ und dasjenige der 18 Querträger aus Lärchenbrettschichtholz (BS11) auf 3,7 m³ geschätzt werden. Da zum Rückbau die 4-streifige B 10 voll gesperrt werden muss und hierfür nur ein Sperrwochenende zur Verfügung steht, wird der Aushub und der Abtransport in großen Einheiten vorgesehen. Ob danach eine weitergehende, schonende Demontage möglich ist, wird derzeit geprüft.



Abbildung 22: Zurückzubauende Fuß- und Radwegbrücke über die B10 bei Ruppertsweiler (links) sowie Längs- und Querträger aus Lärchenschnittholz bzw. -brettschichtholz mit hohem qualitativen Wiederverwendungspotenzial (rechts)

4.2.8 Selektiver Abbruch eines Waldheims, Karlsruhe

Während des Abfassens dieses Abschnitts laufen die selektiven Abbrucharbeiten des im Jahre 1969 in Betrieb genommenen Waldheims. Abbildung 23, links zeigt drei noch stehende der neun hinsichtlich Querschnitt ähnlichen Gebäudeteile. Eine Besonderheit sind die baugleich ausgeführten Gespärre, deren Dachschub über Stahlbetonbalken an den Traufen und -zerrbalken kurzgeschlossen werden, s. Abbildung 23, rechts.



Abbildung 23: Noch stehende Gebäudeteile (links) und Blick unter die Gespärre (rechts)

In den Gespärren der ursprünglich neun Gebäudeteile sind insgesamt rund 480 stets ähnlich bearbeitete Kanthölzer mit einem Querschnitt von $12 \times 24 \text{ cm}^2$ verbaut worden. Ausnahmen sind die Dachflächen mit Oberlichtern. Jeweils ein Sparren wird hier über den First hinweg verlängert. Die Sparren messen zwischen Firstgelenk und Ende Fußpunkt ungefähr 4,6 m. Das Gesamtvolumen des Holzes beträgt rund 65 m^3 . Die Kanthölzer stammen nach stichprobenartiger Sichtung aus einem zweistieligen Einschnitt und sind daher spannungs- bzw. rissarm geschwunden. Die vorgefundenen Ästigkeiten, Baumkanten und Faserabweichungen lassen keine Zweifel an einer Einstufung in die Sortierklasse S10 aufkommen. Drehwuchs war nicht erkennbar. Der technische Zustand wirkt einwandfrei.

Sehr nachteilig im Sinne der Wertschöpfung für eine Wieder- und Weiterverwendung ist das Verfahren mit dem kombinierten Abbruch-Sortiergreifer. Das Zerreißen des Bolzens im Firstpunkt eines Gespärres oder das Abreißen der Winkelverbindung (mit Nagel) zwischen der Sparrenklaue und der Mauerlatte führt in vielen Fällen zu einer starken Entwertung der Kanthölzer am First und Fußpunkt, vgl. Abbildung 24. Angesichts der relativ niedrigen Höhe des Firstpunktes böte sich alternativ ein Lösen des Bolzens oder Abtrennen an.





Abbildung 24: Ausbauschäden nach dem Zerreißen der Verbindung am First (oben) und nach dem Abreißen der Winkelverbindung (mit Nagel) am Sparrenfußpunkt (unten)

4.2.9 Selektiver Abbruch eines Universitätsgebäudes, KIT (geplant)

Das in Abbildung 25 dargestellte Universitätsgebäude soll nach Angabe der zuständigen Stellen im Jahre 2024 selektiv abgebrochen werden. Aus diesem Grund wurde ein Aufmaß im Dachstuhl beantragt und durchgeführt. Von den knapp 6 m³ Holz, das unter den gegebenen Umständen quantifiziert werden konnte, entfallen knapp 2 m³ auf ein Kleinkollektiv aus 34 Sparren (8 x 12 cm²) mit etwa 6,5 m Länge. Diese Sparren ließen sich bei gegebenem Willen weitgehend schonend demontieren und behutsam bergen. Nach entsprechender Prüfung, Reinigung und Ausbesserung ließen sie sich durchaus ein zweites Mal wiederverwenden, vgl. Abbildung 26.



Abbildung 25: Aufgegebenes Gebäude (links), Ständer und Kopfbänder im Dachgeschoss (rechts)



Abbildung 25 (Forts.) Firstsäule und Pfette (links) und Sparren (rechts)



Abbildung 26: Im Jahre 2024 neu aufgerichteter Dachstuhl (links) und Sparrenkerve oberhalb der Mittelpfette (rechts)

Die Analyse des geplanten Abbruchs illustriert vor allem das enorme Potenzial von Dachstühlen für die Kreislaufwirtschaft. Der Anschauung nach wird viel Holz in Dachstühlen von ein- und mehrgeschossigen Wohn-, Geschäfts- und Verwaltungsgebäuden, die ab den 1950er Jahren errichtet wurden, zu erwarten sein. Entsprechende selektive Abbrüche können immer wieder beobachtet werden, vgl. Abbildung 27.



Abbildung 27: Beispiel für einen selektiven Abbruch eines Wohnhauses im Jahre 2010 (links) und für eine Demontage eines Dachstuhlgerüsts im Jahre 2023 (rechts)

Aus quantitativen und qualitativen Gründen werden vor allem Sparren, aber auch First- und Mittelpfetten in Frage kommen, die in Pfettendächern verbaut wurden. Sie sind in der Regel mit Kerben versehen und ließen sich mit geeigneten Werkzeugen aus dem Gefüge lösen.

4.2.10 Fiktive Demontage von Holzwerkstoffplatten eines Pultdachs

Eine Vorstellung von einer zukünftigen Demontage von Holzwerkstoffplatten gelingt, wenn man den Montagevorgang rückwärts denkt. Hierbei ist es essenziell, dass die Verbindungen zwischen Platte und Unterkonstruktion/Rippen/Konterlattung/Sparren geschraubt wurden und daher auch Jahrzehnte später sehr wahrscheinlich gelöst werden können. Seit der Verbreitung der Innensechsrund- bzw. Außensechsrund-Schraubenmitnahmeprofile kann man mutmaßen, dass auch nach mehreren Jahrzehnten die entsprechenden Drehmomente zum Lösen der relativ kurzen Schrauben erfolgreich aufgebracht werden können, wobei sich das erst noch beweisen muss. Klammern, glattschaftige oder gar profilierte Nägel würden hier zu einem erhöhten Aufwand führen. Zudem würde ihre Entfernung die Platten je nach Verfahren

und Sitz der Verbindungsmittel lokal beeinträchtigen oder gar zerstören. Die Fotos in Abbildung 28 zeigen die Montage bzw. Verschraubung von diffusionsoffenen Holzwerkstoffplatten (Holzfaserplatten) als Unterdeckplatte auf Sparren und OSB-Platten vor der Verschraubung mit der Konterlattung. Im Falle einer Demontage könnte man im vorliegenden Fall eines Pultdaches ($12 \times 7 \text{ m}^2$) für ein Einfamilienhaus $1,3 \text{ m}^3$ Holzfaser- und $2,2 \text{ m}^3$ OSB-Platten realisieren. In Abhängigkeit u. a. vom Verformungszustand, von der Durchlöcherung, vom Geruch, von Veränderungen infolge (Tau)Wasser, Anmutung der Oberfläche ist situativ zu entscheiden, ob eine schonende Demontage und behutsame Bergung zu erfolgen hat.



Abbildung 28: Im Jahre 2011 auf KVH-Sparren verarbeitete diffusionsoffene Holzwerkstoffplatten (links) und auf Konterlattungen vorgesehene OSB-Platten (rechts)

4.2.11 Zusammenfassung

Die neun angeführten Studienobjekte vermitteln ein Bild von bereits abgeschlossenen selektiven Abbrüchen und geplanten bzw. fiktiven Prozessen. Die Analysen zeigen, dass schonende Demontage und anschließende behutsame Bergung zu variablen Mengen an bisweilen qualitativ hochwertigem Material führen kann. Tabelle 11 gibt hierzu einen Überblick der Holzmengen in m^3 und Stückzahlen, die bei den neun Studienobjekten zu erwarten sind. Das Material wird fallweise in Form von Kleinkollektiven vorliegen. Darunter sind geringe Stückzahlen gleichartiger Holz- und Holzwerkstoffe mit jeweils konstanten Querschnittsmaßen und Längen zu verstehen. Ausnahmen hinsichtlich Volumen und Stückzahl sind der Pavillon KA300 bzw. die Halle der Kirchfeld-Kaserne und das Waldheim.

In der Regel wird eine obligatorisch durchzuführende Reklassifikation vor einer Wieder- und Weiterverwendung durch die Tatsache erleichtert, dass angetroffenes Kantholz vor der Erstverwendung in S10 sortiert wurde oder im Zuge einer Nachsortierung in nennenswerten Teilen der Sortierklasse S10 entsprechen wird. Im Falle einer vorherigen Verarbeitung zu Brettschichtholz wird in der Regel eine entsprechende Sortierung der Brettware stattgefunden haben. Angesichts der nach einer Bergung häufig zu erwartenden Kleinkollektive ist es wünschenswert, über pragmatische, zerstörungsfreie und damit verlustarme Verfahren zur Reklassifikation zu verfügen.

Tabelle 11: Übersicht der Studienobjekte und erarbeitete Handlungsempfehlung

Studienobjekt	Holz-/Holzwerkstoff	Menge in m ³	Stück*	Primäre Handlungsempfehlung
Pavillon KA300	Brettschichtholz	338		Lösen von Verbindungsmitteln
Markgräfliches Palais	Kantholz	60		Werterkennung → Intervention → Demontage
Halle	Kantholz	30-40	420	Werterkennung → Intervention → Demontage
Supermarkt	Bohlen	30		Werterkennung → Demontageverfahren entwickeln
Siedlungshaus	Kantholz	7	36	Demontageverfahren verbessern
Brücke	Kantholz	6,5	40	Werterkennung → Intervention → Demontage
	Brettschichtholz	3,7	18	
Waldheim	Kantholz	65	480	Werterkennung → Intervention → Demontage
				Erprobung der Reklassifikation für Kleinkollektive
Universitätsgebäude	Kantholz	2	34	Erprobung der Reklassifikation für Kleinkollektive
Pultdach	HWS-Platten	3,5		Werterkennung → situative Entscheidung Demontage

* Anzahl der Stücke mit annähernd identischen Bauteilmaßen

Aufgrund der mit den Studienobjekten realitätsnah gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnissen wird zur Verbesserung der gegenwärtig praktizierten selektiven Abbruchprozesse empfohlen, siehe auch Abbildung 29.

1. Baustoffanalyse (Schad- und Störstofferkundung) in Abhängigkeit vom quantitativen und qualitativen Wiederverwendungspotenzial z. B. durch Beprobung im Labor oder mobile Laboreinheit (Kooperatives Baustofflabor 2022).
2. Entscheidung für oder gegen eine behutsame Bergung unter Berücksichtigung der Lösbarkeit von Verbindungsmitteln
3. Im Falle einer Entscheidung dagegen → selektiver Abbruch/Rückbau
4. Im Falle einer Entscheidung dafür → weiter mit Schritt 5
5. Massenermittlung, Holzqualität, verwendete Verbindungsmittel
6. Organisatorische, technische und handwerkliche Planung der schonenden Demontage und der behutsamen Bergung. Auf einen durchgängigen Schutz der Holzbauteile gegen Niederschläge ist zu achten
7. Abtransport ins Sekundär-Rohstoff-Zentrum, zum Baustoffhändler, in ein überdachtes Zwischenlager o. ä. zur weiteren Untersuchung und Aufbereitung

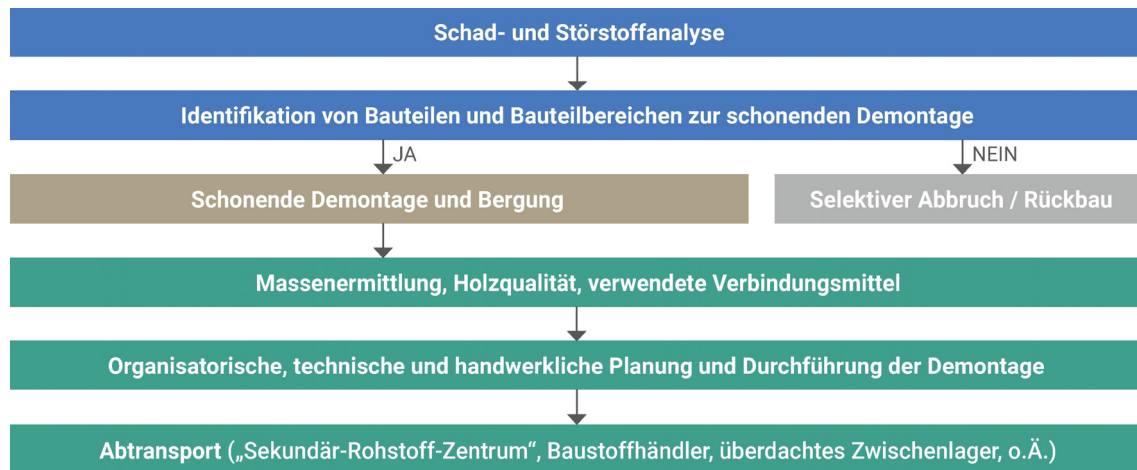


Abbildung 29: Schritte einer schonenden Demontage und Bergung

5 Physikalische und mechanische Eigenschaften von wiederzuverwendenden Bauteilen

Für die Wiederverwendung von Stahl- und Holzbauteilen müssen die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der Bauteile, die im Rahmen der Bestandsaufnahme als wiederverwendbar eingestuft wurden festgestellt werden.

5.1 Prüfung im Stahlbau

5.1.1 Vorgehen

In diesem Abschnitt wird das Konzept zur Feststellung der physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Stahlbauteilen behandelt. Dazu werden zunächst ausgewählte Prüfverfahren zur Bestimmung der Bauteileigenschaften vorgestellt.

Konservative Annahmen können zur Förderung der Wiederverwendung beitragen. Durch die Festlegung von konservativen Mindestwerten für Werkstoffeigenschaften kann der Prüfumfang für gering beanspruchte Bauteile deutlich reduziert werden oder ganz entfallen. Daher werden konservative Mindestwerte in Ableitung von Richtlinien und Normen der Vergangenheit definiert, die in Abhängigkeit vom Baujahr des Gebäudes angesetzt werden können.

Eine zerstörende Prüfung jedes einzelnen Bauteils zur Ermittlung der Eigenschaften ist aufgrund des hohen Aufwands und Materialverbrauchs nicht zielführend. Ziel ist es, Bauteile nach festgelegten Kriterien zu Prüfeinheiten zusammenzufassen. Auf diese Weise können bestimmte Werkstoffeigenschaften einer gesamten Prüfeinheit ermittelt werden, indem nur ein oder wenige repräsentative Elemente/Bauteile der Prüfeinheiten geprüft werden. Dazu werden Regeln vorgeschlagen, nach denen Bauteile zu einer Prüfeinheit zusammengefasst werden dürfen.

Abschließend wird ein Vorschlag für ein Prüfkonzept vorgestellt. Dieses Konzept legt in Abhängigkeit vom Baujahr des Gebäudes und den vorliegenden Informationen fest, wie viele zerstörungsfreie und zerstörende Prüfungen an den Bauteilen jeder Prüfeinheit durchgeführt werden müssen, um die Eigenschaften der Bauteile zu ermitteln.

5.1.2 Prüfverfahren im Stahlbau

Für Stahlbauteile stehen eine Reihe von zerstörungsfreien bzw. minimalinvasiven und zerstörenden Prüfverfahren zur Bestimmung der Eigenschaften des Grundwerkstoffs, der Schweißnähte und der Beschichtungen zur Verfügung. Im Folgenden werden ausgewählte Prüfverfahren und ihre Relevanz für die Wiederverwendung von Stahlbauteilen vorgestellt.

Tabelle 12: Prüfverfahren und ihre Relevanz zur Bestimmung der Eigenschaften für die Wiederverwendung von Stahlbauteilen.

	Prüfverfahren	Regelwerk	Gemessene Eigenschaft	Relevanz für die Wiederverwendung	
Grundmaterial	Härteprüfung nach Brinell	ISO 6506-1	Härte	Korrelation von Härte und Zugfestigkeit	
	Härteprüfung nach Vickers	ISO 6507-1			
	Härteprüfung nach Rockwell	ISO 6508-1			
	LEEB-Verfahren	ISO 16859			
	UCI-Verfahren	DIN 50159			
	Funkenspektrometrie	CR10320	Chemische Zusammensetzung	Schweißbeignung, Reckalterungsanfälligkeit, Bestimmung des Herstellungsverfahrens	
	Glimmentladungsspektroskopie	ISO 19272,			
	Trägergasheißeextraktion	-			
	Baumann Abdruck	ISO 4968	Sulfidverteilung	Seigerungszone	
	Zugversuch	ISO 6892-1	Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung	Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung	
	Kerbschlagbiegeversuch	ISO 148-1	Kerbschlagarbeit	Korrelation zur Bruchzähigkeit	
	Bruchmechaniktest	ASTM E399	Bruchzähigkeit	Bruchzähigkeit	
	Zugversuch senkrecht zur Oberfläche	EN 10164	Brucheinschnürung	Beanspruchbarkeit in Dickenrichtung	
Ultraschallprüfung	EN 10160 EN 10306	Innere Beschaffenheit	Beanspruchbarkeit in Dickenrichtung		
Schweißnähte	Sichtprüfung	ISO 17637 ISO 5817	Oberflächenfehler	Schweißnahtfehler	
	Farbeindringprüfung	ISO 3452-1	Risse		
	Magnetpulverprüfung	ISO 17638	Risse		
	Ultraschallprüfung	ISO 17640	Innere Fehler		
	Durchstrahlprüfung	ISO 23279	Innere Fehler		
Beschichtungen	Magnetinduktive Messverfahren	ISO 2178	Schichtdicke	Dauerhaftigkeit der Beschichtung	
	Kondenswasserprüfung	ISO 6270-2	Verhalten in feuchter Umgebung		
	Salzsprühnebelprüfung	ISO 9227	Korrosionswiderstand		
	Gitterschnitt	ISO 2409	Haftfestigkeit		
	Elektrochemische Impedanzspektroskopie	ISO 16773	Impedanz		
	Dynamische Differenzkalorimetrie	-	Aufschäumverhalten		Verhalten im Brandfall
	Infrarotspektroskopische Analyse	-	Beschichtungsstoff		Identifikation von Gefahrenstoffen
	thermogravimetrische Analyse	-	Beschichtungsstoff		

5.1.2.1 Härteprüfung

Der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen (härteren) Körpers entgegensetzt, lässt Rückschlüsse auf die Festigkeitseigenschaften des Werkstoffs zu. Bei der Prüfung im Stahlbau wird ein genormter Eindringkörper senkrecht auf die Oberfläche des zu prüfenden Gegenstands gedrückt, wodurch ein minimal invasiver Eindruck entsteht. Die Härte wird dabei nicht direkt gemessen, sondern aus primären Messgrößen wie der Eindringtiefe oder der charakteristischen Länge des Härteeindrucks abgeleitet. Für metallische Werkstoffe werden in der Regel die Verfahren nach Brinell, Vickers oder Rockwell angewendet (Weißbach 2017).

Bei der Brinell-Härteprüfung nach DIN EN ISO 6506-1 (2023) wird eine Hartmetallkugel mit definiertem Durchmesser und definierter Prüfkraft eingedrückt und nach Entfernen der Kugel die Größe des Eindrucks optisch gemessen. Aus dem Verhältnis der Prüfkraft zur Eindruckfläche kann die Brinellhärte (HB/HBW) ermittelt werden.

Bei der Vickershärteprüfung nach DIN EN ISO 6507-1 (2024) wird anstelle der Kugel eine gleichseitige Pyramide eingedrückt und die Länge der Diagonalen des verbleibenden Eindrucks gemessen. Die Vickershärte (HV) wird analog zur Brinellhärte aus dem Verhältnis der Prüfkraft zur Eindruckfläche ermittelt.

Im Gegensatz zu den beiden optischen Verfahren nach Brinell und Vickers wird bei der Rockwell-Härteprüfung nach DIN EN ISO 6508-1, einem Tiefendifferenzverfahren, nicht die Eindruckgröße, sondern die Eindringtiefe eines definierten Eindringkörpers (Diamantkegel mit abgerundeter Spitze oder Hartmetallkugel) gemessen. Um den Einfluss der Rauheit der Probenoberfläche sowie Messfehler bei der Messung der Eindringtiefe auszuschließen, wird bei der Härteprüfung nach Rockwell die gesamte Prüfkraft in zwei Stufen aufgebracht. Im ersten Prüfschritt wird der Eindringkörper mit einer definierten Prüfkraft bis zur Grundeindringtiefe in die Probe eingedrückt. Nach Ablauf einer definierten Einwirkzeit (mehrere Sekunden) wird die Prüfkraft aufgebracht, wobei der Eindringkörper bis zur maximalen Eindringtiefe in die Probe eindringt. Nach Ablauf der Einwirkzeit wird die Prüfkraft wieder entfernt. Aus der verbleibenden Eindringtiefe wird die Rockwell-Härte ermittelt.

Für die Verfahren nach Vickers, Brinell und Rockwell werden in der Regel stationäre Geräte eingesetzt. Mobile Härteprüfungen vor Ort können nach dem UCI- oder LEEB-Verfahren durchgeführt werden (Weißbach 2017).

Beim UCI-Verfahren nach DIN 50159 (2022) wird analog zum Vickers-Verfahren eine gleichseitige Pyramide eingedrückt. Der verbleibende Eindruck wird jedoch nicht optisch, sondern elektrisch über die Frequenzverschiebung eines an der Vickerspyramide befestigten Schwingstabes ermittelt.

Beim dynamischen Leeb-Verfahren nach DIN EN ISO 16859-1 (2016) wird die Härte über den kinetischen Energieverlust beim Rückprall eines Schlagkörpers bestimmt. Der Schlagkörper wird gegen die Oberfläche des Probekörpers geschlagen. Durch die Verformung des Probekörpers verliert der Schlagkörper Energie. Aus der

Geschwindigkeit des Schlagkörpers nach dem Aufprall kann ein Härtewert berechnet werden.

Alle Härteprüfverfahren werden an der blanken, geschliffenen Stahloberfläche durchgeführt, weshalb die Beschichtung lokal entfernt werden muss. Zwischen den Härtewerten und der Zugfestigkeit bestehen empirische Beziehungen. DIN EN ISO 18265 (2003) enthält Tabellen zur Umrechnung der Härtewerte in Zugfestigkeiten.

5.1.2.2 Chemische Analyse

Anhand der chemischen Zusammensetzung können die Schweißbeignung sowie die Reckalterungsempfindlichkeit eines Stahlbauteils beurteilt werden. Hierfür stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die je nach Hersteller unterschiedliche Elemente detektieren können. Ein minimalinvasives und häufig eingesetztes Verfahren ist die Funkenspektrometrie. Hierbei wird Probenmaterial durch einen Lichtbogen verdampft und die emittierten Wellenlängen gemessen. Nach CR10320 (2004) kann damit der Gehalt an Kohlenstoff, Silizium, Schwefel, Phosphor, Mangan, Chrom, Nickel und Kupfer bestimmt werden. Damit können nach CR10320 (2004) nicht alle Elemente zur Bestimmung der Schweißbeignung und Reckalterungsanfälligkeit (Stickstoff) bestimmt werden, obwohl einige Hersteller inzwischen angeben, die entsprechenden Elemente detektieren zu können z. B. Hitachi (2024). Ein alternatives Verfahren ist die Glimmentladungsspektroskopie nach ISO 19272 (2015), bei der die Atome durch ein Gleichspannungsplasma abgetragen werden. Sowohl die Funkenspektrometrie als auch die Glimmentladungsspektroskopie sind Oberflächenverfahren. Bei inhomogenen Verteilungen (z. B. durch Seigerungszone) kann es daher zu Ungenauigkeiten kommen, da die chemische Zusammensetzung nur an der sehr kleinen Probenoberfläche bestimmt wird. Bei der Trägergasheizextraktion wird die gesamte Probe aufgeschmolzen, weshalb dieses Verfahren bei inhomogenen Proben genauere Werte liefert. Da sich die Verfahren ständig weiterentwickeln, wird hier keine abschließende Liste der Verfahren angegeben und für weitere Verfahren auf CEN/TR 10261 (2023) verwiesen. Für die meisten Verfahren stehen sowohl mobile als auch stationäre Geräte zur Verfügung.

5.1.2.3 Baumannabdruck

Mit der Baumann-Methode nach ISO 4968 (2022) kann die Schwefelverteilung im Querschnitt sichtbar gemacht werden. Dazu wird ein mit Schwefel- oder Salzsäure getränktes Fotopapier auf die geschliffene Stahloberfläche gedrückt. Durch die Reaktion der Säure mit den Sulfiden des Stahls entstehen an den Stellen erhöhter Schwefelkonzentration braune Verfärbungen. Dieses Verfahren wird verwendet, um Seigerungszone sichtbar zu machen.

5.1.2.4 Zugversuch

Der Zugversuch nach DIN EN ISO 6892-1 (2019) ist ein mechanisches Prüfverfahren zur Bestimmung der Streckgrenze, der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung. Dabei wird eine Probe aus dem Bauteil entnommen und bis zum Bruch gedehnt. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, sollten nur Proportionalproben mit einem Verhältnis der

Ausgangsmesslänge zur Wurzel aus dem Probenquerschnitt von 5,65 verwendet werden.

In der Bauwerkserhaltung werden in der Regel möglichst kleine Proben verwendet, um den invasiven Eingriff so gering wie möglich zu halten. Für kleine Proben ist bekannt, dass die obere Streckgrenze mit abnehmendem Probendurchmesser zunimmt (Geißler und Graße 2006 und Brandes 2008). Helmerich (2005) empfiehlt für ältere Stähle einen Probendurchmesser von mindestens 5 mm.

Für Baustähle ist in 10025-1 (2005) festgelegt, an welcher Stelle die Proben für verschiedene Profilformen entnommen werden sollen. Dies ist insbesondere für ältere inhomogene Stähle relevant, da Einschlüsse in der Seigerungszone zu höheren Festigkeiten bei geringerer Dehnung führen können (Helmerich 2005).

5.1.2.5 Kerbschlagbiegeversuch / Bruchmechaniktest

Da die experimentelle Bestimmung der Bruchzähigkeit über C(T)-Proben sehr aufwändig ist, wird in der Praxis die Sprödbruchneigung von Stahlbauteilen über die Kerbschlagarbeit bei einer definierten Prüftemperatur bestimmt und über die Sanz-Korrelation und die Master-Curve in eine Bruchzähigkeit umgerechnet (Sedlacek et al. 2008).

Beim Kerbschlagbiegeversuch nach DIN EN ISO 148-1 wird eine gekerbte Probe bei definierter Temperatur mit einem Schlag durch einen Pendelhammer gebrochen. Dabei wird die erforderliche Schlagenergie (Schlagarbeit) gemessen. Je höher der Pendelausschlag nach dem Durchschlagen der Probe ausschwingt, desto geringer ist die Zähigkeit des Werkstoffes bzw. desto spröder ist sein Bruchverhalten.

Die Anzahl der Probekörper je Prüfsatz und das Annahmekriterium sind in Abhängigkeit von der jeweils gültigen Produktnorm zu wählen. So sind bei unlegierten Baustählen nach DIN EN 10025-2 (2019) sechs Proben zu entnehmen, um Wiederholungsprüfungen durchzuführen, wenn die Ergebnisse der ersten drei Prüfungen die Kriterien nach DIN EN 10025-2 (2019) Abschnitt 10.2.2 nicht erfüllen (Mittelwert kleiner als der Mindestmittelwert oder Einzelwert kleiner als 70 % des Mindestmittelwertes). Untersuchungen an alten Flusstählen von Hensen (1992), Langenberg (1996) und Stötzel (1998) haben gezeigt, dass für alte Flusstähle mit niedrigem Kohlenstoffgehalt die Sanz-Korrelation nicht gilt und daher die Zähigkeit über die Kerbschlagarbeit unterschätzt wird. Daher kann alternativ die Bruchzähigkeit mit dem wesentlich aufwändigeren Verfahren nach ASTM E399 (2017) bestimmt werden, wobei dieses Verfahren sehr kostenintensiv ist.

Bei der bruchmechanischen Prüfung nach ASTM E399 (2017) wird eine vorermüdete Probe belastet, um ein stabiles oder instabiles Risswachstum hervorzurufen. Die Kraft und das Risswachstum werden kontinuierlich aufgezeichnet, um daraus die Bruchzähigkeit abzuleiten.

5.1.2.6 Ultraschallprüfungen

Die Ultraschallprüfung von Flacherzeugnissen nach DIN EN 10160 (1999) und von H-Profilen nach DIN EN 10306 (2001) kann zur Feststellung der inneren Beschaffenheit, insbesondere von Dopplungen beim Walzprozess, eingesetzt werden. Bei diesem zerstörungsfreien Prüfverfahren werden von einem Prüfkopf Ultraschallwellen ausgesendet, die von Grenzflächen und Fehlstellen reflektiert und vom Prüfkopf wieder empfangen werden.

5.1.2.7 Zugversuch senkrecht zur Erzeugnisoberfläche

Profile und Flacherzeugnisse weisen in der Regel bei Beanspruchung senkrecht zur Oberfläche andere Verformungseigenschaften auf als in Walzrichtung. Diese Anisotropie kann bei geschweißten Bauteilen zu Problemen führen Dilthey, U. (2004). Mit dem Zugversuch senkrecht zur Oberfläche nach DIN 10164 (2018) kann die Brucheinschnürung in Dickenrichtung quantifiziert werden. Aus einem Probenabschnitt werden drei Probestäbe entnommen, die zu Zugproben verarbeitet werden. Der Zugversuch wird nach DIN EN 6892-1 durchgeführt. Der Mindestmittelwert darf nicht unterschritten werden.

5.1.2.8 Prüfung von Schweißnähten

Für die Prüfung von Schweißnähten stehen eine Reihe von zerstörungsfreien Prüfverfahren zur Verfügung. Sichtbare Oberflächenfehler und Unregelmäßigkeiten können durch eine Sichtprüfung nach DIN EN ISO 17637 (2017) festgestellt werden. Feine Oberflächenrisse können durch eine Farbeindringprüfung nach EN ISO 3452-1 oder eine Magnetpulverprüfung nach DIN EN ISO 17638 (2016) sichtbar gemacht werden. Innere Fehler können durch Ultraschallprüfung nach DIN EN ISO 17640 (2018) und DIN EN ISO 23279 (2017) und Durchstrahlungsprüfung nach EN ISO 17636 (2022) festgestellt werden.

5.1.2.9 Prüfung von Beschichtungen und Verzinkungen

Für die Prüfung der Eigenschaften von organischen Korrosionsschutzbeschichtungen, reaktiven Brandschutzbeschichtungen und Verzinkungen steht eine Vielzahl von Prüfverfahren zur Verfügung.

Zur Beurteilung des Verhaltens einer Beschichtung in feuchter Umgebung kann die Kondenswasserprüfung nach DIN EN ISO 6270-2 (2018) angewendet werden, bei der der Prüfkörper bei erhöhter Temperatur und Luftfeuchte beansprucht wird. Zur Beurteilung der Korrosionsschutzwirkung kann die Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227 (2022) angewendet werden. Hierbei wird der Probekörper in einer Salzsprühnebelkammer bei einer Temperatur von 35 °C kontinuierlich mit einer 5 %-igen Kochsalzlösung besprüht.

Zur Beurteilung der Haftfestigkeit einer vorhandenen Beschichtung kann eine Gitterschnittprüfung nach DIN EN ISO 2409 (2022) durchgeführt werden. Hierbei wird ein Gitternetz in die Oberfläche eingeschnitten und das Ergebnis visuell mit Referenzbildern verglichen.

Zur Bestimmung der Schichtdicke stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Mit dem magnetinduktiven Messverfahren nach DIN EN ISO 2178 (2016) kann die Trockenschichtdicke auf einem ferromagnetischen Untergrund (z. B. Stahl) oder mit dem Wirbelstromverfahren nach DIN EN ISO 2360 (2017) auf einem nicht ferromagnetischen - metallischen (aber elektrisch leitenden) Untergrund (z. B. Verzinkung) bestimmt werden (HTG 2015).

Die Zusammensetzung einer Beschichtung kann durch eine thermogravimetrische Analyse, bei der die Massenänderung einer Probe in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit gemessen wird, in Kombination mit einer Infrarotspektroskopie, bei der das Spektrum durch Infrarotstrahlung bestimmt und mit Referenzspektren bekannter Stoffe verglichen wird, bestimmt werden.

Zur Beurteilung der Porosität von nichtleitenden Deckschichten kann die Impedanzspektroskopie eingesetzt werden (Schachinger 2020). Dabei wird der elektrische Gesamtwiderstand eines zu untersuchenden Systems über ein breites Frequenzspektrum gemessen und ausgewertet. Die Impedanz wird als Funktion von Spannung und Strom bestimmt. Nichtleitende Deckschichten oder organische Korrosionsschutzsysteme weisen bei Gleichstrom einen sehr hohen elektrischen Widerstand auf und verhalten sich bei Wechselstrom wie ein Kondensator. Bei Poren oder anderen Unregelmäßigkeiten in der Deckschicht wird zusätzlich der Widerstand der Lösung in den Poren und die Kapazität der elektrochemischen Doppelschicht gemessen.

Die dynamische Differenzkalorimetrie kann verwendet werden, um das Aufschäumen von Brandschutzschichten zu prüfen. Dabei wird ein Stück der Beschichtung entnommen, in einer Prüfkammer auf 500 Grad erhitzt und anschließend die Schichtdicke gemessen. Derzeit wird an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine (KIT) an der Entwicklung eines mobilen Gerätes gearbeitet, mit dem die Beschichtung in situ mit der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) belastet und die Aufschäumwirkung gemessen werden kann.

5.1.3 Konservative Annahmen

5.1.3.1 Allgemeines

Durch die konservative Abschätzung der Materialeigenschaften ohne Versuche kann die Leistungsfähigkeit der Bauteile nicht voll ausgenutzt werden. Die Anwendung konservativer Annahmen soll daher nur dann erfolgen, wenn die betreffende Materialeigenschaft für die Funktion im Tragwerk eine untergeordnete Rolle spielt und durch die versuchstechnische Ermittlung der Materialeigenschaften keine wesentliche Materialeinsparung zu erwarten ist. Die Verwendung konservativer Annahmen für die Eigenschaften von Stahlbauteilen beschränkt sich in dieser Arbeit auf die Ausführungsklassen EXC1 und EXC2. Für EXC3 sind konservative Annahmen nicht zulässig.

Die Stahlerzeugung in Deutschland hat sich im 20. Jahrhundert vom Puddel- und Bessemer-Verfahren Ende des 19. Jahrhunderts über das Siemens-Martin- und Thomas-Verfahren bis hin zu den modernen Elektro- und Sauerstoffverfahren stark

gewandelt. Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf Stählen nach 1945 liegt, werden Stähle aus dem Puddel-Verfahren nicht berücksichtigt. Die verschiedenen Verfahren führen zu unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften, die bei der Festlegung konservativer Annahmen berücksichtigt werden müssen.

Es ist nicht möglich, ein genaues Jahr zu bestimmen, ab dem Bauwerke nur noch Stahl eines bestimmten Herstellungsverfahrens oder einer bestimmten Qualität enthalten. Normen und Richtlinien geben Hinweise, ab welchem Jahr welche Eigenschaften vorausgesetzt werden können. Zwischen Veröffentlichung, bauaufsichtlicher Einführung und tatsächlicher Berücksichtigung in der Praxis liegt jedoch ein nicht eindeutig bestimmbarer Zeitraum. Daher wird für die Ableitung der konservativen Annahmen ein Zeitraum von 5 Jahren zwischen dem Jahr des Regelwerks und der Materialeigenschaft des Stahls in einem Bauwerk mit entsprechendem Baujahr angenommen.

5.1.3.2 Regelwerke der Stahlherstellung

Ab 1924 wurde die Herstellung von Flussstahl in der DIN 1612 (1924) geregelt. In dieser Norm wurden jedoch nur Anforderungen an die Zugfestigkeit, die Bruchdehnung und den Biegeversuch für die Stahlsorten St37.12, St34.12, St42.12 und St44.12 festgelegt, wobei die erste Zahl die Zugfestigkeit in kg/mm² und die zweite Zahl die Werkstoffnorm angibt. Für St00.12 sind keine Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften festgelegt. Ab DIN 1612 (1943) wurden für die schweißbaren Stahlsorten (St37.12 und St34.12) Anforderungen an den Kohlenstoff-, Phosphor- und Schwefelgehalt gestellt. Die „Technischen Lieferbedingungen für Baustahl St 52 und Nietstahl St 44“ der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft (1937) enthielten bereits ab 1937 Anforderungen an die Höchstgehalte von Kohlenstoff (<0,2%), Mangan (<1,2%), Silizium (0,5%) und Kupfer (0,55%) sowie Schwefel und Phosphor (jeweils <0,06%, zusammen <0,1%). 1957 wurde die DIN 1612 durch die DIN 17100 (1957) ersetzt. Ab diesem Zeitpunkt wurden für alle Stahlsorten außer St33 die Gütegruppen 1 (für allgemeine Anforderungen), 2 (für höhere Anforderungen) und 3 (besonders beruhigt für Sonderanforderungen) eingeführt. Für alle Stahlgüten wurden die zulässigen Erschmelzungsarten (Thomas-Verfahren, Siemens-Martin-Verfahren oder nach Wahl des Herstellers) festgelegt. Für Stähle der Gütegruppe 2 wurde eine Kerbschlagzähigkeit von mindestens 8 kgm/cm² bei 20 °C nach künstlicher Alterung (30 Minuten bei 250 °C) und für Stähle der Gütegruppe 3 eine Kerbschlagzähigkeit von 7 kgm/cm² bei 0 °C, ermittelt an DVM-Proben, gefordert.

Ab DIN 17100 (1966) wurde die Erschmelzungsart nicht mehr vorgegeben, jedoch wurde durch einen maximalen Stickstoffgehalt von 0,007% und maximalen Phosphorgehalt von 0,05 % gewährleistet, dass Thomas-Stahl nur für Gütegruppe 1 zum Einsatz kommen kann. Für den Kerbschlagbiegeversuch wurde die ISO-Spitzkerbprobe eingeführt. In DIN 17100 (1980) wurde Gütegruppe 1 außer für St33 gestrichen, da in Deutschland kein Thomas-Stahl mehr produziert wurde. Ebenso wurde St34 aufgrund mangelnder Relevanz gestrichen.

Im Jahr 1990 wurde die DIN 17100 durch die europäische Norm DIN EN 10025 (1990) ersetzt. In der DIN EN 10025 (1994) wurden die heute üblichen Stahlsorten und

Gütegruppen eingeführt (z. B. S235JR). 2005 wurde die DIN EN 10025 in 6 Teile aufgeteilt. Nach DIN EN 10025-2 (2005) sind unberuhigte Stähle nicht mehr zulässig (außer S185).

Für St33 (später Fe310-0, heute S185) wurden nie Anforderungen an die chemische Zusammensetzung und die Kerbschlagarbeit gestellt. Daher ist es nicht möglich, allein aus den Regelwerken für die Stahlherstellung konservative Mindestwerte festzulegen, die einem heutigen S235 (niedrigste Stahlsorte nach Eurocode) entsprechen. Da nicht alle Stahlsorten für die Anwendung im Bauwesen zugelassen waren, werden im Folgenden die Bemessungsnormen der entsprechenden Jahre betrachtet.

5.1.3.3 Regelwerke der Bemessung im Stahlbau

Die Bemessung von Stahlbauten wurde ab 1937 durch die DIN 1050 (1937) geregelt. DIN 1050 (1937) enthält die Stahlsorten St00.12, Handelsbaustahl, St37.12 und St52, wobei die Verwendung von St00.12 mit dem Zusatzblatt November 1942 (später DIN 1050 (1946)) auf die Wiederverwendung gebrauchter Stahlbauteile beschränkt wurde. Ab DIN 1050 (1957) wurden Handelsbaustahl und St00.12 gestrichen. In DIN 1050 (1961) wurde St33 aufgenommen, wobei die für St33 anzusetzende Fließgrenze 1968 von 2200 kp/cm² auf 1900 kp/cm² herabgesetzt wurde.

Die Herstellung von Schweißkonstruktionen wurde ab 1934 in DIN 4100 (1934) geregelt. Ab DIN 4100 (1956) waren nur noch die Stahlsorten St37 und St52 für Schweißkonstruktionen zugelassen. Nach Einführung der Gütegruppen 1966 durften nach DIN 4100 (1968) nur noch die Stahlsorten St37-1,-2,-3 und St52-3 verwendet werden. Ab 1981 wurden DIN 1050 und DIN 4100 zur DIN 18800 (1981) zusammengefasst. Die DIN 18800 (1981) enthält die Stahlsorten St37-2, St37-3 und St52-3 und damit keine Stähle der Gütegruppe 1. 1990 wurde die DIN 18800 vom Konzept der zulässigen Spannungen auf das semiprobabilistische Sicherheitskonzept umgestellt.

Für die Wahl der Stahlgütegruppe wurde 1973 die DAST-Richtlinie 009 (1973) eingeführt. In Abhängigkeit von der Bedeutung des Bauteils, der Beanspruchungsart, dem Spannungszustand und der Temperatur werden Klassifizierungsstufen definiert, die über eine zulässige Materialdicke die erforderliche Gütegruppe bestimmen (siehe Abbildung 30). Im Jahr 1998 wurde die DAST-Richtlinie 009 (1998) auf der Grundlage des bruchmechanischen Sprödbruchkonzeptes überarbeitet. Im Jahr 2005 erfolgte eine weitere Überarbeitung auf das heute im Eurocode 1993-1-10 verwendete Referenztemperaturkonzept.

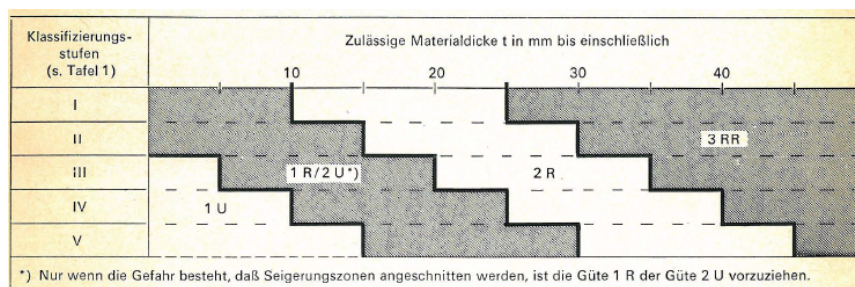


Abbildung 30: Matrix zur Bestimmung der Stahlgütegruppen (DAST-Richtlinie 009)

5.1.3.4 Abgeleitete konservative Annahmen für Westdeutschland

Unter der Annahme, dass 5 Jahre nach Veröffentlichung eines Regelwerks ein Bauwerk mit entsprechendem Baujahr die im Regelwerk geforderten Eigenschaften erfüllt, lassen sich aus den in Abbildung 31 dargestellten Regelwerken folgende konservative Annahmen für Stahl aus Westdeutschland ableiten.

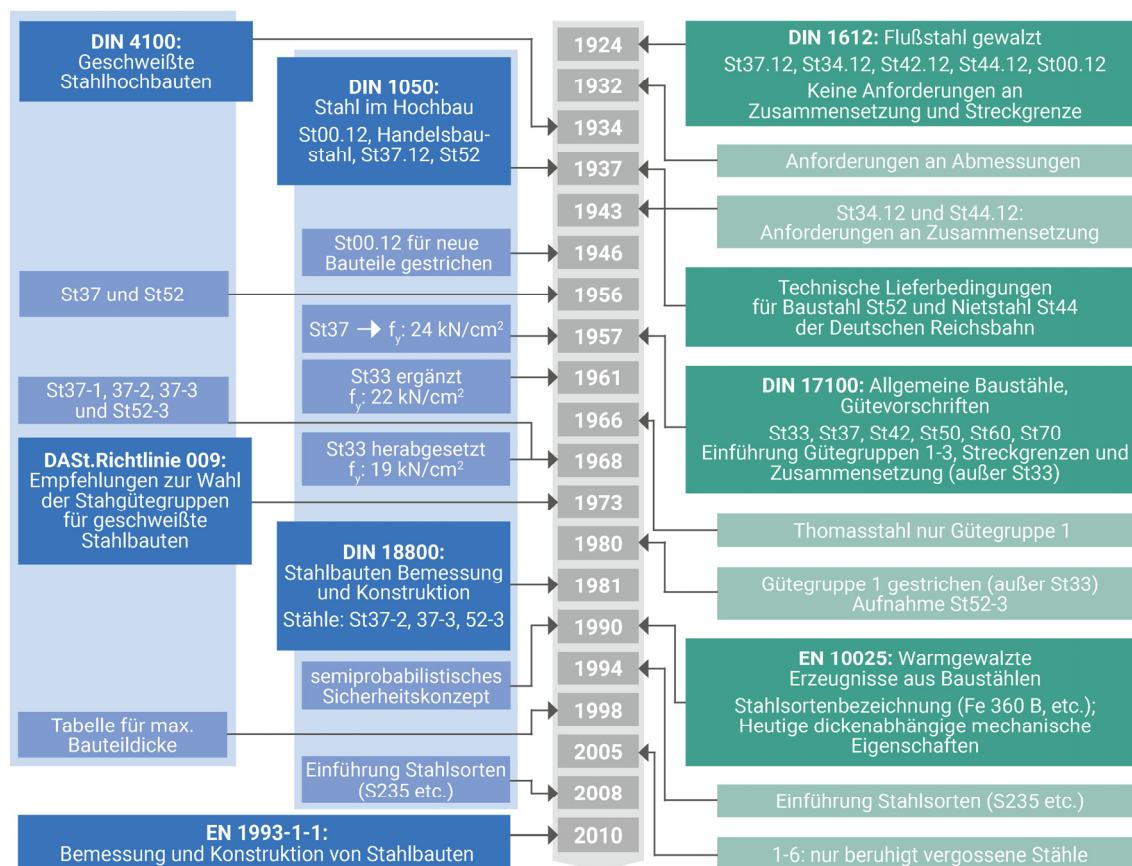


Abbildung 31: Für die Ableitung konservativer Annahmen relevante Regelwerke für die Bemessung (links) und Stahlherstellung (rechts) für Stahl aus Westdeutschland

Mechanische Eigenschaften

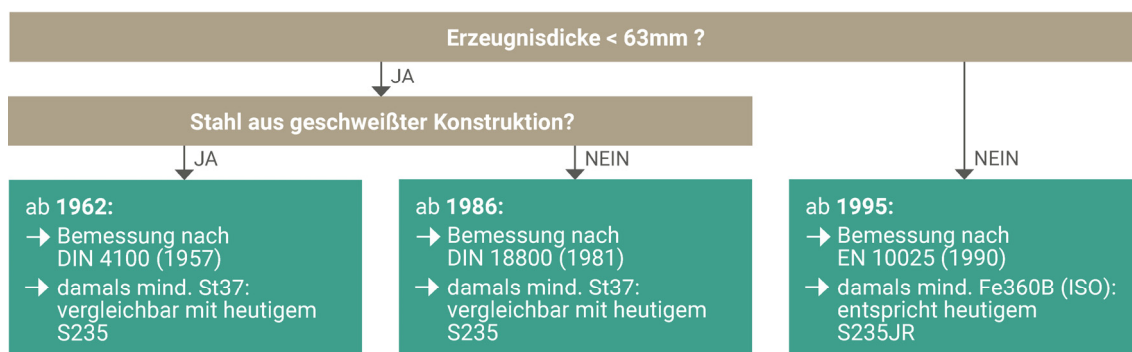
Nach DIN 1050 durfte bis 1981 St33 für tragende Stahlbauteile verwendet werden. St33 entspricht in etwa der heutigen Stahlsorte S185, die nach Eurocode heute nicht für tragende Stahlbauteile verwendet werden darf. Ab DIN 18800 (1981) wurde für Stahlbauteile eine Mindeststahlgüte von St37-2 gefordert. Die Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften von St37 bis zu einer Erzeugnisdicke nach DIN 17100 (1957) von 63 mm entsprechen weitgehend den heutigen Anforderungen an S235 (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften ausgewählter Stahlsorten.

Stahl (Norm)	Streckgrenze [kg/mm ²] bis 1966 [kN/cm ²] ab 1980					Zugfestigkeit [kg/mm ²] bis 1966 [kN/cm ²] ab 1980			Bruchdehnung [%] (L.=5do) bis 1980 (L.=5,65* (S ₀) ^{0,5}) ab 1987
	<16 mm	<40 mm	<63 mm	<80 mm	<100 mm	<3 mm	<100 mm	>100 mm	
Erzeugnisdicke									
St33 (DIN 17100: 1957)	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	33-50	33-50	k.A.	18 (<40mm)
St33 (DIN 17100: 1966)	19	18	k.A.	k.A.	k.A.	33-50	33-50	31-50	18 (<25mm)
St37 (DIN 17100: 1957)	24	23	22	22	22	37-45	37-45	37	25 (<100mm)
St37 (DIN 17100: 1966)	24	23	22	22	22	37-45	37-45	35	25 (<100mm)
St37 (DIN 17100: 1980)	23,5	22,5	21,5	20,5/ 21,5*	19,5/ 21,5*	36-51	34-47	k.A.	26 (<40mm); 25 (<63mm)
FE360B (DIN EN 10025: 1990)	23,5	22,5	21,5	21,5	21,5	36-51	34-47	34-47	26 (<40mm); 25 (<63mm)
S235 (DIN EN 10025-2: 2019)	23,5	22,5	21,5	21,5	21,5	36-51	36-51	35-50	26 (<40mm); 25 (<63mm)

*oberer Wert für St37-2 und USt37-2 (U= unberuhigt) / unterer Wert für RSt37-2 und St37-3 (R=beruhigt)

Für geschweißte Konstruktionen wurde bereits 1956 in der DIN 4100 St37 als Mindeststahlgüte vorgeschrieben, der seit der Einführung der DIN 17100 (1957) mit den mechanischen Eigenschaften eines heutigen S235 vergleichbar ist. Mit einem „Sicherheitszuschlag“ von 5 Jahren auf das Ausgabejahr der Norm ergeben sich die in Abbildung 32 dargestellten zulässigen konservativen Annahmen für die mechanischen Eigenschaften.


Abbildung 32: Konservative Annahmen für die mechanischen Eigenschaften

Kerbschlagarbeit

In den Regelwerken für die Stahlherstellung waren ab DIN 17100 (1980) nur noch die Gütegruppen 2 und 3 (außer St33) zugelassen. Für die Gütegruppe 2 wurde eine Mindestkerbschlagarbeit von 27 J bei 20 °C gefordert (entspricht der heutigen Gütegruppe JR). Da nach DIN 18800 (1981) St33 nicht verwendet werden durfte, kann ab 1986 in Abhängigkeit von der Bauteildicke mindestens von der Gütegruppe JR ausgegangen werden. Im Laufe der Zeit wurde der Blechdickenbereich, für den die Kerbschlagarbeit erfüllt sein muss, in der Normung kontinuierlich angehoben (siehe Tabelle 14)

Tabelle 14: Erforderliche Kerbschlagarbeit bei Raumtemperatur für verschiedene Stähle

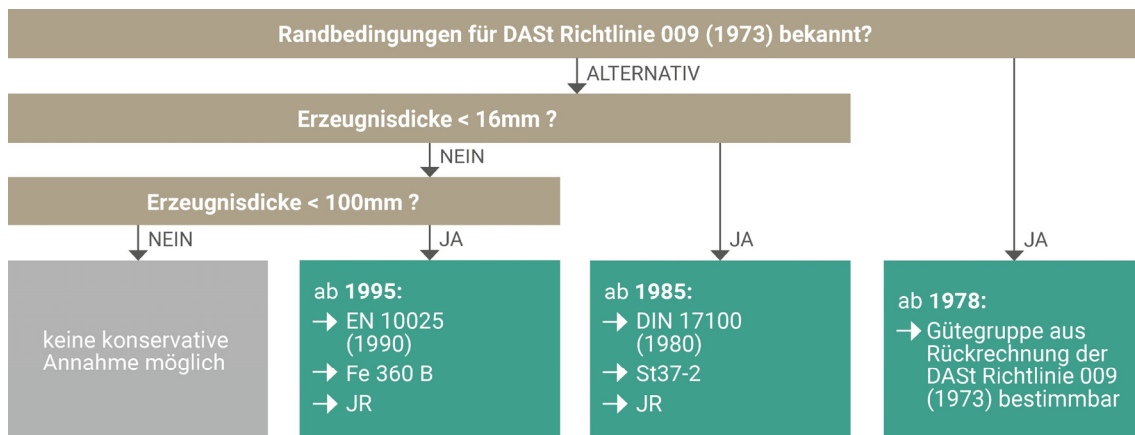
Stahl (Norm)	Kerbschlagarbeit		
	<16mm	<150mm	<250mm
Erzeugnisdicke	<16mm	<150mm	<250mm
St33 (DIN 17100: 1980)	k.A	k.A	k.A
St37-2 (DIN 17100: 1980)	27JR	k.A.	k.A
FE360 B (DIN EN 10025: 1990)	27JR	27JR	23 JR
S235 JR (DIN EN 10025: 1994)	27JR	27JR	23 JR
S235 JR (DIN EN 10025-2: 2005)	27JR	27JR	27JR
S235 JR (DIN EN 10025-2: 2019)	27JR	27JR	27JR

Mit der DAST-Richtlinie 009 (1973) stand für geschweißte Konstruktionen bereits frühzeitig ein Regelwerk zur Stahlgütauswahl zur Verfügung. Daher kann bei bekannten Randbedingungen des Bauteils alternativ die damals zu verwendende Stahlgüte rückgerechnet werden. Die Randbedingungen beziehen sich zum Teil auf das gesamte Tragwerk und müssen daher vor dem selektiven Rückbau erfasst werden. So fließt nach der DAST-Richtlinie 009 (1973) die Bedeutung des Bauteils und das damit verbundene Schadensrisiko durch Spröbruch in die Entscheidung über die Stahlgütewahl ein. Da diese Randbedingungen im Nachhinein nicht immer eindeutig bestimmbar sind, soll bei nicht eindeutiger Zuordnung immer die Randbedingung gewählt werden, die zur niedrigeren Stahlgüte führt (z. B. Bedeutung des Bauteils: Bauteile 2. Ordnung). Aus der Rückrechnung über die DAST-Richtlinie 009 (1973) ergibt sich eine Gütegruppe (1,2 oder 3) sowie eine Desoxidationsart (U=unberuhigt, R=beruhigt, RR=vollberuhigt). Aus der damals gültigen DIN 17100 (1966) kann die Anforderung an die Kerbschlagarbeit rückgerechnet werden (siehe Tabelle 15). Dabei ist zu beachten, dass bis 1980 die Kerbschlagarbeit in kgm/cm^2 angegeben wurde. Über die heute beim Kerbschlagbiegeversuch verwendete Probengeometrie mit einer Querschnittsfläche im Kerb von 8 mm*10 mm lässt sich die Anforderung von $3,5 \text{ kgm/cm}^2$ auf 27 J umrechnen.

Tabelle 15: Übertragung der Anforderungen der Richtlinie DAST 009 (1973) auf die heutigen Anforderungen

Gütegruppe + Desoxidationsart	Anforderung DIN 17100 (1966)	Entspricht heutiger Stahlgüte
1 U	Keine Anforderung	
1 R	Keine Anforderung	
2 U	3,5 kgm/cm ² (+20°C) <16mm	JR
2 R	3,5 kgm/cm ² (+20°C) <63mm	JR
3 RR	3,5 kgm/cm ² (+0°C) <63mm	JO

Die Dickenabhängigkeit der mechanisch-technologischen Eigenschaften wurde in der Normung erst mit DIN 17100 (1980) umfassend berücksichtigt. In DIN 17100 (1966) werden keine maximalen Erzeugnisdicken angegeben, bei denen eine Kerbschlagarbeit von 3,5 kgm/cm² eingehalten werden muss. Da diese Anforderung auf einem geringeren Kenntnisstand im Jahr 1966 beruht und nicht davon auszugehen ist, dass ältere dickere Erzeugnisdicken die Anforderungen unabhängig von der Dicke erfüllen, werden die Dickenbegrenzungen aus DIN 17100 (1980) in Tabelle 15 Zeile 4 und 5 ergänzt. Daraus ergibt sich das in Abbildung 33 dargestellte Ablaufdiagramm für die Wahl der Stahlgüte. Für Erzeugnisdicken über 100 mm muss bis heute bei der Bestellung vereinbart werden, ob ein Kerbschlagarbeit eingehalten werden muss. Daher ist für dickere Erzeugnisdicken keine konservative Annahme möglich.


Abbildung 33: Konservative Annahmen für die Kerbschlagarbeit

Schweißbeignung

Die Schweißbeignung von Baustählen wird im Wesentlichen durch den Kohlenstoffgehalt und weitere Legierungselemente bestimmt. Der Einfluss der Elemente Mangan (Mn), Molybdän (Mo), Chrom (Cr), Vanadium (V), Nickel (Ni) und Kupfer (Cu) auf die Kaltrissanfälligkeit wird seit DIN EN 10025 (1990) über GL 5.1 in einen kohlenstoffäquivalenten Einfluss (CEV) umgerechnet. Seit DIN EN 10025-2 (2005) sind für verschiedene Stahlsorten maximale CEV in Abhängigkeit von der Erzeugnisdicke festgelegt.

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{+Cu}{15} \quad (5.1)$$

Die Legierungselemente Silizium, Phosphor und Schwefel wirken sich ab bestimmten Konzentrationen ebenfalls negativ auf die Schweißbeignung aus, weshalb ihr Anteil in den Normen für die Stahlherstellung begrenzt wird (siehe Tabelle 16).

Neben den Legierungselementen ist der Desoxidationsgrad für die Schweißbeignung der Stähle entscheidend. Beim Erstarren der Schmelze nimmt die Löslichkeit des Sauerstoffs ab, wodurch dieser mit dem Kohlenstoff reagiert und das entstehende Kohlenmonoxid beim Entweichen zum Kochen der Schmelze führt. An den Stellen, die zuletzt erstarren, reichern sich unerwünschte Elemente wie Schwefel und Phosphor in so genannten Seigerungszone an. Dieser Stahl wird als unberuhigt vergossener Stahl bezeichnet (Kurzzeichen FU in DIN 10025 und U in DIN 17100). Durch Zugabe von Desoxidationsmitteln kann der Sauerstoff gebunden und damit das Kochen der Schmelze verhindert werden, so dass ein homogenerer Stahl entsteht. Ab einem Aluminiumgehalt von 0,02 % und einem Siliziumgehalt von 0,2 % wird der Stahl als besonders beruhigt vergossen (Kurzzeichen FF in DIN 10025 und RR in DIN 17100) bezeichnet (DVS 2022). Wird nur einer der beiden Grenzwerte überschritten, gilt der Stahl als beruhigt vergossen (Kurzzeichen FN in DIN 10025 und R in DIN 17100).

Tabelle 16: Grenzwerte der Legierungselemente für die Stückanalyse in %

Stahlsorte (Norm)	Desoxi- dation	C			Mn	Si	P	S	N	Cu
		<16 mm	16mm <X< 40mm	>40 mm						
St37 (DIN 17100:1957)	U / R	0.25	0.25	0.25	n.d.	n.d.	0.10	0.063	n.d.	n.d.
St37-2 (DIN 17100:1980)	Freigestellt	0.21	0.25	0.25	n.d.	n.d.	0.065	0.065	0.01	n.d.
Fe E 360 B (DIN EN 10025:1990)	Freigestellt	0.21	0.25	0.23*	n.d.	n.d.	0.055	0.055	0.011	n.d.
S235JR (DIN EN 10025:1994)	Freigestellt	0.21	0.25	0.23*	1.5	n.d.	0.055	0.055	0.011	n.d.
S235JR (DIN EN 10025-2:2005)	FN	0.19	0.19	0.23	1.5	n.d.	0.045	0.045	0.014	0.6
S235JR (DIN EN 10025-2:2019)	FN	0.19	0.19	0.23	1.5	n.d.	0.045	0.045	0.014	0.6

*>25 mm unberuhigter Stahl nicht zulässig

Unter Beachtung der allgemeinen Anforderungen an das Schweißen sind alle heute in DIN 10025-2 geregelten Stähle der Gütegruppen JR, J0, J2 und K2 schweißgeeignet, wobei die Eignung mit steigender Gütegruppe zunimmt. Nach DIN 17100 (1980) sind Stähle der Gütegruppen 2 und 3 mit Ausnahme der Seigerungszone grundsätzlich schweißgeeignet. Seit DIN 10025-2 (2005) sind unberuhigte Stähle nicht mehr zulässig, so dass erst ab 2010 konservativ von beruhigten Stählen ausgegangen werden kann.

Da nach DIN 18800 (1981) nur die Gütegruppen 2 und 3 für tragende Bauteile verwendet werden durften, kann ab 1986 von einer grundsätzlichen Schweißbeignung im Bereich der sogenannten „Speckschicht“ (Flanschaußenseiten) ausgegangen werden. Darüber hinaus kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass, wenn an einer Stahlkonstruktion fachgerecht geschweißt wurde, der Stahl für diese Schweißart an der entsprechenden Stelle grundsätzlich schweißgeeignet ist. In diesem Fall sollten jedoch immer Probeschweißungen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die Schweißbeignung für heutige Schweißverfahren gilt. Zusätzlich sollte bei der Abschätzung der Schweißbeignung über eine vergangene Schweißung darauf geachtet werden, dass das Bauteil durch neue Schweißungen nicht mehraxial beansprucht wird. Abbildung 34 fasst die konservativen Annahmen zur Bewertung der Schweißbeignung zusammen.

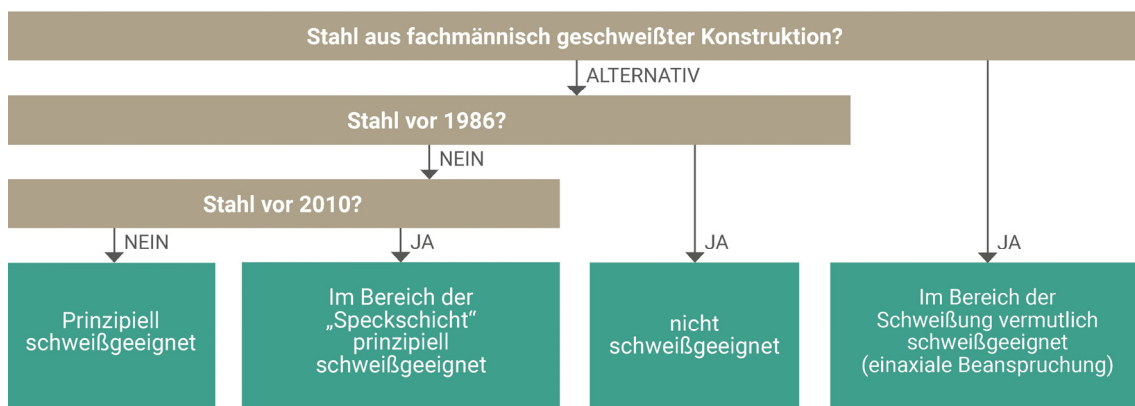


Abbildung 34: Konservative Annahmen zur Beurteilung der Schweißbeignung

Z-Güte

Einschlüsse von Mangansulfiden können bei Beanspruchung in Dickenrichtung zu Terrassenbrüchen führen. Die Brucheseinschnürung einer Zugprobe nach DIN EN 10164 (2018) in Prozent wird als Z-Wert bezeichnet. Ursprünglich waren die Anforderungen an die Z-Güte in der DASt-Richtlinie 014 (1981), heute sind sie in der 1993-1-10 (2010) geregelt. Da auch heute noch die Anforderungen in Dickenrichtung bei der Bestellung vereinbart werden müssen, kann für die Z-Güte keine konservative Annahme getroffen werden. Alternativ könnte ab 1986 die erforderliche Z-Güte für das Bauteil anhand der vorhandenen Schweißnähte, Nahtform, Blechdicke und Steifigkeit rückgerechnet werden. Da die damaligen Fertigungsprozesse nicht mehr rekonstruiert werden können, ist konservativ von einer Fertigung ohne Vorwärmung auszugehen.

5.1.3.5 Einordnung und Vergleich mit anderen Veröffentlichungen

Andere Veröffentlichungen, die sich mit der Wiederverwendung von Stahlbauteilen befassen, legen andere Jahre für zulässige konservative Annahmen fest, legen jedoch die Gründe für die getroffenen Annahmen nicht offen.

Das Merkblatt „Wiederverwendung von Stahlbauteilen“ (LBV 2023) geht für Stähle ab 1975 von einer Mindestkerbschlagzähigkeit von 27 J bei 20 °C aus. Für die mechanischen Eigenschaften sind keine konservativen Annahmen zulässig. Die

technische Spezifikation zu EN 1090 (CEN/TC 135 2024) geht ab 1970 konservativ von einer Kerbschlagarbeit von 27 J bei 20 °C (Güte JR) aus. Für die mechanischen Eigenschaften ist für EXC 1 ab 1990 die Stahlgüte S235 zulässig. Die britische Richtlinie „Structural steel reuse- assessment, testing and design principles“ (SCI 2019) empfiehlt für innere Stahlbauteile ab 1970 ohne Ermüdungsbeanspruchung eine konservative Abschätzung der Kerbschlagarbeit, ohne dies weiter zu spezifizieren. Nach der schwedischen Richtlinie „Återbruk av stål i bärande konstruktioner“ (MVR 2021) kann bereits ab 1946 von S235 JR ausgegangen werden.

Die Unterschiede zwischen den Quellen sind zum Teil auf die unterschiedlichen Stahlerzeugungsverfahren in den Herkunftsländern zurückzuführen. Insbesondere das Ende der Thomasstahlproduktion in Deutschland Mitte der 70er Jahre ist ein zentraler Zeitraum für die zulässigen konservativen Annahmen. Konservative Annahmen für ganz Europa sind mit dem hier verwendeten Verfahren sehr schwer zu begründen, da theoretisch die Normen des Mitgliedstaates herangezogen werden müssten, der zuletzt Mindestwerte gefordert hat, die dem heutigen Stahl entsprechen.

Alle konservativen Annahmen basieren auf der Annahme, dass das ursprüngliche Bauwerk nach den damals gültigen technischen Regeln berechnet und der Stahl entsprechend hergestellt wurde. Diese inhärente Unsicherheit ist bei der Wiederverwendung unvermeidlich (vgl. hierzu Hinweise in Kapitel 3.4.1).

5.1.3.6 Bilden von Prüfeinheiten

Für die prüftechnische Ermittlung von Werkstoffkennwerten dürfen Bauteile zu Prüfeinheiten zusammengefasst werden, wenn sie folgende gemeinsame Eigenschaften aufweisen:

- Sie stammen aus dem gleichen Bauwerk
- Sie erfüllen die gleiche strukturelle Funktion (Dachträger, Stütze etc.)
- Sie sind den gleichen Querschnittsabmessungen zuordenbar²
- Sie besitzen die gleiche Oberflächenbehandlung

Gibt es Indizien dafür, dass die Bauteile trotz der aufgeführten gemeinsamen Eigenschaften nicht aus einer Charge stammen, z. B. unterschiedlich ausgeprägte Korrosionsschäden, die auf den Austausch einzelner Träger hindeuten, so sind die Prüfeinheiten zu unterteilen. Angeschweißte Kopfplatten und Steifen dürfen zu einer Prüfeinheit zusammengefasst werden, wenn sie innerhalb der Grenzabmaße der Dicke nach EN 10029 (2010) Klasse D liegen.

Es wird davon ausgegangen, dass die Bauteile einer Prüfeinheit aus der gleichen Charge stammen oder zumindest die gleichen nominellen Werkstoffeigenschaften aufweisen. Insbesondere bei historischen Tragwerken ist zu beachten, dass sich die

² Die Bauteile einer Prüfeinheit müssen einer Profilmass nach DIN EN 10025-1, Abschnitt 2.2 zugeordnet werden können und die entsprechenden Grenzabmessungen müssen eingehalten werden.

Stahlsorten in einer Konstruktion je nach Anforderung deutlich unterscheiden können, weshalb z. B. eine Zusammenfassung von Haupt- und Nebenträgern nicht zulässig ist.

Eine Begrenzung der Prüfeinheitengröße ist sinnvoll, da bei hohen Stückzahlen die Wahrscheinlichkeit steigt, dass nicht alle Bauteile aus einer Charge / von einem Hersteller stammen. CEN/TC 135 (2024) schlägt eine Begrenzung auf 20 Tonnen vor, die auch in dieser Arbeit übernommen wird. Zusätzlich wird eine Begrenzung auf maximal 50 Bauteile eingeführt, da bei hohen Stückzahlen (unabhängig vom Gewicht) die Wahrscheinlichkeit von unterschiedlichen Herstellern/Chargen steigt.

5.1.4 Prüfkonzep

Im Idealfall werden in Zukunft komplette Stahlbauteile mit Beschichtungen/Verzinkungen und angeschweißten Kopfplatten etc. wiederverwendet. In diesem Fall sind neben den mechanischen Eigenschaften der Grundwerkstoffe auch die Eigenschaften der Schweißnähte und der Beschichtungen/Verzinkungen zu prüfen. Werden die Kopfplatten abgetrennt und/oder die Stahlbauteile gestrahlt und neu beschichtet, kann auf die entsprechenden Prüfungen verzichtet werden.

Nach DIN EN 1090-2 dürfen Ausgangsprodukte verwendet werden, wenn mindestens die folgenden Eigenschaften festgestellt werden:

- Streckgrenze
- Festigkeit
- Bruchdehnung
- Toleranzen bezüglich Abmessungen und Form
- Lieferzustand hinsichtlich Wärmebehandlung

Der Lieferzustand ist nur für Hohlprofile relevant, die nicht Teil dieser Arbeit sind.

Zusätzlich müssen nach EN1090-2 falls erforderlich folgende Eigenschaften festgelegt werden:

- Anforderungen an Brucheinschnürung
- Kerbschlagarbeit
- Verformungseigenschaften in Dickenrichtung (Z-Güte)
Falls geschweißt werden soll
- Klassifizierung nach CEN ISO/TR 15608
- Höchstgrenze für das Kohlenstoffäquivalent
- Detaillierte Angaben zur chemischen Zusammensetzung zur Berechnung des Kohlenstoffäquivalent

Wenn keine Anforderungen an Brucheinschnürung, Z-Güte etc. gestellt werden, müssen diese Eigenschaften für eine Wiederverwendung nicht nachgewiesen werden.

5.1.4.1 Prüfung der Abmessungen

An allen Bauteilen ist eine Sichtkontrolle hinsichtlich Korrosionsschäden, Löchern, etc. durchzuführen. Dies kann bei entsprechender Zugänglichkeit bereits bei der Bestandsaufnahme (siehe Abschnitt 3) erfolgen.

Die Abmessungen der Bauteile sind im ausgebauten Zustand zu bestimmen. Sollen auch Beschichtungen und Verzinkungen wiederverwendet werden, ist die Schichtdicke zu messen und bei der Vermessung der Bauteile zur Ermittlung des Stahlquerschnitts zu berücksichtigen. Im Idealfall kann das Stahlbauteil einer Produktnorm zugeordnet werden. Ist dies nicht möglich, muss die Bemessung mit den gemessenen Querschnittswerten erfolgen. Wenn die Geradheit der Profile nicht innerhalb der Toleranzen liegt, muss eine Bemessung nach der Theorie II. Ordnung mit einer angepassten Ausmitte durchgeführt werden. Die Vorgehensweise ist in Abbildung 35 zusammengefasst.

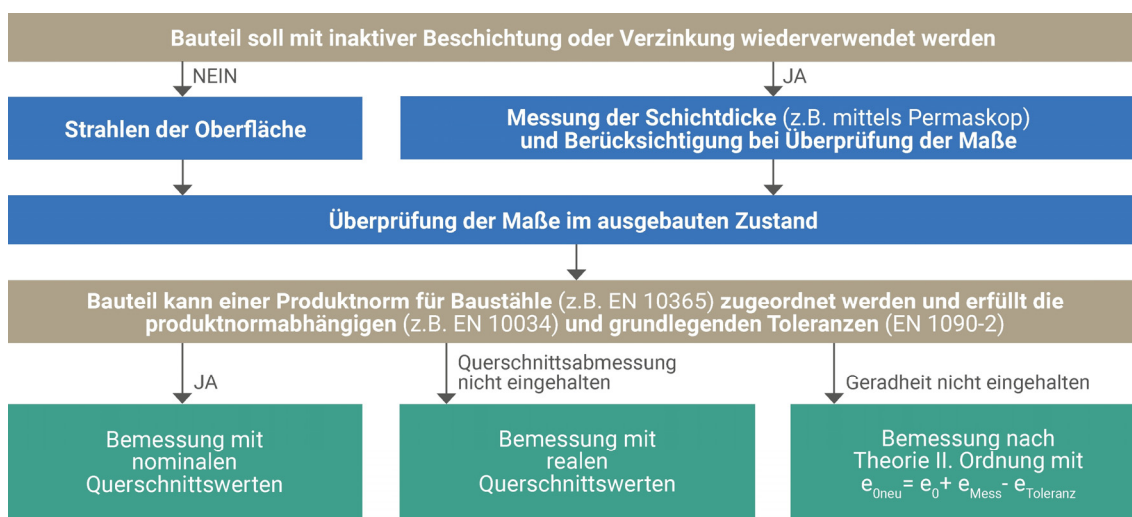


Abbildung 35: Vorgehen zur Bestimmung der Abmessungen

Schwächungen durch Beseitigungen von Korrosionsschäden, Löcher und andere Querschnittsverminderungen sind zu dokumentieren und bei der Bemessung zu berücksichtigen.

5.1.4.2 Prüfung der Grundmaterialien

Der Prüfumfang zur Bestimmung der Eigenschaften des Ausgangsmaterials wird in Abhängigkeit von den vorliegenden Informationen, dem Baujahr sowie dem Verwendungszweck im neuen Bauwerk festgelegt. Die Matrix in Abbildung 36 ermöglicht die Auswahl eines der sechs Prüfprotokolle. Die Prüfprotokolle verwenden eine Kombination aus zerstörenden Prüfungen (ZP) und zerstörungsfreien Prüfungen (ZfP).

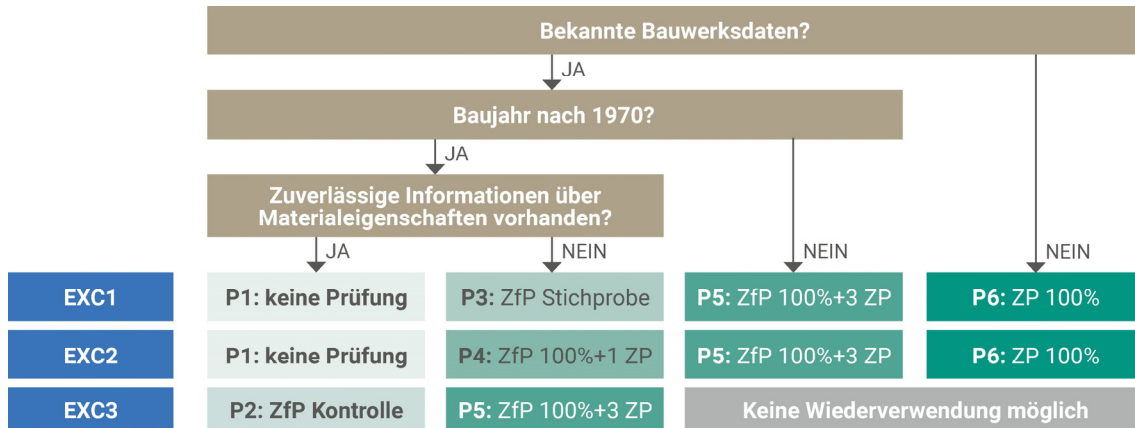


Abbildung 36: Auswahl des Prüfprotokolls abhängig von der Ausführungsklasse, vorliegenden Informationen und Alter des Bauwerks.

Der Leitfaden befasst sich ausschließlich mit der Wiederverwendung von Bauteilen und soll nicht dazu dienen, Stahlbauteile, die nicht nach den Herstellungsnormen (DIN EN 10025-1 bis -6 etc.) hergestellt und mit dem CE-Kennzeichen gemäß Bauproduktenverordnung versehen wurden, über Umwege nachträglich in Verkehr zu bringen. Voraussetzung für die Anwendung ist daher, dass der Stahl aus einem Bauwerk ausgebaut wurde. Liegen mindestens folgende Informationen über das Bauwerk vor, wird davon ausgegangen, dass die Bauwerksdaten bekannt sind:

- Herstellungszeitraum (Baujahr)
- Art der Nutzung
- Besondere Ereignisse (Brände, Erdbeben, außergewöhnliche Belastungen)

Während der Bestandaufnahme ist besonderes Augenmerk auf Anzeichen für Schäden infolge besonderer Ereignisse zu richten.

Das Jahr 1970 wird analog zu (Progress 2020 und CEN/TC 135 2023) als Grenzwert definiert, da ab diesem Zeitpunkt Thomasstähle nur noch in geringem Umfang eingesetzt wurden und Stähle von 1970 Bestandteil des Eurocode-Programms und damit Grundlage der Eurocode-Bemessungsnormen waren. Ab 1970 wird daher von modernem Stahl ausgegangen, der grundsätzlich den Anforderungen der EN 10025 entspricht.

Die Eigenschaften moderner, vorwiegend statisch beanspruchter, korrosionsgeschützter Stähle ändern sich nicht mit der Zeit. Daher verlieren einmal ermittelte Eigenschaften nicht ihre Gültigkeit. Liegen zuverlässige Informationen über die Werkstoffeigenschaften vor und können diese eindeutig zugeordnet werden, ist eine erneute versuchstechnische Ermittlung nicht erforderlich. Als verlässliche Informationen gelten zuordenbare Prüfbescheinigungen nach EN 10204 (2005) bzw. den entsprechenden Vorgängernormen DIN 50049 (1991) etc. sowie Pläne mit eingetragenen Stahlsorten und Güten.

Tabelle 17 zeigt den Vorschlag für die durchzuführenden Prüfungen für die unterschiedlichen Prüfprotokolle aus Abbildung 35. Genauere Spezifikationen für die

einzelnen Protokolle werden in den folgenden Unterabschnitten gegeben. Wenn die konservativen Annahmen (siehe Abschnitt 5.1.3) für die entsprechende Eigenschaft ausreichend sind, ist keine Prüfung erforderlich.

Tabelle 17: Durchzuführende Prüfungen

Prüfungen	Eigenschaft	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Härteprüfung	Härte (Festigkeit)	keine	50% mind. 5	50% mind. 5	100%	100%	keine
Zugversuch	Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung	keine	keine	keine	1 Bauteil	3 Bauteile	100%
chemische Analyse (C,Mn,N, P,Si)	Ausschluss von Puddelstahl	keine	keine	keine	keine	keine	100%
chemische Analyse (N)	Reckalterungsanfälligkeit	keine	keine	keine	1 Bauteil *	3 Bauteile	100%
chemische Analyse (CEV,P,S, Al, Si)	Schweiß-eignung	keine	keine	wenn geschweißt 1 Bauteil	wenn geschweißt 1 Bauteil	wenn geschweißt Bauteile	wenn geschweißt 100%
Ultraschallprüfung	Dopplungen	keine	keine	keine	keine	wenn geschweißt 3 Bauteile	wenn geschweißt 100%
Kerbschlagbiegeversuch	Kerbschlagarbeit (Zähigkeit)	keine	keine	wenn erforderlich 1 Bauteil	wenn erforderlich 1 Bauteil	wenn erforderlich 3 Bauteile	wenn erforderlich 100%
Zugversuch senkrecht zur Oberfläche	Z-Güte	keine	keine	wenn erforderlich 1 Bauteil	wenn erforderlich 1 Bauteil	wenn erforderlich 3 Bauteile	wenn erforderlich 100%

* Nur bis 1986

5.1.4.2.1 Prüfprotokoll 6

Liegen keine Informationen über das Bauwerk vor (siehe 5.1.4.2), können keine Prüfeinheiten gebildet werden. Demnach sind alle Bauteile einzeln zu prüfen.

Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung

Zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften wird an jedem Bauteil ein Zugversuch nach ISO 6892-1 durchgeführt. Alle Bauteile müssen die Anforderungen an die Duktilität nach DIN EN 1993-1-1 (2020) erfüllen. Da die mechanischen Eigenschaften direkt am wiederzuverwendenden Bauteil ermittelt werden, ist eine statistische Abminderung der Ergebnisse nicht erforderlich. In Abhängigkeit von Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung kann der Stahl einer Stahlsorte nach DIN 10025-2 zugeordnet werden.

Reckalterungsanfälligkeit

Durch chemische Analyse wird der Stickstoffgehalt bestimmt. Liegt dieser über 0,014 %, besteht die Gefahr der Reckalterung und der Stahl ist wegen Sprödbruchgefahr nicht wiederverwendbar. Theoretisch ist es denkbar, wenn keine plastische Verformung (z. B. durch Stanzen) eingebracht wird, die Bauteile bis zu bestimmten Erzeugnisdicken in beheizten Innenräumen mit Redundanz im statischen System wiederverwendbar sind. Diese Vorgehensweise ist jedoch fehleranfällig, erfordert ein gewisses Experten-Know-how und wird daher für die Anwendung nach dem zugehörigen Leitfaden zunächst ausgeschlossen.

Ausschluss von Puddelstahl

Der Leitfaden richtet sich an Stahlbauteile nach 1945, sodass eine Wiederverwendung von Puddelstahl ausgeschlossen ist. Da sich das Prüfprotokoll 6 auf Bauwerke bezieht, deren Baujahr unbekannt ist und somit nicht ausgeschlossen werden kann, dass Puddelstahl im Bauwerk verwendet wurde, müssen die Stahlbegleiter Kohlenstoff (C), Mangan (Mn), Stickstoff (N), Phosphor (P) und Silizium (Si) durch eine chemische Analyse bestimmt werden. Anhand der Richtwerte in Tabelle 18 kann festgestellt werden, ob es sich um Puddelstahl handelt und somit das Bauteil von einer Wiederverwendung auszuschließen ist.

Tabelle 18: Typische Anteile für Stahlbegleiter für verschiedene historische Stahlsorten nach DB Richtlinie Ril 805 (2021) „Tragsicherheit bestehender Brückenbauwerke“ im Vergleich zu den heutigen Grenzwerten

Element	Puddelstahl	Flussstahl mit Verfahren nach			Aktuelle Grenzwerte nach EN 10025-2 (2019) für S235 JR
		Bessemer	Thomas	Siemens-Martin	
C	0,11 %	0,02 – 0,2 %			0,23 % (>40mm)
Mn	0,19 %	0,19 %			1,5 %
N	0,04 %	0,008 %		0,008 %	0,0014 %
P	0,60 %	0,03 – 0,13 %			0,0045 %
Si	0,42 %	0,08 %	0,08 %	0,28 %	-

Schweißbeignung

Wenn an Bauteilen geschweißt werden soll, müssen alle Legierungselemente zur Bestimmung des Kohlenstoffäquivalents (CEV) sowie der Phosphor- und Schwefelgehalt zur Beurteilung der Schweißbeignung bestimmt werden. Da sich die chemischen Analyseverfahren ständig weiterentwickeln, wird nicht festgelegt, welches Verfahren (Funkenspektrometrie, Trägergasextraktion usw.) anzuwenden ist, solange die entsprechenden Elemente in hinreichender Genauigkeit nachgewiesen werden können. Die Grenzwerte können mit den aktuellen Grenzwerten der DIN EN 10025-2 verglichen werden. Dabei ist zu beachten, dass auch Stähle schweißbar sein können, die die derzeit gültigen Grenzwerte für Phosphor, Schwefel und CEV nicht einhalten. In diesem Fall sind Probeschweißungen durchzuführen. Anhand des Aluminiumgehaltes

(> 0,02 %) und des Siliziumgehaltes (> 0,2 %) kann beurteilt werden, ob der Stahl unberuhigt vergossen wurde (DVS 2022). Alternativ können die Seigerungszone aufgrund der lokal hohen Schwefelgehalte durch einen Baumannabdruck sichtbar gemacht werden. Bei unberuhigten Stählen ist im Bereich der Seigerungszone (Steg und Rundungen) nicht zu schweißen.

Zusätzlich sind die Stahlbauteile im Bereich der vorgesehenen Schweißungen mittels Ultraschallprüfung auf Dopplungen untersucht werden. Sind Dopplungen vorhanden, darf das Bauteil nicht geschweißt werden.

Kerbschlagarbeit / Zähigkeit

Für den Kerbschlagbiegeversuch ist die Prüftemperatur entsprechend der für den späteren Verwendungszweck erforderlichen Gütegruppe zu wählen. Da der Kerbschlagbiegeversuch bei älteren Flussstählen eine sehr konservative Abschätzung der Bruchzähigkeit liefert (Sieber 2016) und über den Nachweis der Sprödbrechtsicherheit nach EN 1993-1-10 viele konservative Annahmen getroffen werden, kann alternativ die Bruchzähigkeit direkt nach ASTM E 1820 bestimmt werden.

Z-Güte

Eine zerstörungsfreie Prüfung der Güte Z ist nicht möglich, da die übliche Ultraschallprüfung keine eindeutige Aussage über die Versagensanfälligkeit der Terrassen liefert (DIN 10164 2018). Daher müssen zur Bestimmung der Z-Güte neben einer Ultraschallprüfung des Trägers Zugversuche senkrecht zur Dickenrichtung nach DIN 10164 durchgeführt werden.

5.1.4.2.2 Prüfprotokoll 5

Bei bekannten Bauwerksdaten können die Bauteile über die Kriterien aus Abschnitt 0 zu Prüfeinheiten zusammengesetzt werden, um den Prüfumfang zu reduzieren. An allen Bauteilen sind zerstörungsfreie Härteprüfungen durchzuführen, um die Zugehörigkeit zur Prüfeinheit zu bestätigen. Die gemessenen Härtewerte dürfen nicht mehr als 10 % vom Mittelwert aller Proben abweichen. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, muss die Prüfeinheit unterteilt werden.

An den drei repräsentativen Bauteilen, darunter das Bauteil mit dem niedrigsten Härtewert, werden die folgenden Prüfungen durchgeführt.

Zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften werden an den repräsentativen Bauteilen Zugversuche nach DIN 6892-1 durchgeführt. Alle Bauteile müssen die Duktilitätsanforderungen nach DIN EN 1993-1-1 (2020) erfüllen. Zur Ermittlung der Kennwerte für Streckgrenze und Zugversuch ist eine statistische Auswertung nach DIN EN 1990 Anhang D (2021) durchzuführen. Da die bekannten Variationskoeffizienten für Stahl aus DIN EN 1993-1-1 Anhang E Tabelle E.1 im Rahmen des Eurocode-Programms erhoben wurden und somit nur für „moderne“ Stähle gelten, muss bei der statistischen Auswertung von einem unbekanntem Variationskoeffizienten ausgegangen werden.

Für die Bestimmung der Schweißbeignung, der Kerbschlagarbeit, der Reckalterungsempfindlichkeit und der Z-Güte sind für die drei repräsentativen Bauteile ggf. die gleichen Prüfungen wie in Prüfprotokoll 6 durchzuführen und die entsprechenden Annahmekriterien einzuhalten. Erfüllt eines der repräsentativen Bauteile die Anforderungen nicht, ist die Prüfeinheit aufzulösen und jedes Bauteil gemäß Prüfprotokoll 6 zu prüfen.

5.1.4.2.3 Prüfprotokoll 4

Der Unterschied zum Prüfprotokoll 5 besteht darin, dass nach Bestätigung der Zugehörigkeit zu einer Prüfeinheit durch die Härteprüfung die weiteren Prüfungen nur an einem repräsentativen Bauteil durchgeführt werden. Bei der Beurteilung der Schweißbeignung kann auf die Ultraschallprüfung verzichtet werden. Für die Annahmekriterien Streckgrenze und Zugfestigkeit darf der Variationskoeffizient nach DIN EN 1993-1-1 Anhang E verwendet werden. Um den von der Anzahl der Versuche abhängigen Abminderungsfaktor k_n zu reduzieren, kann es sinnvoll sein, Zugversuche an mehreren Bauteilen durchzuführen (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: Annahmekriterium für Streckgrenze und Zugfestigkeit abhängig von der Anzahl der Versuche

Stahlsorte	1 Versuch ($k_n = 2,31$)		3 Versuche ($k_n = 1,89$)	
	$f_{y,min}$	$f_{u,min}$	$f_{y,min}$	$f_{u,min}$
S235	269	407	262	398
S275	315	464	307	453
S355	401	518	392	508
S460	513	587	464	578

Da das Prüfprotokoll 4 für alle Stahlbauteile ab 1970 gilt, aber seit DIN 18800 (1981) keine Stähle nach dem Thomas-Verfahren mehr verwendet werden dürfen, ist der Stickstoffgehalt nur für Stahlbauteile vor 1986 zu ermitteln.

5.1.4.2.4 Prüfprotokoll 3

Das Prüfprotokoll 3 ist für Bauteile von untergeordneter Bedeutung bestimmt (EXC1). Daher wird auf den Zugversuch verzichtet und die Zugfestigkeit über die Härte bestimmt. Die Härte wird nach einem beliebigen Verfahren (Brinell, Rockwell, Vickers, UCI, LEEB) an 50 % der Bauteile einer Prüfeinheit bestimmt. Über DIN EN ISO 18265 (2003) kann der charakteristische Härtewert der Prüfeinheit einer Zugfestigkeit und damit einer Stahlsorte zugeordnet werden. Falls erforderlich müssen die Schweißbeignung, Kerbschlagarbeit und Z-Güte analog zu Prüfprotokoll 4 an einem Bauteil durchgeführt werden.

5.1.4.2.5 Prüfprotokoll 2 und Prüfprotokoll 1

Liegen zuverlässige, zuordenbare Angaben aus Plänen oder Prüfbescheinigungen vor, dürfen diese Eigenschaften angenommen werden und müssen nicht erneut nachgewiesen werden. Werden jedoch Eigenschaften gefordert, die nicht in der Prüfbescheinigung oder im Plan angegeben sind, oder bestehen Zweifel an der

Zuverlässigkeit der Angaben, so ist für diese Eigenschaft je nach Ausführungsklasse das Prüfprotokoll 3, 4 oder 5 durchzuführen (siehe Abbildung 36).

Da sich die Bezeichnungen der Stähle im Laufe der Zeit geändert haben können die Stähle über Tabelle 20 modernen Stahlbezeichnungen zugeordnet werden.

Tabelle 20: Zuordnung historischer zu heutigen Stahlbezeichnungen

Bezeichnung nach DIN EN 10025-2 (ab 2005)	Bezeichnung nach DIN EN 10025 (1993)	Bezeichnung nach DIN EN 10025 (1990)	Bezeichnung nach DIN 17100 (1980)
	S235JR	Fe 360 B	St 37-2
	S235JRG1	Fe 360 BFU	USt 37-2
S235JR	S235JRG2	Fe 360 BFN	RSt 37-2
S235J0	S235J0	Fe 360 C	St 37-3 U
S235J2	S235J2G4	Fe 360 D2	
S355JR	S355JR	Fe 510 B	
S355J0	S355J0	Fe 510 C	St 52-3 U
S355J2	S355J2G4	Fe 510 D2	
S355K2	S355K2G4	Fe 510 DD2	

Seit 2005 sind unberuhigte Stähle nicht mehr zugelassen, so dass der alten Stahlgüte S235JR keine aktuelle Stahlgüte zugeordnet werden kann. Da erst seit 2005 Höchstwerte für das CEV definiert sind, ist es unwahrscheinlich, dass alte Prüfzeugnisse die entsprechenden Informationen zur Beurteilung der Schweißignung enthalten. In diesem Fall ist die Schweißignung (falls erforderlich) durch entsprechende Prüfprotokolle nachzuweisen.

Der Unterschied zwischen Prüfprotokoll 1 und 2 besteht darin, dass beim Prüfprotokoll 2 aufgrund der höheren Ausführungsklasse zur Verifizierung der Angaben an 50 % der Bauteile eine Härteprüfung durchgeführt wird und die umgerechneten Zugfestigkeiten mit den vorliegenden Angaben verglichen werden.

5.1.4.3 Prüfung von organischen Beschichtungen

Nach DIN EN 12944-1 (2017) werden für organische Korrosionsschutzsysteme kurze (bis 7 Jahre), mittlere (7-15 Jahre), lange (15-25 Jahre) und sehr lange (über 25 Jahre) Schutzdauern unterschieden. Diese Angaben sind jedoch nur als Richtwerte anzusehen, da die Dauerhaftigkeit einer organischen Beschichtung stark von den spezifischen Umwelteinflüssen abhängt. Mit den in Abschnitt 5.1.2.9 aufgeführten Prüfmethode kann bestätigt werden, dass die Beschichtung zum Zeitpunkt der Prüfung die gleichen Anforderungen wie eine Neubeschichtung erfüllt, jedoch kann keine pauschale Aussage über die Restlebensdauer getroffen werden, weshalb zum jetzigen Zeitpunkt keine Empfehlung für einen Prüfumfang des Korrosionsschutzes für die Wiederverwendung von Bauteilen mit organischen Beschichtungen gegeben werden kann.

Darüber hinaus ist bei der Wiederverwendung von beschichteten Stahlbauteilen zu beachten, dass alte Beschichtungen Schadstoffe oberhalb der heute zulässigen

Grenzwerte enthalten können. Insbesondere helle Beschichtungen aus den 1970er Jahren enthalten wahrscheinlich Bleifarben die zu entfernen sind (CEN/TC 135 2023).

5.1.4.4 Prüfung von Brandschutzbeschichtung

Ältere reaktive Brandschutzbeschichtungen bestehen in der Regel aus drei Schichten (Grundierung, Dämmschichtbildner und Decklack). Beim Erhitzen des Dämmschichtbildners schäumt die Kohlenstoffmatrix auf und isoliert so den Stahl gegen die Hitze. Die Aufschäumfähigkeit eines Dämmschichtbildners nimmt unter bestimmten atmosphärischen Umgebungen mit der Zeit ab, weshalb nach der Leitlinie für europäische technische Zulassungen für Brandschutzprodukte (ETAG 18/02 2012) von einer angenommenen Nutzungsdauer von 10 Jahren ausgegangen wird. Bei entsprechenden Nachweisen wird von einer Nutzungsdauer von 25 Jahren ausgegangen, z. B. in der Z-19.51-2313. Die aktuelle Aufschäumwirkung einer Brandschutzbeschichtung kann mittels dynamischer Differenzkalorimetrie bestimmt werden. Daraus kann jedoch derzeit nicht abgeleitet werden, wie lange die Aufschäumwirkung noch anhält, so dass auch für Brandschutzbeschichtungen derzeit keine Empfehlung für einen Prüfumfang für die Wiederverwendung gegeben werden kann. Hinzu kommt, dass die aufschäumende Wirkung verloren geht, wenn die Oberfläche einer Druckbelastung ausgesetzt wird. Daher ist es selbst bei einem sehr vorsichtigen selektiven Rückbau in der Regel nicht möglich, die Brandschutzbeschichtung vollumfänglich intakt zu halten.

5.1.4.5 Prüfung von verzinkten Bauteilen

Bei stückverzinkten Bauteilen kann die Schutzdauer über die Schichtdicke der Verzinkung bestimmt werden. DIN EN ISO 12944 gibt für verschiedene Korrosivitätskategorien zu erwartende Zinkabtragsraten an. Die Schichtdicke kann zerstörungsfrei mit magnetinduktiven Verfahren bestimmt werden. Ist die Restschichtdicke aus dem vorangegangenen Lebenszyklus für den Einsatz im nächsten Lebenszyklus ausreichend, kann das Bauteil wiederverwendet werden. Da die Schichtdicke sehr inhomogen verteilt sein kann und die Bauteile einer Prüfeinheit wahrscheinlich nicht gleichzeitig im Zinkbad verzinkt wurden, sollte diese zerstörungsfreie Methode an mindestens drei Stellen jedes Bauteils durchgeführt werden.

5.1.4.6 Besonderheit verzinkter Bauteile zwischen 2000-2009

Ab 2000 wurden Bismut, Zinn und Blei in Zinkschmelzen eingesetzt, um die Schichtdicke besser zu kontrollieren Beguin et. al (2000). Diese aggressiven Medien können unter bestimmten Randbedingungen zu Rissen durch flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion während des Verzinkungsprozesses führen. Solche Randbedingungen sind:

- Hohe Profilhöhen
- Hohe Festigkeiten
- Zwängen (durch Steifen oder Kopfplatten)

Aufgrund von Schadensfällen wurde ab Anfang der 2000er Jahre an diesem Phänomen verstärkt geforscht und 2009 die DASt-Richtlinie 22 „Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen“ veröffentlicht. Diese schreibt vor unter welchen Randbedingungen eine Anfälligkeit für flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion besteht. 2006 veröffentlichte das DIBt eine Mitteilung zu diesem Thema mit der Empfehlung, den Gehalt aggressiver Elemente in der Zinkschmelze zu begrenzen (DIBt 2006).

Für verzinkte Bauteile, aus den Jahren zwischen 2000 und 2009 die wiederverwendet werden sollen, müssen die in der DASt-Richtlinie 22 vorgeschriebenen Prüfungen durchgeführt werden. Wird die Stahlsorte nicht durch Versuche, sondern durch konservative Annahmen bestimmt, so ist für die Anfälligkeit gegenüber flüssigmetallinduzierter Spannungsrisskorrosion konservativ von einer hohen Streckgrenze (S460) auszugehen, da höhere Streckgrenzen zu einem höheren Risiko für flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion führen.

5.1.4.7 Prüfung der Schweißnähte

Sollen Bauteile mit tragenden Anschlüssen (z. B. Kopfplatten) wiederverwendet werden, müssen die Schweißnähte nachträglich qualifiziert werden. Bis zur Einführung der DIN 18800 (1981) wurde die Eignung von Schweißbetrieben durch den Kleinen und Großen Befähigungsnachweis nach DIN 4100 Beiblatt 1 und 2 nachgewiesen. DIN 18800-7 regelte bis zur Einführung der DIN EN 1090 (2009) die Qualifikation von Stahlbauunternehmen und die Prüfung von Schweißnähten nach dem gleichen Vorgehen über den Kleinen und Großen Eignungsnachweis (jeweils mit Erweiterungsmöglichkeiten). Je nach Anforderung an die Schweißarbeiten und Einsatzgebiet wurde das Bauteil in eine der Klassen A (bis S275 < 30 mm, vorwiegend ruhende Beanspruchung, untergeordnete Bedeutung) bis E (alle Werkstoffe und Erzeugnisdicken, ermüdungsbeansprucht) eingeteilt, woraus sich die erforderliche Qualifikation des Schweißpersonals ergab. Mit der Einführung der EN 1090 wurde die Methodik durch die Idee der Schadensfolgeklassen ergänzt.

Ein wesentlicher Unterschied zum heutigen Verfahren nach DIN 1090 waren die weniger streng definierten Anforderungen an die werkseigene Produktionskontrolle sowie der Verzicht auf eine regelmäßige Fremdüberwachung der Betriebe in DIN 18800-7.

Die Qualität einer Schweißnaht kann durch eine nachträgliche zerstörungsfreie Prüfung mit den in Abschnitt 5.1.2.8 aufgeführten Prüfverfahren nur bedingt beurteilt werden. Einflüsse auf die Schweißnahtqualität werden daher heute durch Anforderungen an die betrieblichen Abläufe (DIN EN ISO 3834-2 bis -4) an die Vormaterialien (DIN EN 100025-1 bis -6) an die Dokumentation (EN 10204 ISO 15609-1) sowie an das Personal (DIN EN ISO 14731, DIN EN ISO 9606-1) gestellt. Bei einer nachträglichen Bewertung der Schweißnaht kann nicht nachgewiesen werden, ob die maßgeblichen qualitätssichernden Rahmenbedingungen bei der Herstellung der Schweißnaht eingehalten wurden. Da das gesamte Verfahren auf der Annahme beruht, dass die Arbeiten nach den damals gültigen technischen Regeln ausgeführt wurden, wird auch bei der Prüfung der Schweißnähte davon ausgegangen, dass die ursprünglichen Schweißarbeiten fachgerecht ausgeführt wurden (vgl. hierzu Hinweise in Kapitel 3.4.1).

Nach DIN 18800-7 mussten Stahlbauunternehmen ihre Eignung für Bauteile mit untergeordneten Schweißnähten der Klasse A nicht nachweisen. Werden daher Bauteile mit Schweißnähten wiederverwendet, die früher der Klasse A zugeordnet waren, dürfen diese heute nur noch in EXC 1 wiederverwendet werden. Bauteile wurden nach DIN 18800-7 der Klasse A zugeordnet, wenn folgende Bedingungen erfüllt waren:

- Werkstoffe: Unlegierte Baustähle im Festigkeitsbereich bis S275
- Erzeugnisdicken 16 mm, bei anzuschweißenden Kopf- und Fußplatten 30 mm
- Bauteile (vorwiegend ruhend beansprucht) mit einfachen oder untergeordneten Schweißnähten wie
 - Stützen mit Kopf- und Fußplatten aus Walzprofilen ohne Stöße und Einspannung
 - Treppen in Wohngebäuden bis 5 m Länge (in Lauflinie gemessen)
 - Geländer mit Horizontallast in Holmhöhe 0,5 kN/m

Eine Wiederverwendung von Bauteilen mit tragenden Schweißnähten in EXC3 und unter Ermüdungsbeanspruchung in EXC2 wird zunächst ausgeschlossen und sollte nur nach zusätzlicher Untersuchungen unter Beteiligung eines qualifizierten Sachverständigen zulässig sein. Bei der Wiederverwendung von Bauteilen mit Schweißnähten in EXC2 und EXC1 sind alle Schweißnähte einer Sichtprüfung nach DIN EN ISO 5817 zu unterziehen und entsprechend den Bewertungsgruppen zu bewerten. Zusätzlich sind zerstörungsfreie Prüfungen nach EN 1090-2 Tabelle 24 durchzuführen. Dazu sind Beschichtungen im Bereich der Schweißnaht zu entfernen. Da Risse in der Schweißnaht mit Farbe gefüllt sein können, ist die Magnetpulverprüfung der Farbeindringprüfung vorzuziehen. Im neuen Bauwerk unbelastete Schweißnähte, z. B. bei unbelasteten Steifen, müssen nicht geprüft werden.

5.1.4.8 Prüfung von ermüdungsbeanspruchten Bauteilen

Wiederholte Beanspruchungen oberhalb der Dauerschwingfestigkeit führen in der Gitterstruktur von Stahlwerkstoffen zur Wanderung und Akkumulation von Versetzungen und damit zur Bildung von Mikrorissen an Stellen hoher Spannungskonzentration bis hin zur Bildung eines makroskopisch erkennbaren Risses (Rissbildungsphase). Durch weitere Lastwechsel wächst der Riss weiter (Rissfortschrittsphase) bis zu einer kritischen Rissgröße, ab welcher es zum Sprödbruchversagen kommen kann.

Da die Vorschädigung, insbesondere während der Rissbildungsphase, in der Praxis derzeit prüftechnisch nicht detektierbar ist, wird eine Wiederverwendung von ursprünglich ermüdungsbeanspruchten Bauteilen unter erneuter Ermüdungsbeanspruchung ausgeschlossen. Eine Wiederverwendung ermüdungsbeanspruchter Bauteile für einen künftigen Einsatz unter vorwiegend ruhender Beanspruchung wird in vergleichbaren Veröffentlichungen (LBV 2023, CEN/TC 2024, SCI 2019) ausgeschlossen. Aus technischer Sicht ist ein solcher Einsatz möglich, wenn entsprechende Prüfungen durchgeführt werden um Risse auszuschließen.

Für einen künftigen Einsatz unter vorwiegend ruhender Beanspruchung ist eine Sichtprüfung auf erkennbare Risse am gesamten Bauteil durchzuführen. Zusätzlich sind die Hotspots der maßgebenden Kerbdetails durch zerstörungsfreie Prüfungen (Magnetpulver- oder Farbeindringprüfung) auf Risse zu untersuchen.

5.2 Prüfung im Holzbau

5.2.1 Prüfverfahren im Holzbau

5.2.1.1 Vorbemerkung

Prüfverfahren vor einer Wieder- und Weiterverwendung sollten zunächst im Zusammenhang mit drei unterschiedlichen Fallkonstellationen gesehen werden, die sich angesichts der im Abschnitt 4.2 beschriebenen Szenarien von selektiven Abbruch- und Rückbauprozessen im Holzbau einstellen können. Mit gewisser Einschränkung sind sie für viele andere Abbruch- und Rückbauprozesse beispielhaft gültig. Die den Fallkonstellationen zugrundeliegende mengenmäßige Unterteilung hat zunächst einen sondierenden Charakter.

- Im Zuge einer schonenden Demontage werden Kleinkollektive geborgen, die jeweils nur einige wenige gleichartige Bauteile enthalten (insbesondere Abmessungen / Holzart / Holzwerkstoff identisch). Von solchen Kleinkollektiven könnte man sprechen, wenn deren Umfang 100 Stück nicht überschreitet.
- Es werden zahlenmäßig umfangreichere Kollektive geborgen, die zwischen 100 und 1000 gleichartigen Bauteilen enthalten.
- Es werden Kollektive geborgen, deren Umfang 1000 gleichartige Bauteile übersteigt.

Wenn das Ziel der Wiederverwendung verlustarm erreicht werden soll, sollten einfache zerstörungsfreie Prüfverfahren die Regel werden. Bei Kleinkollektiven gilt das allemal, weil der Schwund an Bauteilen nicht vertretbar wäre, wenn man einen Prüfumfang von z. B. mindestens 20 festlegt, um formal einen 5 %-Quantilwert auszuweisen. Auch die Kosten für Bauteilprüfungen müssen stets im Verhältnis zum Ertrag stehen.

Zerstörende Prüfverfahren vor einer Wieder- und Weiterverwendung werden grundsätzlich mit jenen in DIN EN 408 (2012) zur Ermittlung von physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Bauholz und Brettschichtholz identisch sein. Sie werden im Zusammenhang mit der Wieder- und Weiterverwendung jedoch ihr Ziel verfehlen, wenn Stücke geprüft werden, die aufgrund der Erstverwendung durch z. B. Bohrungen, Zapfenlöcher und Schlitze entsprechende Schwachstellen aufweisen und/oder nicht natürlicher Abnutzung unterlagen. Beides führt zu einer Veränderung und einer schwer zu quantifizierenden Verschlechterung der physikalischen und mechanischen Eigenschaften. Grundsätzlich werden alle Stücke sehr wahrscheinlich auch aufgrund von demontage-, bergungs- und transportbedingten Schäden weitere Verschlechterungen erfahren. Es darf nicht das Ziel einer Baustoff- und Bauteilprüfung sein, zum Zwecke der Bewertung eines geborgenen Kollektivs eine Stichprobe von Baustoffen oder Bauteilen mit Schwachstellen und/oder den vorgenannten Verschlechterungen zu prüfen. Denn dann ist die Übertragbarkeit auf das Kollektiv nicht gegeben. Ein solches Übertragungsproblem ließe sich auch nicht mit der Berücksichtigung von statistischen Unsicherheiten zuverlässig lösen, z. B. in Anlehnung an Abminderungsfaktoren in DIN EN 384 (2010). Dafür sind die zu erwartenden Schwachstellen aus der Erstverwendung und die Verschlechterungen infolge nicht natürlicher Abnutzung und ab Demontage zu vielfältig. Entsprechende

Kollektive sind dann hinsichtlich der qualitativ unterschiedlichen Einflüsse auf die technische Integrität zu heterogen. Deshalb lassen sich Folgen solcher Schwachstellen und Verschlechterungen auf die Baustoffeigenschaften und die Bauteiltragfähigkeit auch durch pauschale Abminderungsfaktoren nicht sinnvoll abschätzen.

Die Zusammenhänge zwischen abträglichen Einflüssen auf die technische Integrität und unterschiedlichen Ebenen, auf denen diesen Einflüssen begegnet werden kann, verdeutlicht das Schaubild in Abbildung 37. Beispiele abträglicher Einflüsse auf die technische Integrität sind in Abbildung 38 dargestellt. Vieles spricht dafür, mit Prüfverfahren Kenntnis über physikalische und mechanische Eigenschaften der Baustoffe oder Bauteile zu erlangen, die sich infolge natürlicher Abnutzung über die Zeit hinweg verschlechtern haben können, siehe Ebene 1. Die Beziehung zwischen Wirksamkeit der Prüfverfahren für Verschlechterung nur infolge natürlicher Abnutzung und der Quantifizierung der Auswirkungen ist daher Grün hinterlegt.

In diesem Zusammenhang sind die nachfolgend dargestellten Prüfverfahren zu sehen und gültig. Das Niveau der physikalischen und mechanischen Eigenschaften sollte primär durch zerstörungsfreie Verfahren ermittelt oder durch Erwartungswerte ausgedrückt werden.

Verschlechterungen infolge nicht natürlicher Abnutzung und ab Demontage ist im Sinne einer flexiblen Zweitverwendung individuell durch Instandsetzung und Ertüchtigung bzw. durch Ausbesserung und Reparatur zu begegnen (Abbildung 37, Ebene 2). Davon unterscheidet sich die Ebene 3. Hier werden planmäßige Schwachstellen, die aus der Erstverwendung herrühren, nur im spezifischen Konstruktions- und Bemessungsprozess berücksichtigt. Die Betrachtungsebene 2 ist daher Gegenstand des Abschnitts 6 Aufbereitung von Bauteilen. Ebene 3 betrifft das spätere Konstruieren und Bemessen im Zuge der Zweitverwendung. Kleinere Schwachstellen infolge Bearbeitung und Verschlechterungen infolge nicht-natürlicher Abnutzung, Demontage, Bergung und Transport können vernachlässigt werden, sofern ihre Auswirkung unter Berücksichtigung, ggfs. in unmittelbarer Nähe liegenden Ästen/Astansammlungen, nicht größer ist als die Auswirkung des relevanten Merkmals für die Sortierung, siehe 5.2.1.2.2.

Angesichts der Notwendigkeit, die Wiederverwendung von Holzbauteilen zu etablieren, sollte man im quantitativen Sinne nicht weiter in Zweifel ziehen, dass das ausschließliche Altern (d. h. ohne Einfluss der Lasteinwirkungsdauer und Feuchteeinwirkungen) die Festigkeit und den Elastizitätsmodul nicht verändert. Diese Feststellung beruht auf vergleichenden Prüfungen an kleinen fehlerfreien „alten“ und kleinen fehlerfreien „neuen“ Holzproben, (z. B. Ehlbeck et al. 1992, S. 3f; Görlacher et al. 1999, S. 12). Diese Nachweise betrafen die Druck-, Biege- und Scherfestigkeit. Entscheidend für den nicht nachweisbaren Einfluss des Alterns auf die Festigkeit und den Elastizitätsmodul ist die Voraussetzung, dass die Fehlerfreiheit der alten Proben tatsächlich gegeben ist. Je nach betrachteter Festigkeits- bzw. Steifigkeitseigenschaft dürfen folglich keine Druckfalten, Schwindrisse o. ä. vorhanden sein. Darüber hinaus ist allgemein bekannt, dass Holz, luftumspült trocken, eine fast unbegrenzte Lebensdauer aufweisen kann (Holzbau-Taschenbuch 1957, S. 38).

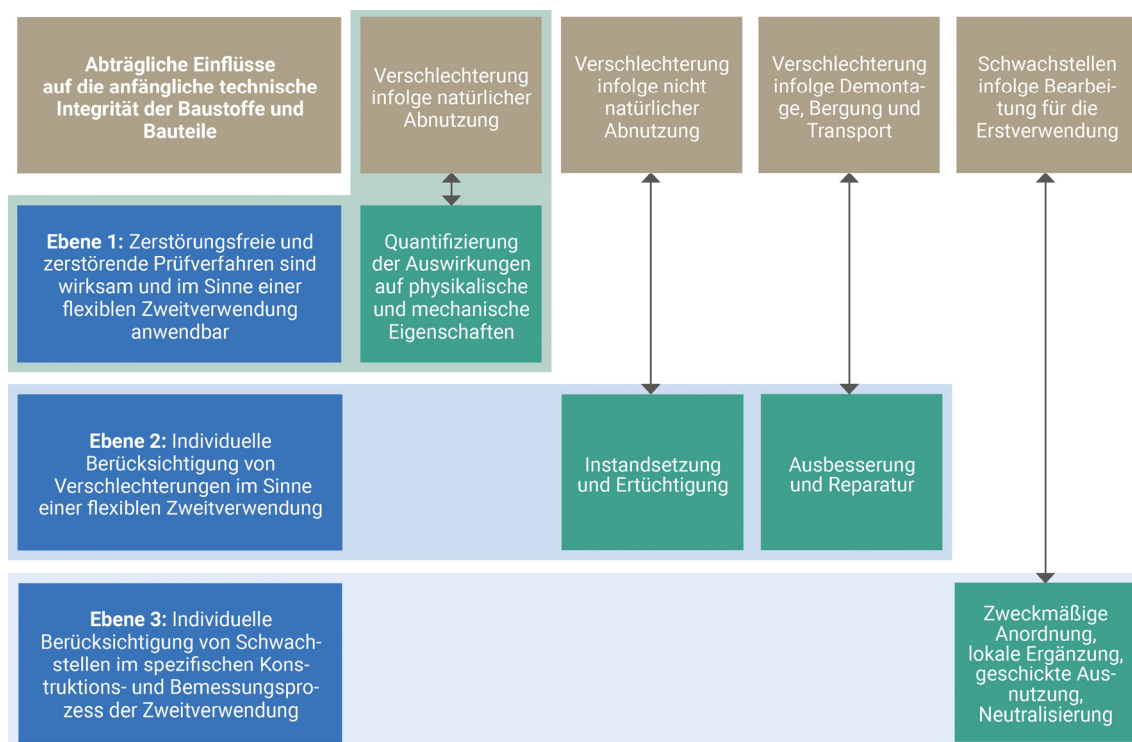


Abbildung 37: Drei Ebenen des technischen Umgangs mit Holzbaustoffen und -bauteilen aus dem selektiven Abbruch oder Rückbau



Abbildung 38: Beispielhafte Darstellung abträglicher Einflüsse auf die anfängliche technische Integrität der Bausteine und Bauteile

Ein weiteres Kriterium für das Festlegen von zerstörungsfreien und zerstörenden Prüfungen, ob überhaupt und in welchem Umfang, ist die nachweislich erste Nutzungsdauer, das Erscheinungsbild und die verfügbare Datenlage über das verbaute Holz oder den verbauten Holzwerkstoff.

5.2.1.2 Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Holzbau

5.2.1.2.1 Allgemeines

Zerstörungsfreie Verfahren für eine (Re)Klassifikation unspezifischer Bretter, Bohlen und Kanthölzer sollten an pragmatischen, wirtschaftlichen und ganzheitlichen Gesichtspunkten ausgerichtet werden. Es ist angesichts der im Abschnitt 4.2 besprochenen Studienobjekte zu erwarten, dass vor allem Kantholz und Brettschichtholz in nennenswertem Maße im selektiven Abbruch oder Rückbau anfallen werden. Für Holzwerkstoffplatten wurde eine Demontage nur fiktiv dargestellt. Sie sollten auch nur dann für eine eigenständige Weiterverwendung in Betracht gezogen werden, wenn sie auf die Unterkonstruktion geschraubt wurden und gut davon lösbar sind. Die Holzfeuchte von Bauteilen aus Holz und Holzwerkstoffen sollte nach dem Verfahren, das auf der elektrischen Widerstandsmessung beruht, ermittelt werden. Die beiden im Folgenden vorgestellten Verfahren sind auf jedes für eine Wiederverwendung in Betracht kommende Bauteil anzuwenden und sind von einer fachkundigen Person durchzuführen.

5.2.1.2.2 Visuelle Sortierung von Nadelschnittholz

Für die visuelle Sortierung von Brettern und Bohlen bietet sich die DIN 4074-1 (2012) an. Ein auf die Wieder- und Weiterverwendung abzielendes zusätzliches Sortierkriterium muss vor allem ausschließen, dass in unmittelbarer Nähe zu Einzelästen oder im 15 cm umfassenden Bereich von Astansammlungen dem Augenschein nach tragfähigkeitsmindernde Schwächungen infolge Erstnutzung oder Verschlechterungen infolge Ausbauschäden vorliegen. Andernfalls würde die visuelle Sortierung an Wirksamkeit bei der indirekten Einschätzung der Tragfähigkeit einbüßen. Abbildung 39, links verdeutlicht hierzu ein Beispiel für ein Brett oder eine Bohle. Ein Bohrloch, das im Zuge der Erstverwendung jeweils eingebracht wurde, muss einen Abstand von b von der Aststelle aufweisen, um die Beziehung zwischen der dimensionslosen Ästigkeit A und der Tragfähigkeit nicht zu verzerren.

Alle anderen Schwächungen infolge Erstnutzung oder Verschlechterungen infolge Ausbauschäden, die allein durch Anwendung der Sortierkriterien bewertet werden sollen, dürfen dem Augenschein nach die Tragfähigkeit nicht stärker herabsetzen als die größte Ästigkeit. Hierzu sollte man als Zusatzkriterium die für Äste geltenden Grenzwerte sinngemäß aber mit einem kritischen Blick auf lokale Schwächungen und Ausbauschäden anwenden. Hierbei ist dem Umstand, dass Äste von den Holzfasern „umströmt“ werden, und der Tatsache, dass mechanisch eingebrachte Bearbeitungen (z. B. Bohrungen und Schlitz) die Fasern durchtrennen, mit entsprechend zurückhaltenden Grenzwerten für Schwächungen infolge Erstnutzung und Verschlechterungen infolge Ausbauschäden zu begegnen. Nordamerikanische Untersuchungen empfehlen, Bohrungen in einem Querschnitt mit dem doppelten Durchmesser zu bewerten, wenn oben beschriebene Sortierkriterien auf diese angewendet werden. Brandner & Ottenhaus (2022). Für die Bewertung von faserparallelen Absplitterungen an den Querschnittskanten dürfen die für Baumkante geltenden Grenzwerte verwendet werden. Der Erfahrung nach wird man jedoch viele solcher Schwächungen oder Ausbauschäden nicht tragfähigkeitsneutral reparieren

können. Für vorwiegend hochkant beanspruchte Bretter und Bohlen sowie für Kantholz gilt bei einer alleinigen visuellen Sortierung nach DIN 4074-1 (2012) das vorgenannte zusätzliche Sortierkriterium sinngemäß, s. Abbildung 39, rechts. Durch Kriechen verstärkte Längskrümmungen dürfen bei der Einstufung in eine Sortierklasse unberücksichtigt bleiben, wenn eine Verwendung für stabilitätsgefährdete Bauteile ausgeschlossen ist. Zwei Beispiele für Verschlechterungen infolge Ausbauschäden, die bei S10 toleriert werden können, verdeutlicht Abbildung 40.

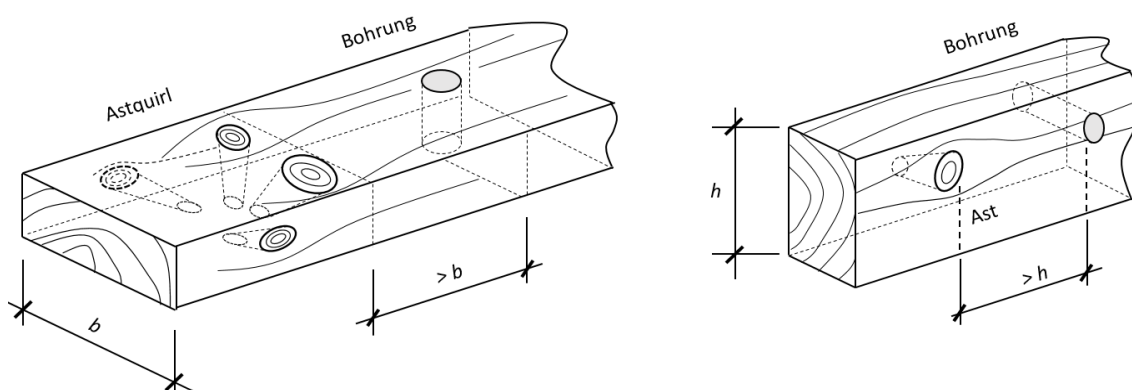


Abbildung 39: Mindestabstände zwischen Ästen und beispielhaften Bohrungen



Abbildung 40: Ausbauschäden an Kantholz, die im Falle von S10 toleriert werden könnten

Die Angaben zur visuellen Sortierung können auf eine visuelle Sortierung mit maschineller Unterstützung (Sortiermaschinen) übertragen werden.

Bei keilgezinktem Vollholz sind die Angaben um Festlegungen zur Bewertung der Keilzinkungen zu ergänzen.

5.2.1.2.3 Kombinierte visuelle und maschinelle Sortierung von Nadelschnittholz

Von den technischen Verfahren der maschinellen Sortierung bieten sich für Bretter, Bohlen und Kantholz zusätzlich zur visuellen Sortierung nach DIN 4074-1 (2012) die Ermittlung der Brutto Rohdichte (mit einer Waage) und die anschließende Ermittlung des dynamischen Elastizitätsmoduls auf Grundlage einer Längsschwingung 1. Ordnung an. Das vorgenannte zusätzliche Sortierkriterium gilt auch hier sinngemäß. Mit dieser Kombination ist die Möglichkeit gegeben, für Bretter und Bohlen (jeweils flachkant beansprucht) und Kanthölzer mit einem relativ einfachen Instrumentarium für jedes individuelle Stück einen Erwartungswert der Biegefestigkeit zu berechnen.

Dieser Erwartungswert muss zur Berücksichtigung des statistischen Rauschens zu einem Lagemaß im Bereich des 5 %-Quantils verringert werden. Das Ergebnis entspricht dann einem individuellen Rechenwert, damit im Sinne des Sicherheitskonzepts während der künftigen Nutzungsdauer eine angemessene Zuverlässigkeit gewährleistet bleibt. Das Format des individuellen Rechenwerts ist nicht neu. Es liegt beispielsweise dem Pilodyn-basierten Verfahren zur Bestimmung des 5 %-Quantils der Rohdichte eines individuellen Nadelholzes aus Fichte, Tanne oder Kiefer zugrunde (Görlacher 1987; Görlacher et al. 1999, S. 43ff).

Aus der Forschungsarbeit Blaß & Frese (2004) ist die Regressionsbeziehung (5.2a) bekannt. Mit ihr kann der Erwartungswert der Biegefestigkeit ($f_{m,p}$ in N/mm²) von Fichtenbrettern, -bohlen und -kantholz in Übereinstimmung mit der Biegefestigkeit nach DIN EN 408 (2012) (f_m in N/mm²) berechnet werden. Erklärende Variablen sind die Querschnittsbreite (b in mm), Querschnittshöhe/-dicke (h in mm), Brutorohdichte (ρ_{brutto} in kg/m³) und der dynamische Elastizitätsmodul (E_{dyn} in N/mm²), ermittelt aus einer Längsschwingung 1. Ordnung. Antwortvariable ist die Biegefestigkeit nach DIN EN 408 (2012).

$$f_{m,p} = 13,4 - 0,0132b - 0,0449h - 0,0414\rho_{\text{brutto}} + 0,00454E_{\text{dyn}} \quad (5.2a)$$

Die Regressionsbeziehung beruht auf einer multiplen linearen Regressionsanalyse. Der Mittelwert der Abstandsquadrate der Fehler a_i beträgt 86,84 (s. Anhang II). Das entspricht einer Normalverteilung mit Mittelwert 0 und Standardabweichung s_e von 9,32 N/mm². Gleichung (5.2a) gilt für S10-sortierte Bretter bzw. Bohlen mit Breiten von 100-220 mm und Dicken von 20-48 mm und S10-sortierte Kanthölzer mit Breiten von 50-80 mm und Höhen von 100-240 mm. Der Gesamtumfang der ausgewerteten Beobachtungen beruht auf 274 Brettern und 127 Kanthölzern.

Zur exakten Ermittlung des Erwartungswerts und des Lagemaßes im Sinne eines individuellen Rechenwertes der Biegefestigkeit ist folgendermaßen vorzugehen:

Das Nadelschnittholz ist so schonend wie möglich auszubauen, zu bergen und sofort unter Dach trocken zu lagern. Das weitere Verfahren ist für Holz geeignet, das gemäß DIN 4074-1:2012-06 in S10 und besser einsortiert wird. Die Holzfeuchte ist mittels elektrischer Widerstandsmessung zu ermitteln. Es werden Breite (b), Höhe/Dicke (h), Länge (l), Masse (m) und die Frequenz einer Längsschwingung 1. Ordnung (f_0) gemessen. Die Brutorohdichte und der dynamische Elastizitätsmodul sind nach Gleichung (5.2b) bzw. (5.2c) zu berechnen.

$$\rho_{\text{brutto}} = m/(bh) \quad (5.2b)$$

$$E_{\text{dyn}} = (2f_0)^2 \rho_{\text{brutto}} \quad (5.2c)$$

In Gleichung (5.2d) wird von jedem Erwartungswert ein Vielfaches (λ) der Standardabweichung s_e der Fehlerterme abgezogen, so dass die „wahre“ unbekannte Biegefestigkeit den individuellen Rechenwert ($f_{m,in}$ in N/mm²) mit einer festzulegenden, nur geringen Wahrscheinlichkeit unterschreitet. Da Gleichung (5.2a) auf einer Analyse mit 401 Schnitthölzern beruht, bleiben statistische Unsicherheiten unberücksichtigt.

$$f_{m,in} = 13,4 - 0,0132b - 0,0449h - 0,0414 \rho_{brutto} + 0,00454E_{dyn} - x \cdot s_e \quad (5.2d)$$

Mit der Empfehlung $x = 1,65$ bzw. $x \cdot s_e = 1,65 \cdot 9,32 = 15,4 \text{ N/mm}^2$ beträgt die Unterschreitungswahrscheinlichkeit für jedes individuelle Stück nominell 5 %. Für die individuelle charakteristische Biegefestigkeit ($f_{m,k,in}$ in N/mm^2) gilt dann Gleichung (5.2e).

$$f_{m,k,in} = 13,4 - 0,0132b - 0,0449h - 0,0414 \rho_{brutto} + 0,00454E_{dyn} - 15,4 \quad (5.2e)$$

Für eine erste Validierung wurden zwei als Zweifeldträger verbaute Dachbalken und ein als Zweifeldträger verbauter Kellerbalken jeweils halbiert, die beim selektiven Abbruch eines über 90 Jahre alten Siedlungshauses geborgen wurden (s. Abschnitt 4.2, Studienobjekt 5). An den Hälften wurden die für Gleichung (5.2a) erforderlichen Werte der erklärenden Variablen gemessen bzw. ermittelt und individuelle Werte $f_{m,k,in}$ berechnet. Anschließend wurde die Biegefestigkeit für alle sechs Balkenhälften in Anlehnung an DIN EN 408 (2012) ermittelt. Hierzu verdeutlicht Abbildung 41 den Versuchsaufbau und zwei Formen des Biegeversagens. Anhang III enthält vervollständigende Angaben zum Versuchsaufbau, Erläuterungen zum Versagen, eine statistische Versuchsauswertung, die Beziehung zwischen Biegefestigkeit und statischem Biege-E-Modul sowie Lastverformungskurven.

Tabelle 21 enthält die Ausprägungen der erklärenden Variablen, die individuellen Rechen- und die Versuchswerte. Nur in einem Fall (in Rot) ist die experimentelle Festigkeit etwas geringer als der individuelle charakteristische Rechenwert. Darin zeigt sich exemplarisch, dass der Versuchswert hier im Sinne der „wahren“ Biegefestigkeit in seltenen Fällen (mit der zuvor festgelegten Wahrscheinlichkeit von 5 %) tatsächlich kleiner als der individuelle charakteristische Wert sein kann. Trotz Einflüssen aus Bearbeitung für die Erstnutzung, Verschlechterung und Ausbauschäden, liegt der Mittelwert der Versuchswerte deutlich über demjenigen der individuellen Rechenwerte.

Tabelle 21: Gegenüberstellung individuelle Rechen- und Versuchswerte

Balken	b	h	ρ_{brutto}	E_{dyn}	$f_{m,k,in}$		f_m (Versuch)
D2/Nord	118	192	415	10580	18,7	<<	32,0
D2/Süd	118	192	380	10440	19,5	<<	30,1
D5/Nord	117	192	415	11610	23,4	<<	41,2
D5/Süd	117	191	409	10440	18,4	<<	29,1
K2/Nord	115	229	475	12230	22,1	<<	42,1
K2/Süd	115	229	462	13810	29,8	>	29,6
					MW: 22,0	<<	MW: 34,0
					MIN: 18,4		



Abbildung 41: Biegeversuche in Anlehnung an DIN EN 408; Dachbalkenhälfte D5/Nord nach dem Abnehmen der Messschienen und Biegezugversagen (oben); Kellerbalkenhälfte K2/Nord vor dem Versuch und kombiniertes Versagen in der Biegezug- und Biegedruckzone (unten)

Das auf individuellen Rechenwerten beruhende Verfahren besitzt einen Vorteil. Man ist in der Lage niedrige, aber auch hohe Festigkeitswerte stückbezogen auszuweisen. Da das Konstruieren und Bemessen mit Bauteilen aus dem selektiven Abbruch und Rückbau, verglichen mit neuen Baustoffen und Festigkeitsklassen, individueller ist, wird eine besondere Berücksichtigung der verfügbaren Bauteile mit ihren Eigenarten zur Voraussetzung. Die Kenntnis stückbezogener physikalischer und mechanischer Eigenschaften könnte dann Potenzial entwickeln.

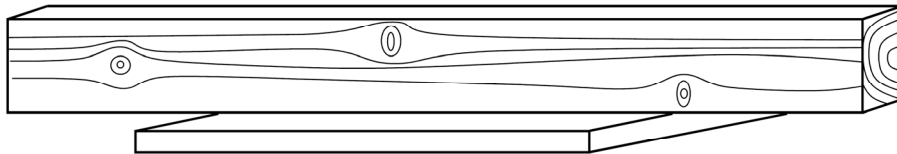
Eine Bemessung könnte so festgelegt werden: Die entsprechende Reklassifikation von Schnittholz erfolgt z. B. unter Zugrundelegung des Mittelwerts (MW) der Werte $f_{m,k,in}$ für ein geborgenes Kleinkollektiv, weil die individuellen charakteristischen Werte $f_{m,k,in}$ nur gering streuen. Im Falle der sechs untersuchten Kanthölzer entspräche das C22. Die Bruttorohddichte und der dynamische Elastizitätsmodul sind ebenfalls bekannt. Mit diesen Werten kann ein Festigkeitsprofil individuell vervollständigt werden. Bei großer Streuung der Werte $f_{m,k,in}$ müssen strengere Kriterien für eine Reklassifikation angewendet werden. Dann sollte man zur Steigerung der Zuverlässigkeit den Minimalwert (MIN) zugrunde legen. Im Falle der sechs Kanthölzer liegt der Minimalwert bei $18,4 \text{ N/mm}^2$. Das entspräche dann C18.

Bei Überlegungen zur Reklassifikation eines Kleinkollektivs vom Umfang n und zur späteren statischen Verwendung ist das unwahrscheinliche Ereignis zu quantifizieren, dass alle „wahren“ Werte unterhalb des jeweiligen individuellen charakteristischen Rechenwerts liegen. Im Falle der sechs untersuchten Kanthölzer beträgt diese bedingte

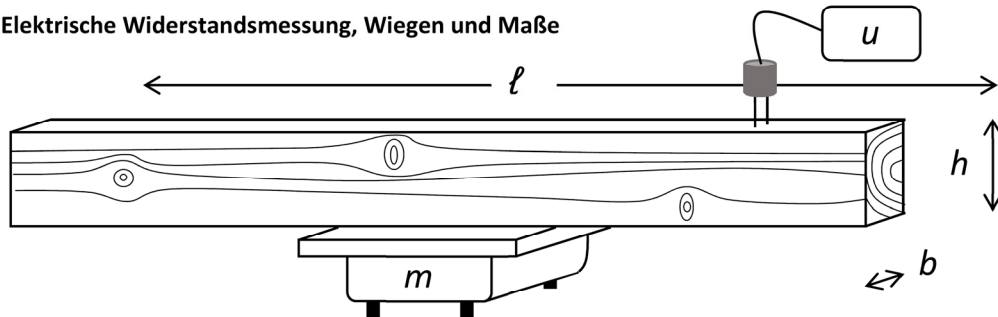
Wahrscheinlichkeit lediglich $0,05^n = 0,05^6 = 1,56 \cdot 10^{-8}$. Es wird deutlich, dass unter Zugrundelegung des Minimalwerts diese bedingte Wahrscheinlichkeit noch geringer wird.

Eine praktische Umsetzung des Verfahrens, z. B. in einem Sekundär-Rohstoff-Zentrum, könnte prinzipiell nach dem in Abbildung 42 dargestellten Ablauf erfolgen.

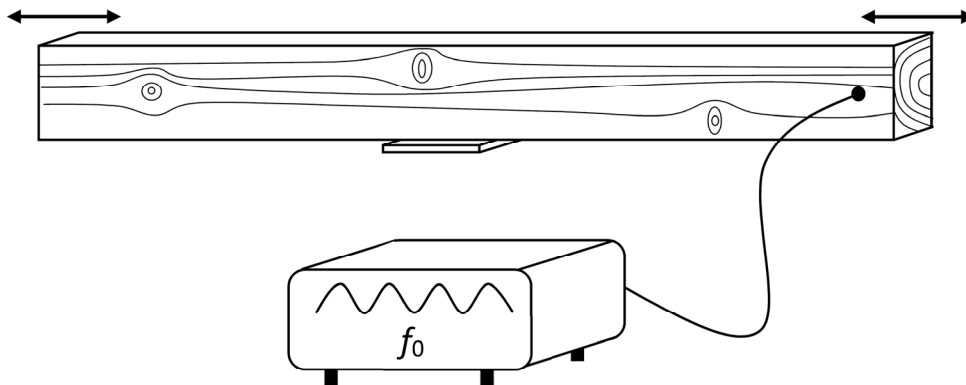
1. Visuelle Sortierung in S10



2. Elektrische Widerstandsmessung, Wiegen und Maße



3. Längsschwingung 1. Ordnung



4. Individuelle geometrische, physikalische und mechanische Eigenschaften

S10 nach DIN 4074-1

Holzfeuchte, Masse, Länge, Breite, Dicke → Bruttorehdichte

Frequenz → dynamischer Elastizitätsmodul $\approx 105\%$ des statischen Elastizitätsmoduls

→ Erwartungswert und Rechenwert der Biegefestigkeit in Übereinstimmung mit DIN EN 408

Abbildung 42: Praktische Schritte der kombinierten visuellen und maschinellen Sortierung in einem Sekundär-Rohstoff-Zentrum

5.2.1.2.4 Reklassifikation von Nadelschnittholz – Zusammenfassung

Abbildung 43 fasst die Vorgehensweise bei der Reklassifikation von Nadelschnittholz zusammen.

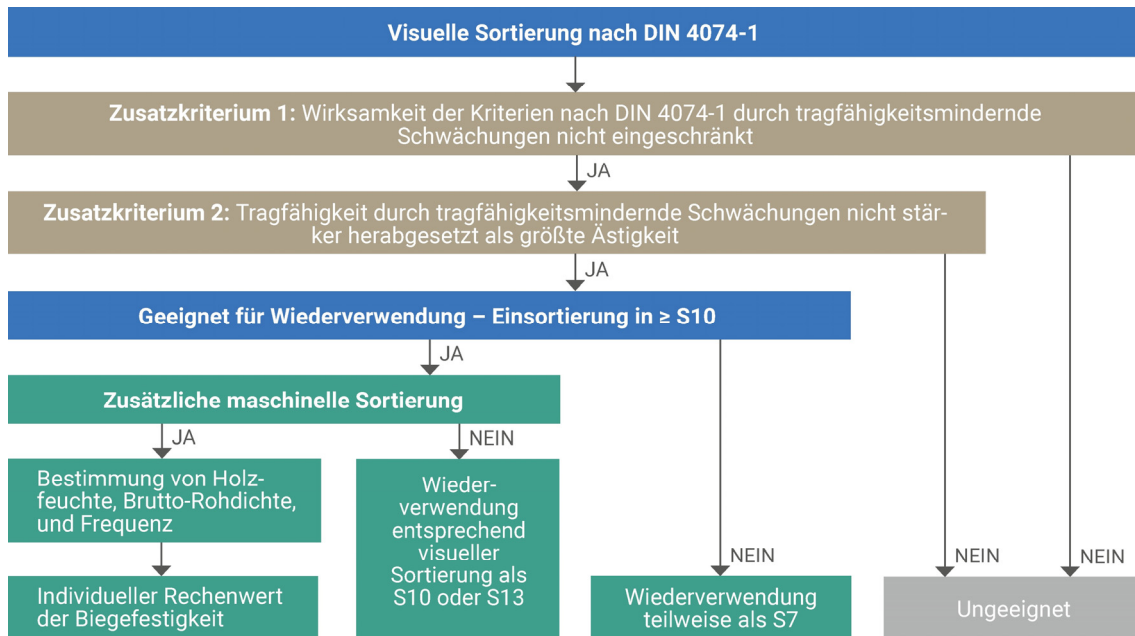


Abbildung 43: Reklassifikation von Nadelschnittholz

5.2.1.2.5 Prüfungen an Brettschichtholz

Bretter für Brettschichtholz werden herstellungsbedingt in vielen Fällen bereits visuell oder maschinell sortiert worden sein. Soweit es gelingt, die ursprüngliche Klassifizierung eindeutig festzustellen, liegt der Schwerpunkt zerstörungsfreier Verfahren auf der Feststellung einer etwaigen Verschlechterung der Klebstoffugen (Schichtverklebung und Keilzinken) und des Holzes infolge Rissbildung in Faserrichtung, Ringschäle, latenter Risse oder Scherversagen. Das sind Verschlechterungen im Sinne der natürlichen Abnutzung. Damit sind Tragfähigkeitseinbußen oder die künftige Nutzungsdauer zu quantifizieren. Hinweise zur Erkennung und Quantifizierung folgen in 5.2.1.4 (Bohrkerne). Die Feststellungen zur Verschlechterung der Klebstoffugen und des Holzes werden – soweit für sinnvoll und notwendig erachtet – ebenfalls für den Umfang und die Art und Weise von Sanierungsarbeiten am BS-Holz-Bauteil ausschlaggebend sein.

Im Idealfall wird man Brettschichtholz demontieren und bergen können, das nach MBO (2002, §21, Abs. 3) ein dauerhaft befestigtes und noch lesbares Übereinstimmungszeichen aus Aluminium o. ä. trägt, vgl. Abbildung 44. Sehr selten wird man kurz- und mittelfristig im selektiven Abbruch oder Rückbau bereits mit dem CE-Kennzeichen versehenes Brettschichtholz antreffen, vgl. Abbildung 45. Das gilt auch deswegen, weil eine dauerhafte CE-Kennzeichnung seit dem Jahr 2013 nicht einheitlich gehandhabt wird. Selbstklebend am Hirnholz aufgebrachte Kennzeichen aus Papier werden bald abfallen oder unleserlich werden, vgl. Abbildung 46. In Zukunft ist daher bei entsprechendem Material, verbaut ab dem Jahr 2013, zunehmend mit Einschränkungen bei der unmittelbaren Identifikation der Festigkeitsklasse zu rechnen.



Abbildung 44: Beispiele für „dauerhafte“ Kennzeichnung von GL24c, GL32c, BS14 und BS16


 4321	
Hersteller XY 16 ABCD – 123	
EN 14080:2013 Brettschichtholz Im Hoch- und Brückenbau	
Mechanische Eigenschaften, Feuerwiderstand und Klebfestigkeit der Keilzinkenverbindungen als	
Festigkeitsklasse	GL24c



Abbildung 45: Formale Vorgabe für eine CE-Kennzeichnung und selbstklebend aufgebrachte tatsächliche Kennzeichnung



Abbildung 46: Bereits während der Bauphase beschädigte selbstklebend aufgebrachte CE-Kennzeichnung (wahre Größe 80x40 mm²) einer Stütze aus GL24c 9250x240x300

Beim dauerhaft am BS-Holzbauteil befestigten Ü-Zeichen hingegen ist eine Übereinstimmung mit einer technischen Regel o. ä. zumindest dem Anschein nach festgehalten. Zunächst sollten daher einfache Sichtkontrollen auf die Flanken, die Hirnholzflächen und die Decklamellen durchgeführt werden, um zu überprüfen, ob die im Ü-Zeichen angegebene Festigkeitsklasse plausibel erscheint. Neben der Holzfeuchte sind im Zweifelsfall die Brutorohdichte und der dynamische Elastizitätsmodul in Längsrichtung in Übereinstimmung mit dem in Abbildung 41 dargestellten Verfahren zu ermitteln. Die Brutorohdichte und der dynamische Elastizitätsmodul können dann einer Orientierung für eine Reklassifikation in Anlehnung an DIN EN 14080 (2013) dienen. Dabei sind die Brutorohdichte und der dynamische Elastizitätsmodul mit den Tabellenwerten $\rho_{g,mean}$ bzw. $E_{0,g,mean}$ zu vergleichen, siehe DIN EN 14080 (2013) Tabelle 5 für homogenes Brettschichtholz. Bei kombiniertem Brettschichtholz wird der aus einer Längsschwingung ermittelte Elastizitätsmodul in der Regel etwas geringer ausfallen als derjenige, der aus einer statischen Biegebeanspruchung herrührt. Die dadurch bedingte Unterschätzung des tatsächlichen Biege-Elastizitätsmoduls führt daher zu einer auf der sicheren Seite liegenden Reklassifikation.

Nach der Sichtkontrolle sind folgende Überprüfungen für die Beurteilung der Tragfähigkeit vor einer potenziellen Wieder- oder Weiterverwendung unabdingbar. Hierbei wird zwischen zwei Quellen für Verschlechterungen und Ausschlusskriterien bzw. Einschränkungen unterschieden:

1) Einschränkungen infolge herstellungsbedingter Gegebenheiten und Verschlechterung

- Im Vergleich zu Sortierkriterien außergewöhnlich große **Ästigkeiten** oder kritisch anmutende Häufungen von übereinanderliegenden Ästigkeiten in den ersten zwei Randlamellen
- offene Keilzinkenverbindungen in den Randlamellen
- Schwindrisse und offene Klebstoffugen, Empfehlung: $t \leq b/8$ je Seite mit 0,1-mm-dicker Fühlerblattlehre gemessen
- Im Inneren vorhandene, nicht sichtbare (vermutete bzw. nur an den Hirnholzflächen sichtbare) **Schwindrisse** und Ringschäle
- Verformungen wie Krümmungen und Verdrehungen
- mechanischer **Verschleiß**, z. B. infolge Abrieb, Reinigung, Verkehr
- Verfärbung

2) Einschränkungen infolge nicht natürlicher Abnutzung

- **Feuchteschäden**, z. B. infolge Dachundichtigkeiten oder unplanmäßigem Tauwasser
- **Pilzbefall** bzw. Fäulnis
- Insektenbefall
- Beeinträchtigungen infolge nicht bestimmungsgemäßer Nutzung (z. B. tragfähigkeitsmindernde Schäden infolge Stoß/Anprall)

- Beeinträchtigungen infolge unzureichender Instandhaltung (z. B. Undichtigkeiten, Feuchteanreicherung an Abflüssen, fehlende Verstöpselungen)
- **Schäden** infolge Vernachlässigung und Vandalismus (z. B. Kerben, Löcher)

3a) Mögliche Ausschlusskriterien

- **Holzschutzmittel** und schadstoffbelastete Anstriche
- **Innenliegende Störstoffe** die beim Auftrennen zu kleineren Bauteilen und beim Hobeln besonders zu berücksichtigen sind, z. B. Nagelreste, Klammern, nicht lösbare Schrauben

3b) Ausschlusskriterien

- Brettschichtholz mit Harnstoffharz-(UF-)Klebstoffen; weiterführende Hinweise finden sich im Brettschichtholz-Merkblatt zur Bewertung von Klebstoffugen in Brettschichtholzbauteilen im Bestand (Studiengemeinschaft Holzleimbau 2021).
- Bei Brettschichtholz mit Universal-Keilzinkenverbindungen sind die Angaben um Festlegungen zur Bewertung der Keilzinkungen zu ergänzen.

Abbildung 47 fasst die Vorgehensweise bei der Reklassifikation und Integritätsprüfung von Brettschichtholz zusammen.

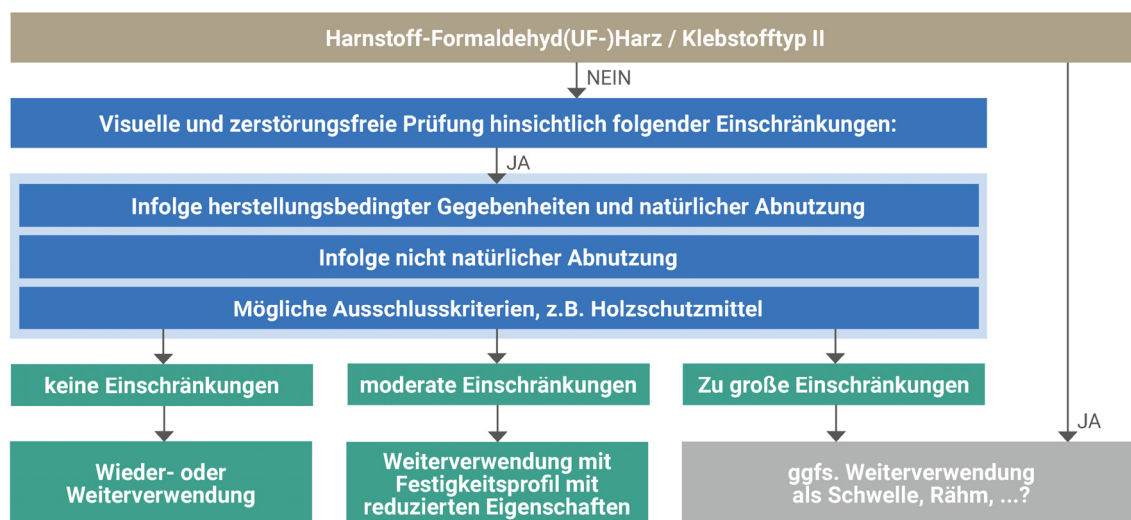


Abbildung 47: Reklassifikation und Integritätsprüfung von Brettschichtholz

5.2.1.2.6 Prüfungen an OSB-Platten

Ursprünglich geschraubte und sorgfältig von der Unterkonstruktion gelöste OSB-Platten sollten mit einfachen Sichtkontrollen und haptischen Tests geprüft werden. Sie dürfen nur bei augenscheinlicher technischer Integrität für eine Wieder- oder Weiterverwendung in Betracht gezogen werden. Soweit es gelingt, die ursprüngliche Klassifizierung eindeutig festzustellen, liegt der Schwerpunkt zerstörungsfreier Verfahren auf der Feststellung einer etwaigen Verschlechterung. Folgende Kriterien werden im anfänglichen Stadium der Wiederverwendung empfohlen:

- Platten nicht rissig, nicht wellig und nicht verzerrt
- Farblich und geruchlich ohne nennenswerte Einschränkung
- Schnittkanten mit einheitlicher Dicke, nicht ausgefranst oder aufgequollen
- Holzspäne unmittelbar an der Oberfläche fest mit unteren Lagen verbunden und nicht „schuppig“
- Löcher aus Erstverwendung nicht übermäßig aufgeweitet oder ausgebrochen

5.2.1.3 Zerstörungsarme Prüfverfahren – Bohrkerne

Zur Bestimmung von Angaben zu Holzart, lokaler Rohdichte, Klebstofftyp, Qualität von Klebstoffugen nach DIN EN 14080:2013-09 (Scherprüfungen, Delaminierungsprüfungen), Art von Oberflächenbehandlungen und eventuell zu mechanischen Eigenschaften von kleinen fehlerfreien Proben können Bohrkerne entnommen werden. Sie eignen sich auch (z. B. bei umfangreicheren Kollektiven), um an für das Gesamtbauteil repräsentativen Stellen den Allgemeinzustand des Holzes zu beurteilen. Dem Untersuchungszweck entsprechend können unterschiedliche Durchmesser zwischen 10 und 40 mm gewählt werden, wobei sich bei Vollholz kleine Durchmesser eignen und bei Brettschichtholz ein Durchmesser von 35 mm (Außendurchmesser Bohrkronen 50 mm) etabliert hat. Prüfungen von Bohrkernen zählen zu den zerstörenden Prüfverfahren, ihre Entnahme für die Prüfung darf das Bauteil, aus dem sie entnommen werden, nicht für eine Wieder- oder Weiterverwendung unbrauchbar machen.

Bei der Bohrkernentnahme sind in Abhängigkeit vom Ziel der Untersuchung zwei Bereiche zu unterscheiden:

- 1.) Sollen gezielt Auswirkungen von Verschlechterungen infolge natürlicher Abnutzung oder aufgrund von hohen Beanspruchungen quantifiziert werden, sind Bohrkerne in entsprechenden Bereichen zu entnehmen. Nach der Bohrkernentnahme sind die Bohrlöcher mit passenden Holzzyindern in Übereinstimmung mit der umgebenden Faserrichtung vollständig zu verschließen und fugenfüllend zu verkleben, so dass die Bohrkernentnahme keine zusätzliche Schwächung darstellt.
- 2.) Sollen Angaben zur Holzart, Rohdichte, Klebstoffart, Qualität der Verklebung, Scherfestigkeit, Oberflächenbehandlung o. ä. anhand von Bohrkernen ermittelt werden, sind Bohrkerne in nur gering schub-, querzug- und biegebeanspruchten Bauteilbereichen zu entnehmen, so dass das Bauteil durch die Entnahme keine nennenswerte zusätzliche Schwächung erfährt.

Für manche der mithilfe von Bohrkernen zu bestimmenden Informationen (z. B. Klebstofftyp, Qualität der Klebstoffugen (Studiengemeinschaft Holzleimbau (2021)), Oberflächenbehandlung) ist die Hinzuziehung dafür anerkannter oder akkreditierter Prüfstellen erforderlich.

5.2.1.4 Zerstörende Prüfverfahren im Holzbau

Zerstörende Prüfungen sollten im Holzbau eine Ausnahme bleiben. Bevor diese als Basis für eine Quantifizierung der mechanischen Eigenschaften in Betracht gezogen werden, sollten Möglichkeiten geprüft werden, das Holz nicht tragend oder nur in untergeordneten tragenden Bauteilen einzusetzen. Wenn tatsächlich die Fallkonstellation 2 großer Kollektive gegeben ist (s. Abschnitt 5.2.1.1), dann können aus Gesichtspunkten der Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit Prüfungen nach DIN EN 408 (2012) und eine Klassifizierung des Materials nach DIN EN 384 (2010) zweckmäßig werden. Man stelle sich die fiktive Aufgabe vor, die Kanthölzer und Bretter in dem etwa 110 m langen Tonnendach über den Bahnsteigen des Bahnhofs Hamburg-Dammtor für eine Wieder- oder Weiterverwendung zu klassifizieren, s. Abbildung 48.

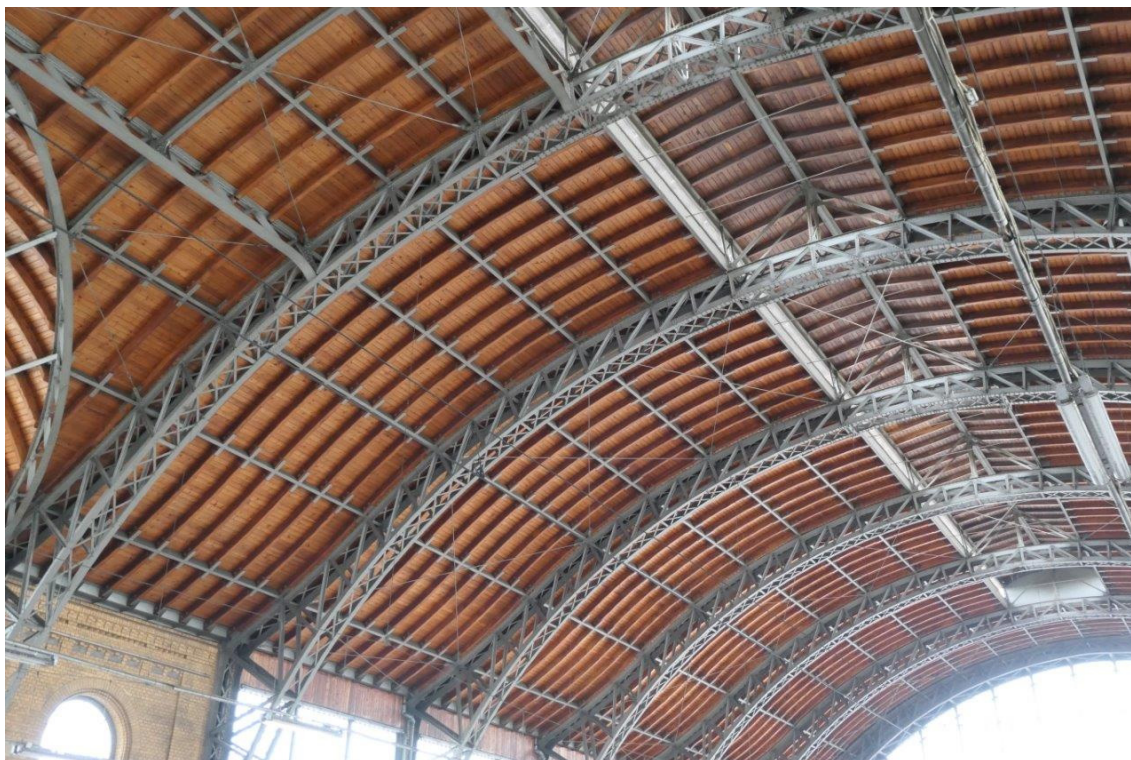


Abbildung 48: Blick in ein Viertel des Tonnendachs über dem Bahnhof Hamburg-Dammtor

In den 14 Bogenfeldern verlaufen jeweils neun halbkreisförmig angeordnete Kantholzstränge mit jeweils 18 Stücken. Die Anzahl der Kanthölzer betrage dann: $14 \times 9 \times 18 = 2268$. Damit lägen Verhältnisse vor, unter denen ein nach fachkundiger Einschätzung und Auswahl definierter Bruchteil der Stücke zerstörend geprüft werden könnte. Da eine Reklassifikation von Schnittholz aus dem selektiven Abbruch bzw. Rückbau grundsätzlich außerhalb des Anwendungsbereichs der EN 384 (2010) liegt, sind Probenauswahl und -umfang an pragmatischen Gesichtspunkten und an den gegebenen Voraussetzungen individuell auszurichten.

5.2.2 Prüfeinheitenbildung im Holzbau

5.2.2.1 Kriterien

Angesichts der Darstellung in Abbildung 43 sollten Prüfeinheiten ausschließlich so gebildet werden, dass beim Quantifizieren des Niveaus der physikalischen und mechanischen Eigenschaften nur Verschlechterungen infolge natürlicher Abnutzung erfasst werden. Das gilt im Falle von zerstörungsfreien und zerstörenden Prüfungen gleichermaßen. Bei einer visuellen (siehe 5.2.1.2.2) oder kombinierten visuellen und maschinellen Sortierung (siehe 5.2.1.2.3) sind 100 % der Stücke im Sinne einer Sortierung zerstörungsfrei zu prüfen. Dabei ist darauf zu achten, dass außerhalb der Sortierkriterien liegende Schwachstellen aus Erstverwendung und Verschlechterungen infolge nicht natürlicher Abnutzung und infolge Demontage bei der Bemessung und konstruktiven Wiederverwendung gesondert berücksichtigt werden. Bei zerstörenden Prüfungen gemäß 5.2.1.4 darf nur ein kleiner Teil der Stücke geprüft werden, siehe 5.2.2.2. Bei der Prüfeinheitenbildung sind dann durch eine fachkundige Person solche Bauteile zu identifizieren und endgültig auszuwählen, bei denen sich die natürliche Abnutzung am deutlichsten zeigt bzw. vollzogen hat. Einige Kriterien dafür sind:

- **Rissbildung** infolge nutzungsbedingter klimatischer Veränderungen, die das Innen- oder Außenklima betreffen, oder allg. das Schwinden infolge Trocknung
- Da insbesondere Äste die Tragfähigkeit beeinflussen, ist darauf zu achten, dass die **Ästigkeiten** der Stücke in den Prüfeinheiten repräsentativ für das Kollektiv sind. Das Gleiche gilt für die Jahrringbreite bzw. Rohdichte.
- Oberflächliche **Verwitterungserscheinungen** und Veränderungen, die auf natürliche Beanspruchung durch Niederschläge und Sonneneinstrahlung, Tauwasser o. ä. zurückzuführen sind (Abbildung 49)
- Stücke sollen aus solchen Tragwerksbereichen stammen, in denen sie bemessungsrelevanten (Wechsel-) **Beanspruchungen** ausgesetzt waren. Das betrifft insbesondere die Querkzug-, Schub-, Zug- und Biegetragfähigkeit sowie Bauteile oder Bauteilbereiche mit Kriechverformungen



Abbildung 49: Grenzübergang Scheibenhard (Frankreich) – fiktives Beispiel für ein Träger-kollektiv mit heterogenem Grad der Verschlechterung infolge Tauwasser nur im Bereich der Lichtkuppeln

Es ist bei der Prüfeinheitenbildung darauf zu achten, dass das Niveau der physikalischen und mechanischen Eigenschaften infolge Verschlechterung durch natürliche Abnutzung nicht auch noch durch folgende Einflüsse verzerrt wird:

- Schwachstellen bedingt durch Bearbeitung für die Erstverwendung
- Verschlechterung infolge nicht natürlicher Abnutzung
- Verschlechterung infolge Vernachlässigung und Vandalismus zwischen Leerstand bzw. Stilllegung und Abbruch, Demontage, Bergung, in-situ-Lagerung und Transport, vgl. Abbildung 50 und Abbildung 51



Abbildung 50: Dachwerk eines zum Abbruch bereitstehenden Gebäudes mit Löchern in der Dachdeckung und Zutritt von Regenwasser



Abbildung 51: Beispiel für Vernachlässigung und dadurch mitbedingten Vandalismus

5.2.2.2 Festlegen des Prüfumfangs

Bei entsprechend großen Stückzahlen im Kollektiv (Fallkonstellation 3, siehe 5.2.1.1) und der Entscheidung, dieses über zerstörende Versuche zu charakterisieren, sollten in Anlehnung an DIN EN 384 (2010) mindestens 40 Prüfkörper für eine Stichprobe vorgesehen werden, um verteilungsfrei ein 5 %-Quantil als zweiten Wert in der nach aufsteigender Größe der Festigkeitswerte gestaffelten Reihe abzuzählen. Die Stichprobe kann bei gegebener geringer Variabilität der Rohdichte, Festigkeit und des Elastizitätsmoduls in Abhängigkeit von den wirtschaftlichen und zuverlässigkeitsbezogenen Aspekten und der späteren Verwendung auf minimal 20 reduziert werden. Bei der Bestimmung der Stücke für die Stichprobe sollten angesichts der bei Holz vorhandenen Variabilität der Festigkeit nur solche Stücke berücksichtigt werden, die dem Augenschein nach die geringsten Festigkeiten aufweisen werden. Eine an KIT Holzbau und Baukonstruktion sondierende, noch nicht abgeschlossene Untersuchung von 80 Stück etwas 60 Jahre alter Dachsparren belegt, dass fallweise mit stark streuenden strukturellen, physikalischen und mechanischen Eigenschaften zu rechnen ist. Die Stichprobenumfänge und die dafür auszuwählenden Stücke können daher nicht pauschal festgelegt werden, sondern sind von einer fachkundigen Person festzulegen. Umfänge und Proben müssen nach individuellen Kriterien definiert bzw. unter gezielter Berücksichtigung von vorhandenen Schwachstellen ausgewählt werden. Nur so kann das Ergebnis einer Stichprobe für das wiederzuverwendende Kollektiv auf der sicheren Seite liegend repräsentativ sein.

5.2.3 Konservative Annahmen im Holzbau

Das Konzept zulässiger Spannungen berücksichtigte bereits Einflüsse aus Haupt-, Zusatz- und Sonderlasten, z. B. DIN 1052 (1988). Es gibt daher eine Affinität mit dem semi-probabilistischen Sicherheitskonzept unter Verwendung von Teilsicherheits- und Modifikationsbeiwerten. Eine Wieder- und Weiterverwendung von nach dem Konzept zulässiger Spannungen bemessenen Bauteilen nach dem semi-probabilistischen Konzept ist zunächst einmal realisierbar, stellt aber noch keine konservative Annahme dar. Die Berücksichtigung der folgenden unverbindlichen Empfehlungen kann die Robustheit in Teilbereichen des Tragwerks aus wieder- und weiterzuverwendendem Holz günstig beeinflussen:

- Verwendung in Konstruktionen mit Druckbeanspruchung in und quer zur Faserrichtung (z. B. gedrungene Stützen bzw. Schwellen)
- Entscheidung für Tragwerksentwürfe, deren globales Gleichgewicht insbesondere auf der Druck- und Biegetragfähigkeit in Faserrichtung beruht (günstige Wirkung der halbquadratischen Interaktion bei Druck und Biegung)
- Verzicht auf spaltgefährdete Verbindungen
- Vermeidung von last- und geometriebedingten Querkzugbeanspruchungen, z. B. keine Wiederverwendung von Satteldachträgern ohne Querkzugverstärkung im Firstbereich; Vermeidung von zugbeanspruchten angeschnittenen Rändern bei Brettschichtholz
- Absenken der charakteristischen Schubfestigkeit von Brettschichtholz auf einen individuell festzulegenden Bruchteil von $3,5 \text{ N/mm}^2$ bei Verdacht auf latente, im Innern von Brettschichtholz liegende Risse, vgl. Erläuterung DIN (1969), S. E46 und Möhler & Steck (1980)

Die Umsetzung der vorgenannten Punkte könnte durch Angabe von **Festigkeitsprofilen mit reduzierten Werten** befördert werden. Festigkeitsklassen für wieder- und weiterzuverwendendes Holz würden Festigkeitsprofile erhalten bei denen einzelne Festigkeitskennwerte reduziert sind, z. B. eine zu null gesetzte Querkzugfestigkeit oder reduzierte Schubfestigkeit. Bei der Bewertung von vorhandener (Schwind-)Rissbildung ist zu beachten, dass auch in der erneuten Nutzung Holzfeuchteänderungen auftreten können, welche zur Entstehung neuer (Schwind-)Risse oder dem Wachstum vorhandener (Schwind-)Risse führen. Auch die Berücksichtigung weiter zunehmender Risse kann durch Festigkeitsprofile mit reduzierten Werten oder die Anwendung angepasster Abminderungsfaktoren ($k_{\text{crack, reuse}}$) auf normativ festgelegte Festigkeitskennwerte erfolgen (Abnutzungsvorrat). Tabelle 22 stellt beispielhaft ein Festigkeitsprofil mit reduzierter Querkzug- und Schubfestigkeit (z. B. zur Berücksichtigung einer erhöhten Schwindrissbildung) dar.

Tabelle 22: Beispielhafte Darstellung eines Festigkeitsprofils mit reduzierten Festigkeitskennwerten zur Berücksichtigung einer erhöhten Schwindrissbildung

Brettschichtholz		GL 24 (BS 11)*		GL 28 (BS 14)*	
Eigenschaft	Symbol	c	h	c	h
Biegefestigkeit	$f_{m,k}$	24	24	28	28
Zugfestigkeit	$f_{t,0,k}$	17	19,2	19,5	22,3
	$f_{t,90,k,red}$	0,2 **			
Druckfestigkeit	$f_{c,0,k}$	21,5	24	24	28
	$f_{c,90,k}$	2,5			
Schubfestigkeit/Torsion	$f_{v,k,red}$	1,5 **			
Elastizitätsmodul	$E_{0,mean}$	11000	11500	12500	12600
	$E_{90,mean}$	300			
Schubmodul	G_{mean}	650			
Rohdichte	ρ_k	365	385	390	425

* Werte aus DIN EN 14080:2013; Beziehung GL ↔ BS aus Tab. F.9. DIN 1052:2004

** Werte beispielhaft

6 Aufbereitung von Bauteilen

6.1 Allgemeines

Bauprodukte müssen dem Verwendungszweck entsprechende optische und technische Merkmale aufweisen. Bei der Wiederverwendung gelten dieselben Anforderungen (Abegg & Streiff 2021). Je nach Zustand können gebrauchte Bauprodukte diese nicht mehr oder nur noch teilweise leisten. Eine Wiederverwendung wird dann möglich, wenn sich durch geeignete Maßnahmen ein für die weitere Verwendung gebrauchsfähiger Zustand (wieder)herstellen lässt. In diesem Fall kann von einer (notwendigen) Aufbereitung zur Wiederverwendung gesprochen werden.

Bestimmte Aufbereitungsmaßnahmen führen zu einer Wertsteigerung der gebrauchten Bauprodukte und bauen Hemmnisse der Wiederverwendung ab. Darauf zielt die im Folgenden diskutierte Aufbereitung aber nicht ab. Auch wirken sich viele Verfahren der Aufbereitung negativ auf den ökologischen Mehrwert der Wiederverwendung aus und sind in Bezug darauf möglichst auf ein Minimum zu reduzieren (Kuhlmann 2023). Der Idealfall wäre demnach die direkte Wiederverwendung ohne etwaige Aufbereitungsmaßnahmen.

Die Aufbereitung gebrauchter Bauteile beinhaltet hier technisch erforderliche und/oder vorbereitende Maßnahmen, die es nach den Grundanforderungen an Bauwerke, für die weitere Nutzung braucht. Vorwiegend handelt es sich dabei um die Bearbeitung der Bauteiloberflächen. Eine Bauteiloberfläche hat funktionale Aufgaben dem Einsatz und Verwendung entsprechend zu erfüllen. Dabei können die Aufgaben sowohl dekorativer als auch funktioneller Art sein. Außerdem beinhaltet die gesamte Funktionalität meist mehrere Anforderungen, wie zum Beispiel Korrosions- und Brandschutz. Auch kann eine dekorative Oberfläche nicht auf den Korrosionsschutz verzichten. (Müller 2003)

Da der Erhaltungszustand gebrauchter Bauteile sehr unterschiedlich sein kann, sind Verfahren und Umfang der Aufbereitungsmaßnahmen im Einzelnen durch eine fachkundige Person festzulegen. Bei Vorhandensein von Schadstoffen sind auf jeden Fall Maßnahmen vor der Wiederverwendung erforderlich. Die Wesentlichen Schadstoffe im Bestand sind (LfU 2019):

- Holzschutzmittel
- Mineralische Faserstoffe (asbesthaltige Stoffe)
- Kleb- und Dichtstoffe (PCB-haltige Stoffe)
- Teer (PAK-haltige Stoffe)
- Schwermetalle (Korrosionsschutzanstriche auf Cadmium- oder Bleibasis)

Grundsätzlich kann eine Dekontamination der betroffenen Bauteile erfolgen, sofern umsetzbar. Praktikabel erscheint die Entfernung durch mechanische Verfahren. (Buttermann 2023)

Allgemeine Kriterien wonach sich die möglichen Verfahren zur Aufbereitung richten:

- Arbeitssicherheit
- Gesundheitsschutz
- Umweltschutz
- (Technische) Umsetzbarkeit
- Aufwand und Kosten

Allgemeine technische Kriterien wonach sich die möglichen Verfahren zur Aufbereitung richten:

- Bauteilabmessungen
- Bauteilgewicht
- Bauteilanzahl
- Zugänglichkeit der Bauteiloberflächen
- On-site/off-site Bedingungen
- Transportmöglichkeiten
- zeitlicher Aufwand

Die Arbeitsbedingungen im Werk und auf der Baustelle müssen berücksichtigt, die geltenden Vorschriften zu Umweltschutz, Gesundheitsschutz und Arbeitssicherheit müssen eingehalten werden. Eine technische Erläuterung der verschiedenen Aufbereitungsverfahren beinhaltet diese Arbeit nicht. Dazu gibt es entsprechende Fachliteratur und Handbücher, u. a. (Dillinger et al. 2023), (Ramuz 2016), (Ruge & Wohlfahrt 2013).

Des Weiteren sind zahlreiche Betriebe im Bereich der Aufbereitung von Stahl und Holz tätig und können beratend bei der Wahl geeigneter Maßnahmen und Verfahren hinzugezogen werden.

Die beiden folgenden Abschnitte dieses Abschnitts beinhalten daher ausschließlich baupraktische Handlungsempfehlungen zur technischen Aufbereitung vor der Wiederverwendung. Konkret handelt es sich dabei um eine mögliche Verfahrensweise jeweils für tragende Stahl- und Holzbauteile. Die Wirtschaftlichkeit bleibt bei diesen Erläuterungen unberücksichtigt.

6.2 Handlungsempfehlungen für den Stahlbau

Die Handlungsempfehlungen zur Aufbereitung von Stahlbauteilen vor der Wiederverwendung beinhalten:

- Schadstoffbeseitigung
- Entfernen von Fremdmaterial
- Umgang mit Anstrichen
- Umgang mit Beschichtungen
- Umgang mit einer rückbaubedingten Wärmeeinflusszone
- Reinigen der Bauteiloberflächen

Die verschiedenen Techniken der Metallbearbeitung und Oberflächentechnik werden hier nicht weiter erläutert und können beispielsweise in

(Westkämper & Warnecke 2002) und (Müller 2003) nachgelesen werden. Alle Arbeiten haben entsprechend dem aktuellen Stand der Technik zu erfolgen und die Anwendungsvoraussetzungen der jeweiligen Verfahren sind zu berücksichtigen. Die Einhaltung der geltenden Gesetze und untergesetzlichen Regelwerke, Anforderungen an den Schutz von Arbeitnehmern, Dritten und der Umwelt sowie anerkannten Regeln der Technik ist obligatorisch.

Mögliche Schadstoffquellen bei Stahlbauteilen aus dem Bestand sind:

- Fremdmaterialien die an der Bauteiloberfläche anhaften
- Anstriche
- Beschichtungen

Schadstoffe sind vor der Wiederverwendung grundsätzlich zu beseitigen. Der Aufwand kann je nach Stoff, Gehalt, Art der Einbindung und Verfahrensweise umfangreiche Maßnahmen erfordern. Die Schadstoffsanierung ist ein Spezialgebiet und erfordert den Einsatz von qualifizierten Fachbetrieben, z. B. einen vom Gesamtverband Schadstoffsanierung e. V. zertifizierten Sanierungsfachbetrieb. Zur vollständigen Entfernung schadstoffhaltiger Anstriche und Beschichtungen erscheint das Kugelstrahlen mit Absaugung sinnvoll. Der Arbeitsschutz und die Anwendbarkeit des Verfahrens sind immer im Einzelfall zu prüfen. (Berg 2007)

Fremdmaterial und Rückstände aus der vorherigen Nutzung und den Prozessen der Wiederverwendung in Form von Schmutz, Fette/Öle, Rost, Staub, Abrieb usw. haften auf der Oberfläche. Ziel der Reinigung ist die Entfernung der an der Oberfläche haftenden Verunreinigungsschicht und nicht wiederverwendbarem Fremdmaterial. Der Reinigungsvorgang soll dabei keine Schäden an den Bauteiloberflächen oder Verformungen an den Bauteilen verursachen. Eine vielfach angewendete Verfahren ist das Strahlen mit Sand. (Scheifele 1954)

Da derzeit keine geeigneten Prüfverfahren zur Verfügung stehen, um sicherzustellen, dass organische Korrosionsschutzbeschichtungen und Brandschutzbeschichtungen die Anforderungen an einen erneuten Lebenszyklus erfüllen (siehe Abschnitte 5.1.4.4 und 5.1.4.3) und die Beschichtungen während des Rückbaus wahrscheinlich beschädigt werden, wird derzeit empfohlen, die Beschichtungen vor einer Wiederverwendung zu entfernen.

Im Zuge von Ausbau, Transport, Prüfung und Wiedereinbau verzinkter Bauteile besteht die Gefahr, dass der Zinküberzug lokal beschädigt wird. Die Verzinkung ist daher auf Beschädigungen zu kontrollieren und Beschädigungen und Fehlstellen fachgerecht auszubessern. Dabei sind die Regeln der DIN EN ISO 1461 (2022) sinngemäß anzuwenden.

Beim Rückbau von Stahltragwerken erfolgt das Lösen von Stahlbauteilen in vielen Fällen mittels Schneidbrenner. Aufgrund der starken thermischen Belastung im Bereich der Schnittkante ist eine Wärmeeinflusszone zu berücksichtigen. Deren Ausmaß hängt von mehreren Einflussgrößen ab, unter anderem von Geometrie, Material, Schlackenbildung sowie Temperatur und Dauer des Trennvorgangs. (Schröder 2015)

Daneben ist mit diesem Trennverfahren aufgrund der freien Führung keine saubere Schnittkante und -linie möglich. Vor diesem Hintergrund wird vor der Wiederverwendung des Stahlbauteils ein Nachschneiden der Schnittkanten mit einer Metallsäge empfohlen. Damit lässt sich eine gerade und saubere Schnittfläche herstellen. Gemessen von der Schnittkante, sollte dabei mindestens eine Länge der fünffachen Materialstärke abgeschnitten werden, zur Berücksichtigung negativer Einflüsse einer Wärmeeinflusszone. Dieser Ansatz beruht auf den allgemeinen Erfahrungen der Schweißtechnik. (Ruge 1993)

6.3 Handlungsempfehlungen für den Holzbau

Die Handlungsempfehlungen zur Aufbereitung von Holzbauteilen vor der Wiederverwendung beinhalten:

- Schadstoffbeseitigung
- Entfernen von Fremdmaterial
- Umgang mit Anstrichen
- Maßnahmen zur Steigerung der Benutzbarkeit
- Reinigen der Bauteiloberflächen

Die verschiedenen Techniken der Holzbearbeitung und Oberflächentechnik werden hier nicht weiter erläutert, hierzu wird beispielsweise auf (Wittchen et al. 2006) verwiesen. Alle Arbeiten haben entsprechend dem aktuellen Stand der Technik zu erfolgen und die Anwendungsvoraussetzungen der jeweiligen Verfahren sind zu berücksichtigen. Die Einhaltung der geltenden Gesetze und untergesetzlichen Regelwerke, Anforderungen an den Schutz von Arbeitnehmern, Dritten und der Umwelt sowie anerkannten Regeln der Technik ist obligatorisch.

Mögliche Schadstoffquellen bei Holzbauteilen aus dem Bestand sind:

- Fremdmaterialien die an der Bauteiloberfläche anhaften
- Holzschutzmittel
- Anstriche
- Holzbeschichtungen

Schadstoffe sind vor der Wiederverwendung grundsätzlich zu beseitigen. Der Aufwand kann je nach Stoff, Gehalt, Art der Einbindung und Verfahrensweise sehr umfangreiche Maßnahmen erfordern. Die Schadstoffsanierung ist ein Spezialgebiet und erfordert den Einsatz von Fachfirmen, z. B. zertifizierten Sanierungsfachbetrieben. Zur vollständigen Entfernung schadstoffhaltiger Anstriche und Beschichtungen erscheint das Abhobeln mit Absaugung sinnvoll. Der Arbeitsschutz und die Anwendbarkeit des Verfahrens sind immer im Einzelfall zu prüfen.

Ziel der Reinigung ist die Entfernung von nicht wiederverwendbarem Fremdmaterial wie Nägel, Schrauben usw. und der an der Oberfläche haftenden Rückstände aus der vorherigen Nutzung. Der Reinigungsvorgang soll dabei keine Schäden an den Bauteilen verursachen. Zur Entfernung von Staub und Reinigung verschmutzter

Oberflächen eignen sich Druckluft und Bürste in Kombination mit einer Absauganlage, Staubsauger sowie das Sandstrahlverfahren (Böttcher 2004).

Metallisches Fremdmaterial kann grundsätzlich einzeln per Hand entfernt werden, z. B. mit Hammer und Nageleisen. Eine Kontrolle kann mittels Metalldetektor erfolgen. Dieser Schritt ist bei weiterer Verarbeitung des Holzes erforderlich, damit die Werkzeuge der Holzbearbeitungsmaschinen geschont bzw. nicht zerstört werden. In Zukunft wäre eine Automatisierung dieses Vorgangs mit Anlagen- und Robotertechnik vorstellbar.

Die Fragestellung, ob ein bestehender (schadstofffreier) Anstrich oder eine bestehende (schadstofffreie) Holzbeschichtung zu erneuern ist oder instandgesetzt werden kann, ist abhängig vom Zustand, dem weiteren Einsatzort und der weiteren Nutzungsdauer. Eine allgemeingültige Antwort ist aufgrund dieser Parameter nicht möglich und daher einer Entscheidung im Einzelfall vorbehalten. Im Zweifelsfall wird eine vollständige Entfernung empfohlen, durch z. B. Abhobeln oder Abstrahlen.

Die Bearbeitung von Holz oder Holzwerkstoffen erfolgt heutzutage millimetergenau unter Einsatz moderner Maschinen und CNC-Technik. Diese Bearbeitungsmöglichkeit erfordert möglichst maßhaltige Holzquerschnitte. Holzquerschnitte aus dem Bestand eignen sich dafür aufgrund des Zuschnitts, Krümmungen, Verzug usw. nicht immer. In diesem Fall kann ein Besäumen, Abrichten oder Hobeln der Holzquerschnitte vor der Wiederverwendung auf ein gängiges rechtwinkliges Querschnittsmaß zielführend sein. Fremdmaterialien wie Nägel, Schrauben usw. sind vor diesem Arbeitsschritt zu entfernen. Verborgene Metallteile können mittels Metalldetektor lokalisiert werden.

7 Baurechtliche Bewertungsverfahren

Der Schwerpunkt dieses Forschungsberichts liegt auf den technischen Aspekten der Wiederverwendung. Dennoch soll in diesem Abschnitt aufgezeigt werden, wie die Ergebnisse in einem baurechtlichen Kontext genutzt werden können.

7.1 Stahlbau

7.1.1 Einführung

Für die Wiederverwendung von Bauteilen im Stahl- und Holzbau gibt es in Baden-Württemberg derzeit keine bekannt gemachten Technischen Baubestimmungen. Auch wenn mit dem in dieser Arbeit erarbeiteten Verfahren die technische Leistungsfähigkeit der Bauprodukte festgestellt werden kann, kann nicht sichergestellt werden, dass die Bauprodukte allen aktuellen technischen Regeln entsprechen. So kann es z. B. vorkommen, dass Stahlbauteile mit dem vorgestellten Verfahren als wiederverwendbar eingestuft werden, obwohl die Anforderungen der aktuellen DIN EN 10025-2 (2019) an die chemische Zusammensetzung nicht eingehalten werden. Daher ist ein baurechtlicher Verwendbarkeitsnachweis erforderlich.

Kurzfristiges Ziel ist es, mit dem erarbeiteten Verfahren eine Grundlage zur Erlangung von Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) kombiniert mit vorhabenbezogenen Bauartgenehmigungen (vBG) zu erhalten. Über realisierte Projekte sollen Erfahrungen gesammelt und das Verfahren ggf. angepasst werden. In weiterer Folge sollen die Ergebnisse für die Entwicklung von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) Zulassungen kombiniert mit allgemeinen Bauartgenehmigungen (aBG) sowie Normen genutzt werden.

7.1.2 Zertifizierung

Die Qualifikation des Personals, das zerstörungsfreie Prüfungen durchführt, hat einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse, insbesondere bei Verfahren, deren Bewertung eine Interpretation durch das Prüfpersonal erfordert (z. B. Ultraschallprüfungen). Daher sollten Anforderungen an die Qualifikation des Prüfpersonals gestellt werden.

Mit der ISO 9712 (2021) steht ein Regelwerk für die Qualifizierung und Zertifizierung von Personal für zerstörungsfreie Prüfungen im Stahlbau zur Verfügung. Die gleichen Anforderungen sollten an das Personal gestellt werden, das die Prüfungen für die Wiederverwendung durchführt. Im Rahmen der ZiE/vBG bzw. abZ/aBG sollte daher zur Sicherstellung der Qualifikation der Prüfstelle z. B. eine anerkannte Stelle nach § 24 LBO (s. auch PÜZ-Verzeichnis), herangezogen werden. Die DIN EN 1090-2 (2018) fordert derzeit für Vorprodukte aus Baustählen nach DIN EN 10025-2 (2019) bis zu einer Streckgrenze von 275 MPa Prüfzeugnisse 2.2 und darüber hinaus Prüfzeugnisse 3.1 nach DIN EN 10204 (2005). In den Prüfzeugnissen werden die

Ergebnisse der unspezifischen (2.2) und spezifischen (3.1) Prüfungen aufgeführt. Für die Ausstellung der Prüfbescheinigungen 3.1 ist ein von der Fertigungsabteilung unabhängiger Abnahmebeauftragter des Herstellers erforderlich. Das Prüflabor des Abnahmebeauftragten muss jedoch nicht akkreditiert sein, so dass zu hinterfragen ist, ob für eine Wiederverwendung eine Akkreditierung, wie beispielsweise auch im europäischen Normungsgremium CEN/TC 135 gefordert, erforderlich ist. Für eine Einführungsphase (ZiE/vBG) kann es sinnvoll sein, das Einbeziehen einer anerkannten Prüfstelle nach § 24 LBO zu fordern, um das Vertrauen in das Verfahren zu erhöhen.

Für Baustähle wird in DIN EN 10025-1 eine Fremdüberwachung nach einem 2+ System gemäß EU-Bauproduktenrichtlinie bzw. EU-Bauproduktenverordnung gefordert. Danach wird die werkseigene Produktionskontrolle des Bauteilherstellers regelmäßig durch eine notifizierte Stelle (Verzeichnis s. NANDO-Liste) überwacht. Dieses Verfahren könnte auch auf die Wiederverwendung im Rahmen einer ZiE/vBG bzw. abZ/aBG übertragen werden, wobei an die Stelle der notifizierten Stelle eine anerkannte Stelle treten würde.

Derzeit ist noch nicht absehbar, wie sich die Wertschöpfungskette bei der Wiederverwendung von Stahlbauteilen entwickeln wird. Beispielsweise könnten Abbruchunternehmen die Bestandsanalyse und Demontage übernehmen und etablierte Stahlhändler/Hersteller ihre Produkte am Ende des Lebenszyklus zurücknehmen, prüfen und an Stahlbauunternehmen weiterverkaufen. Alternativ können Abbruchunternehmen oder Stahlbauunternehmen die Prüfung übernehmen oder neue Marktteilnehmer entstehen. In jedem Fall könnten die entsprechenden Akteure bzw. der Prozess von einer anerkannten Stelle für die Bestandsanalyse, die Demontage, die Prüfungen einzeln oder für den gesamten Prozess zertifiziert werden.

7.1.3 Sicherheitsbeiwerte

Ein Ansatz zur Erhöhung des Sicherheitsniveaus bei der Wiederverwendung von tragenden Bauteilen ist die Anpassung der Teilsicherheitsbeiwerte, was jedoch teilweise zu einer Überdimensionierung und damit zu einer Erhöhung des Ressourcenverbrauchs führt.

Angepasste Sicherheitsbeiwerte für wiederverwendete Bauteile führen zudem zu dem Problem, dass die Wiederverwendung bereits bei der Bemessung berücksichtigt werden muss. In der Praxis wird jedoch zwischen Bemessung und Materialbestellung ein erheblicher Zeitraum liegen, so dass zum Zeitpunkt der Bemessung in der Regel noch nicht feststeht, für welche Teile des Tragwerks wiederverwendete Bauteile eingesetzt werden. Dies führt entweder dazu, dass Bauteile überdimensioniert werden, weil bei der Bemessung eine Wiederverwendung vorgesehen wurde und am Ende kein geeignetes Bauteil zur Verfügung steht, oder dass die Wiederverwendung nicht zur Anwendung kommt, weil die Nachweise für neue Bauteile geführt werden.

Alternativ könnte zur Erhöhung des Sicherheitsniveaus für einzelne Nachweise die maximale Auslastung begrenzt werden (z. B. 90 % für den Stabilitätsnachweis). Diese

Vorgehensweise hätte den gleichen Einfluss auf das Sicherheitsniveau wie eine Erhöhung des Sicherheitsbeiwerts, würde aber den Bemessungsprozess nicht ändern.

SCI (2019) schlägt für den Knicknachweis für Stahl nach 1970 einen Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_{M1}=1,15$ vor, um die Unsicherheiten der Querschnittsimperfektionen, der Eigenspannungen und der Geradheitsmessung im Vergleich zur Geradheitsmessung bei der Neuproduktion von Stahl zu berücksichtigen. Zusätzlich wird die Erhöhung des Faktors mit der Unsicherheit des Widerstandsmodells und der daraus resultierenden Erhöhung des Sicherheitsindex von 3,8 auf 4,3 für eine 50-jährige Belastung begründet.

Während diese Vorgehensweise in Großbritannien zu einer Erhöhung des Sicherheitsbeiwertes γ_{M1} um 15 % (von 1,0 auf 1,15) führt, würde sich der Beiwert in Deutschland um 4,5 % (von 1,1 auf 1,15) erhöhen. Ob dieser geringe Sicherheitsaufschlag in Deutschland den erhöhten Aufwand rechtfertigt, ist zu hinterfragen. Alternativ könnte die Unsicherheit der Geradheitsmessung durch strenge Anforderungen an die Durchführung der Messung oder durch ein Vier-Augen-Prinzip reduziert werden. Um nicht in den Bemessungsprozess einzugreifen, wird vorgeschlagen, beim Stabilitätsnachweis einen maximalen Ausnutzungsgrad von 90 % zuzulassen.

Für Stahl vor 1970 wird in SCI (2023) basierend auf den Untersuchungen von SIA 269 (2011) ein Sicherheitsbeiwert von $\gamma_{M0}=1,05$ vorgeschlagen. Für γ_{M1} wird analog zu SCI (2019) 1,15 angesetzt. Allerdings basieren die Werte auf Untersuchungen von Stählen um 1900, während sich das in dieser Arbeit erarbeitete Vorgehen an Stähle ab 1945 richtet, weshalb hier keine Abminderung empfohlen wird. Für wiederverwendete Bauprodukte (besonders vor 1970) soll die Fähigkeit Fließgelenke auszubilden nicht in der Bemessung angesetzt werden.

7.2 Holzbau

7.2.1 Einführung

Eine Festigkeit oder eine Einstufung in eine Festigkeitsklasse im Zuge einer Reklassifikation sagt nicht grundsätzlich auch etwas darüber aus, wie lange ein wieder- oder weiterzuverwendendes Holzbauteil während der künftigen Nutzungsdauer (T_2) seine tragende Funktion zuverlässig erfüllen muss. Man darf nicht davon ausgehen, dass das Bauteil seine Belastungsgeschichte aus ständigen und veränderlichen Lasten während der ersten Nutzungsdauer (T_1) nach der Demontage „vergisst“. Bei einer Wieder- oder Weiterverwendung darf es daher nicht ohne Weiteres wie ein neues Bauteil bemessen werden. Bei genauerer Betrachtung erscheint es nahezu unmöglich, die für die Tragfähigkeit während der künftigen Nutzungsdauer abträglichen Effekte aus der Belastungsvorgeschichte genau abzuschätzen. Es wird daher an dieser Stelle ein pragmatischer Ansatz empfohlen, bei dem entweder auf der sicheren Seite liegend eine effektive künftige Nutzungsdauer ($T_{2,eff}$) abgeschätzt wird oder mit pauschal reduzierten Modifikationsbeiwerten k_{mod} -Werten bemessen wird. Beide Formate setzen Sachkunde

und Erfahrung bei der Untersuchung und Einschätzung der Tragfähigkeit von Holzbauteilen, d. h. die Behandlung durch eine mindestens fachkundige Person voraus.

7.2.2 Künftige Nutzungsdauer

Zunächst wird zwischen der effektiven künftigen Nutzungsdauer ($T_{2,\text{eff}}$) und der nominellen künftigen Nutzungsdauer ($T_{2,\text{nom}}$) eines Holzbauteils unterschieden. Legt man nach DIN EN 1990 (2021) eine als allgemein gesichert geltende Nutzungsdauer von 50 Jahren zugrunde, entspricht die nominelle künftige Nutzungsdauer der Differenz aus 50 minus der tatsächlichen ersten Nutzungsdauer (T_1), weil die zeitabhängigen natürlichen Abnutzungen bzw. Verschlechterungen prinzipiell von der tatsächlichen ersten Nutzungsdauer abhängen. Hierbei müssen Bauteile mit Schwachstellen, bedingt durch Bearbeitung für die Erstverwendung, und mit Verschlechterungen infolge nicht natürlicher Abnutzung und ab Demontage unberücksichtigt bleiben. Diesbezügliche Einflüsse auf die künftige Lebensdauer ließen sich mit dem nachfolgend vorgestellten Vorgehen nicht zuverlässig abschätzen. Auf Grundlage der Ergebnisse aus den baustofflichen und technischen Prüfungen darf unter gegebenen positiven Umständen die nominelle künftige Nutzungsdauer um eine entsprechende Prognose (T_p) um zusätzliche Jahre (+ n) verlängert werden. Liegen infolge natürlicher Abnutzung ausgeprägte Verschlechterungen vor, dann muss die nominelle künftige Nutzungsdauer um entsprechende Jahre (- n) verkürzt werden. Einige Beispiele verdeutlicht hierzu Tabelle 23. Die Voraussetzungen für die Abschätzung der effektiven künftigen Nutzungsdauer sind vor allem dann gegeben, wenn die tatsächliche erste Nutzungsdauer sehr kurz war und zeitabhängige natürliche Abnutzungen in nennenswertem Maße noch nicht eingetreten sind. Ein Beispiel dafür könnte das im Zuge der Sanierung und Erweiterung des Badischen Staatstheaters errichtete provisorische Entrée werden, siehe Abbildung 52, das 2021/2022 in Betrieb genommen wurde. In der Dachkonstruktion kamen parallelgurtige Brettschichtholzbinder zum Einsatz, die nach dem Rückbau eine relativ kurze erste Nutzungsdauer mit vergleichsweise kontrolliertem Raumklima, während der ersten Nutzungsdauer, aufweisen werden. Davon konnte man beispielsweise beim Pavillon KA300 trotz der sehr kurzen ersten Nutzungsdauer aufgrund der freien Bewitterung nicht ausgehen, siehe Abschnitt 4.2.

Tabelle 23: Künftige Nutzungsdauer in Jahren

T_1	$T_{2,\text{nom}}$	T_p	$T_{2,\text{eff}}$
≤ 10	40	+/- n	40 + n
> 10 und ≤ 20	30	+/- n	30 + n
usw.			
> 50 ^a	0	+ n	n

^a vgl. DIN EN 1990 (2021), Tab. 2.1



Abbildung 52: Provisorisches Entrée während des Umbaus des Badischen Staatstheaters, Quelle: Badisches Staatstheater Karlsruhe, Fotograf: Arno Kohlem

7.2.3 Angepasste Modifikationsbeiwerte

Als Alternative zur Berechnung einer effektiven künftigen Nutzungsdauer, die in vielen Fällen aus Erfahrung noch etliche Jahrzehnte bisweilen Jahrhunderte beträgt, kann auch mit herabgesetzten Modifikationsbeiwerten gearbeitet werden. Damit wird die Ausnutzung des wiederzuverwendenden Holzbauteils entsprechend angepasst, so dass zeitlich uneingeschränkt für eine Nutzungsdauer von z. B. mindestens 50 Jahren ein weiteres Mal bemessen werden kann.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes lagen nach Kenntnis der Autoren noch keine ausreichenden wissenschaftlichen Untersuchungen und technisch-wissenschaftlichen Erkenntnisse vor, die tatsächlich einen Stand der Technik zu angepassten Modifikationsbeiwerten für eine abermalige Bemessung von wieder- und weiterzuverwendenden Bauteilen aus Holz- und Holzwerkstoffen begründen. Die folgenden, auf Experteninterviews und einer Literaturrecherche basierenden Erläuterungen lassen jedoch auf eine Tendenz schließen.

Die Zuverlässigkeit von Holzbauteilen ist nur dann invariant, solange kein Schädigungsmechanismus eingetreten ist. Eine Akkumulation von Schäden in Holzbauteilen verläuft in der Regel hochgradig nichtlinear. Nur Beanspruchungen, die zu hohen Ausnutzungsgraden führen, werden einen signifikanten Effekt auf eine Schadensakkumulation haben (Köhler 2006). Aufgrund der materialbedingten Streuung der Festigkeitsparameter liegen die tatsächlichen Festigkeiten von Holzbauteilen zum Großteil deutlich über den rechnerisch angenommenen Festigkeiten (5 %-Quantilwerten). In Kombination mit der Differenz zwischen den Bemessungslasten und den tatsächlich am Bauteil auftretenden Beanspruchungen ergibt sich, dass nur extreme Beanspruchungen einen Effekt im Sinne einer Schadensakkumulation haben werden.

Die etablierten Modelle zur Abbildung des Einflusses der Lasteinwirkungsdauer (duration-of-load, DOL-Effekt) weisen alle einen deutlich unterproportionalen Verlauf der Abminderung mit zunehmender Zeit auf. Im logarithmischen Maßstab aufgetragen, verläuft die Abminderung bei diesen Modellen annähernd linear, siehe Abbildung 53.

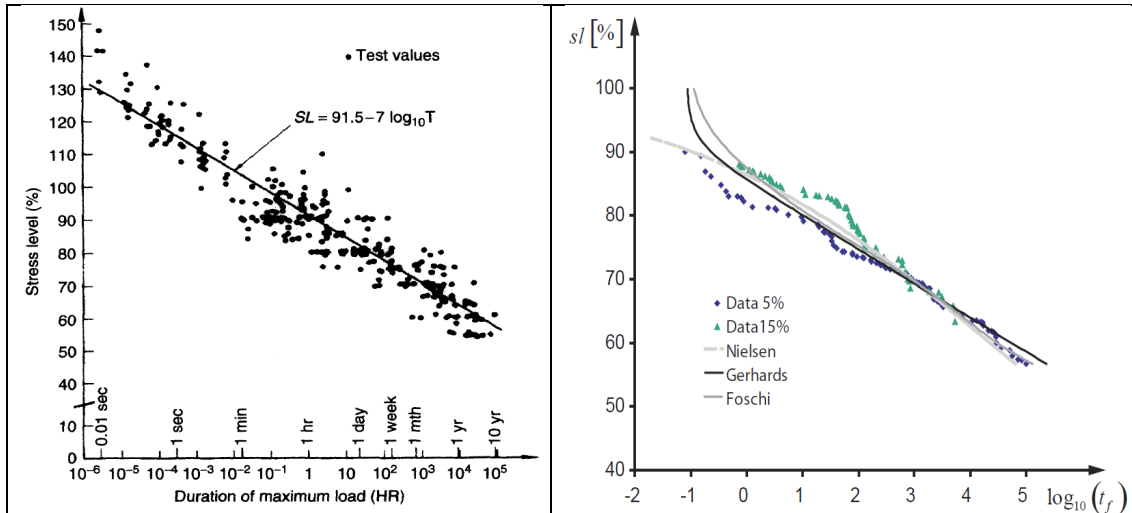


Abbildung 53: Beispiele für DOL-Kurven verschiedener Modelle, aufgetragen im logarithmischen Maßstab; links: aus Madsen, B. 1992, rechts aus Köhler, 2006 (Zeit in Stunden)

Dieser Zusammenhang ermöglicht eine vorsichtige lineare Extrapolation, die Crews et al. (2008) ihren Angaben zum DOL-Effekt im australischen *Industry Standard Recycled Timber* zugrunde legen. Unter der Voraussetzung einer Neusortierung von Altholz vor der Wiederverwendung können derart extrapolierte Modifikationsbeiwerte verwendet werden. Aus den DOL-Kurven lesen sie für Bauteile unter ständiger Last folgende Werte ab: $k_{50a} = 0,57$, $k_{100a} = 0,53$ und $k_{200a} = 0,48$. Damit schlagen sie bei einer Wiederverwendung eine Abminderung des Modifikationsbeiwertes für *ständige* Lasten von 10 % und für Lasten der Einwirkungsdauer *mittel*/sehr geringe Werte im einstelligen Prozentbereich vor (2 %).

Die Bestimmung von Modifikationsbeiwerten k_{mod} nach Eurocode 5 erfordert die Festlegung einer Nutzungsklasse (NKL) und der Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED). Die den wissenschaftlich abgesicherten DOL-Modellen zugrundeliegende Annahme einer linearen Schadensakkumulation ermöglicht es, die Lasteinwirkungsdauer im maßgebenden Lastfall der früheren Nutzung und die maßgebende Lasteinwirkungsdauer der erneuten Nutzung eines wiederzuverwendenden Bauteils zu addieren. Unter Zugrundelegung des annähernd linearen Zusammenhangs zwischen Abminderung und Lasteinwirkungsdauer, letztere im logarithmischen Maßstab angetragen, ließen sich mittels dieser (verlängerten) Lasteinwirkungsdauer $KLED_{reuse}$ auch Modifikationsbeiwerte $k_{mod, reuse}$ bestimmen. Diesem Ansatz folgend sind Modifikationsbeiwerte für eine Bemessung von wiederzuverwendenden Holzbauteilen, $k_{mod, reuse}$, nach Gleichung (2), mit dem Abminderungsbeiwert $k_{red, reuse}$ zu ermitteln. Die Beanspruchbarkeit des wiederzuverwendenden Holzbauteils wird mit diesem Ansatz entsprechend angepasst, so dass zeitlich uneingeschränkt für eine Nutzungsdauer von z. B. mindestens 50 Jahren ein weiteres Mal bemessen werden kann.

$$k_{\text{mod, reuse}} = k_{\text{red, reuse}} \cdot k_{\text{mod}} \quad (7.1)$$

Dabei ist

$k_{\text{red, reuse}} = 1,00$ für KLED: (sehr) kurz, mittel, in der bisherigen und/oder erneuten Nutzung

$k_{\text{red, reuse}} = 0,90$ für KLED: ständig, lang, in der bisherigen und/oder erneuten Nutzung

Bei der praktischen Anwendung ergeben sich Fragen aus der Tatsache, dass sowohl die für die Bemessung maßgebende Klasse der Lasteinwirkungsdauer KLED der Erstnutzung als auch die Klasse der Lasteinwirkungsdauer der erneuten Nutzung des wiederverwendeten Bauteils in die Bewertung einzubeziehen sind. Im Rahmen der Bemessung für die erneute Nutzung ist k_{mod} unter Ansatz der ungünstigeren KLED aus bisheriger oder erneuter Nutzung zu verwenden.

In manchen Fällen wird die maßgebende Lasteinwirkungsdauer der Erstnutzung nicht mehr sicher bestimmt werden können. Der Großteil der heutzutage einer Wiederverwendung zugeführten Bauteile (z. B. Dachsparren, Deckenbalken) wird im Rahmen der Erstnutzung keinen lang andauernden Beanspruchungen ausgesetzt gewesen sein, die zu so hohen Ausnutzungsgraden führten, dass diese einen signifikanten duration-of-load-Effekt hatten. Sollte es jedoch Indizien geben, die auf hohe Lasten der Lasteinwirkungsdauern lang oder ständig hinweisen, sollte auf der sicheren Seite die KLED lang oder ständig angesetzt werden.

Trotz Ermangelung eines Standes der Technik zu angepassten Modifikationsbeiwerten für eine abermalige Bemessung von wieder- und weiterzuverwendenden Bauteilen aus Holz- und Holzwerkstoffen stützen folgende weitere Feststellungen die Annahme eines mit der Zeit abnehmenden DOL-Effektes.

- 1.) Die den Autoren bekannten Festigkeitsuntersuchungen von Werkstoffeigenschaften an altem Konstruktionsholz zeigten keine „Alterung“, siehe z. B. Görlacher & Eckert (1999).
- 2.) Weder in den Interviews mit Experten noch aus der Literatur ergaben sich Hinweise für Schäden aufgrund einer hohen Lasteinwirkungsdauer.
- 3.) Im Brückenbau werden die gleichen Modifikationsbeiwerte bisher unverändert mit einer Nutzungsdauer von 100 Jahren angewendet.
- 4.) Bereits in früheren Jahrhunderten wurde die Wiederverwendung von Holzbauteilen erfolgreich realisiert, ohne dass heute übliche Abminderungsbeiwerte Anwendung fanden.

Für eine Bestätigung dieser Tendenzen sollten Untersuchungen an Bauteilen durchgeführt werden, die lange Zeit hohen ständigen Beanspruchungen ausgesetzt waren. Trotz entsprechender Bemühungen konnten derartige Bauteile im Rahmen des Projektes nicht ausfindig gemacht werden. Nach Meinung der Autoren könnte dies auch

ein Hinweis darauf sein, dass diese Beanspruchungsart bei Holzkonstruktionen selten ist. Der aktuell überschaubare Kenntnisstand zu Modifikationsbeiwerten für ständige Lasten könnten in einem Folgeprojekt dahingehend erweitert werden, dass bestehende Nachrechnungen von Bestandstragwerken hinsichtlich ihrer Ausnutzung unter Dauerlast ausgewertet werden. Sofern mittels einer Nachsortierung die Festigkeitsklasse der alten Holzbauteile eingegrenzt werden kann (Bestätigung bzw. Ausschluss einer höheren Festigkeitsklasse als der Standardfestigkeit), könnte die Bestimmung des Ausnutzungsgrades unter ständigen Lasten genutzt werden, eine untere Grenze des Modifikationsbeiwertes in Abhängigkeit des Bauteilalters zu bestimmen. Die Unsicherheit bezüglich der Streuung der Materialeigenschaften könnte durch die oft große Anzahl gleichartiger Bauteile (z. B. Sparren in einem alten Dachstuhl) eingegrenzt werden.

Es ist wichtig festzuhalten, dass eine ausschließliche Betrachtung der Nutzungsdauer bzw. Belastungsdauer bei der Bemessung von Holzbauteilen für die Wiederverwendung nicht ausreichend ist. Weitere Faktoren wie das bisherige und zukünftige Umgebungsklima und die bisherige und zukünftige Belastungsart sind mit in die Betrachtung einzubeziehen.

8 Zusammenfassung, Ausblick und Forschungsbedarf

8.1 Zusammenfassung

Eine Wiederverwendung tragender Bauteile ist im Bauwesen aktuell nicht vorgesehen. Trotz zunehmender Appelle, unser Verhalten im Zeichen der Klima- und Rohstoffkrise zu überdenken, entspricht die Entsorgung nicht mehr benötigter Bauteile weiterhin dem üblichen Vorgehen. Der überwiegende Teil von Holzbauteilen wird nach dem Abbruch der Verbrennung zugeführt. Stahlschrott aus dem Abbruch wird üblicherweise unter hohem Energieeinsatz eingeschmolzen und zu neuem Stahl recycelt.

Um Ressourcen zu schonen, den Energieverbrauch zu minimieren und Treibhausgasemissionen zu reduzieren, sollte so viel Wertschöpfung wie realisierbar, möglichst lange erhalten bleiben. Oberstes Ziel muss es daher sein, Bauwerke zu erhalten. Ist dies im Einzelfall nicht (sinnvoll) realisierbar, ist die Wieder- bzw. Weiterverwendung von gebrauchten Bauteilen in neuen Bauwerken dem Recycling, der thermischen Verwertung oder der Deponierung vorzuziehen.

Der vorliegende Forschungsbericht betrachtet die technische Seite der Wiederverwendung von tragenden Bauteilen. Dargestellt werden Inhalte und Vorgehensweise der Bestandsanalyse von verbauten Holz- und Stahlbauteilen sowie die wichtigsten Aspekte eines schonenden Rückbaus. Minimalinvasive Verfahren zur Reklassifikation wieder- oder weiterzuverwendender Bauteile werden erläutert, ergänzt durch Ansätze zur Aufbereitung dieser Bauteile. Zur Ermöglichung einer sicheren Wiederverwendung von tragenden Bauteilen werden Empfehlungen zu Einschränkungen oder zur Anpassung spezifischer Bemessungsregeln gegeben. Anforderungen aus dem Bauprodukten- und Abfallrecht usw. werden nicht behandelt.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird ein *Leitfaden zur Wiederverwendung tragender Bauteile* vorgeschlagen. Dieser bietet ein strukturiertes Vorgehen, das ausgehend von der Bestandsaufnahme vor dem Rückbau anhand von minimalinvasiven Prüfverfahren und reduzierten Aufbereitungsmaßnahmen sowie spezifisch angepassten Bemessungsregeln die sichere Wiederverwendung von tragenden Bauteilen ermöglicht.

Ausschließliches Altern ändert die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Holzbauteilen nicht. Allerdings unterliegen Bauteile aus Holz während der Herstellung und Nutzung natürlichen und nicht natürlichen Abnutzungen, die einen Einfluss auf ihre technischen Eigenschaften haben können. Gebrauchte Holzbauteile können daher nicht grundsätzlich wie neue Bauteile behandelt werden. Die Auswirkung natürlicher und nicht natürlicher Abnutzung sind im Rahmen der Reklassifikation und Bemessung zu beachten, unterstützend können ggfs. Aufbereitungsmaßnahmen durchgeführt werden. Was zunächst wie ein Hemmnis klingt, stellt gleichzeitig einen besonderen Reiz des zirkulären Bauens dar. Dieser liegt in der Erfordernis eines angepassten Entwurfs und der konsequenten Nutzung gebrauchter Baustoffe begründet.

Moderne korrosionsgeschützte Stahlbauteile, die vorwiegend statisch beansprucht werden, verändern ihre Eigenschaften mit der Zeit nicht. Daher wurden für einzelne Werkstoffeigenschaften konservative Annahmen erarbeitet, die für Stahlbauteile in Abhängigkeit des zugehörigen Baujahrs angesetzt werden können. Da pauschale konservative Annahmen für sämtliche Werkstoffeigenschaften zu einer Potentialverschwendung und einem erhöhten Stahlbedarf führen würden, wird eine Prüfsystematik vorgestellt, die in Abhängigkeit der vorhandenen Informationen über das Spenderbauwerk und die Anwendung im neuen Bauwerk einen spezifischen Prüfumfang für die Bauteile definiert. Über die hierin vorgegebenen Prüfungen können alle erforderlichen bemessungsrelevanten Eigenschaften ermittelt werden.

8.2 Ausblick und Forschungsbedarf

Die Ergebnisse dieses Forschungsberichtes werden als Leitfaden zur Verfügung gestellt. Der Leitfaden soll Planer:innen, Gutachter:innen und Behörden bei der Anwendung der Wiederverwendung tragender Bauteile in Einzelbauvorhaben unterstützen, indem er ihnen eine Hilfestellung beim bauordnungsrechtlichen Verfahren zur Erlangung von bauaufsichtlichen Ver- bzw. Anwendbarkeitsnachweisen bietet. Der Erfahrungsgewinn aus der Umsetzung dieser Pilotprojekte soll die Grundlage für die zukünftige Entwicklung der technischen Regelwerke sein.

Nicht alle Aussagen des Berichts sind auf sämtliche Stahl- und Holzbauteile übertragbar. Auf der Stahlseite lag der Schwerpunkt der Untersuchungen auf Walzprofilen. Für Hohlprofile, Schrauben, Trapezbleche galten über die vergangenen Jahrzehnte teilweise abweichende Anforderungen, die nicht betrachtet wurden. Da die konservativen Annahmen auf Vorgaben in historischen Regelwerken basieren und diese in diesem Forschungsvorhaben nur für den Geltungsbereich Westdeutschland ausgewertet wurden, ist die Übertragbarkeit der hier vorgestellten Ergebnisse auf das gesamte Bundesgebiet für Stahlbauteile erst ab 1990 und eine Übertragbarkeit auf Europa ab dem Zeitpunkt der verbindlichen Einführung der Eurocodes gegeben. Für eine möglichst breite Wiederverwendung von Stahlbauteilen sollte an der Übertragbarkeit und Anpassung der Ergebnisse auf ganz Europa und die Erweiterung auf weitere Arten von Stahlbauteilen gearbeitet werden, indem die entsprechenden nationalen historischen Regelwerke nach den gleichen Prinzipien ausgewertet werden.

Bei Holzbauteilen lag der Fokus auf Nadel-schnittholz und Brettschichtholz aus Nadelholz. Für keilgezinktes Vollholz und Brettschichtholz mit Universal-Keilzinkenverbindungen sollten in einem nächsten Schritt Festlegungen zur Bewertung der (Universal-) Keilzinkenverbindungen ergänzt werden. Arbeiten zur Auswirkung von im Inneren von Brettschichtholz vorhandenen Rissen wären vertrauensbildend mit Blick auf die zuverlässige Wiederverwendung von Brettschichtholzbauteilen. Mittelfristig ist anzustreben, die Auswirkung der zum einen verlängerten Belastungsdauer und zum anderen durch die Wiederverwendung veränderlichen Belastungsgeschichte auf die Beanspruchbarkeit (d. h. den Modifikationsbeiwert k_{mod}) und die Langzeitverformung (d. h. den Kriechbeiwert k_{def}) präziser zu quantifizieren. Nicht betrachtet wurde die Ermittlung von Holzschutzmitteln. Eine im Vergleich zu heute schnellere und präzisere

Ermittlung vorhandener Holzschutzmittel würde helfen, ein zentrales Hemmnis in der Wiederverwendung von Holzbauteilen abzubauen.

Je mehr Informationen über die Spenderbauwerke vorliegen, desto weniger Prüfungen müssen an den Bauteilen durchgeführt werden. Während bei einer heutigen Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen in der Regel nur sehr wenige Informationen vorliegen, kann in Zukunft durch die langfristige und sichere Speicherung der relevanten Bauteil- und Werkstoffeigenschaften der erforderliche Prüfumfang auf ein Minimum reduziert werden. Dies würde die Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz dieser Vorgehensweise deutlich erhöhen. Es sollte daher zügig an einem Verfahren zur einheitlichen und langzeitsicheren Datenspeicherung der relevanten Materialeigenschaften gearbeitet werden.

Die Wieder- und Weiterverwendung von Bauteilen sind keine technischen Nischendisziplinen, sondern gesamtgesellschaftliche Aufgaben, deren Bewältigung eine Anpassung oder Änderung bislang gebräuchlicher Vorgehensweisen verlangt. Die Lösung dieser gesamtgesellschaftlichen Aufgabe wird umso wirkungsvoller sein, je schneller ein Umdenken der Planer:innen in Bezug auf den Einsatz gebrauchter tragender Bauteile und eine entsprechende Akzeptanz auf Bauherrenseite erfolgen.

Literaturverzeichnis

- Abegg & Streiff (2021) Abegg, A., Streiff, O. (2021). Die Wiederverwendung von Bauteilen. Ein Überblick aus rechtlicher Perspektive. Dike Verlag, Zürich
- Aicher (2012) Aicher, S. (2012). Langzeitbeständigkeit und Sicherheit Harnstoffharzverklebter tragender Holzbauteile. Abschlussbericht zum DIBT-Forschungsvorhaben ZP 52-5- 13.179-1246/07. Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart, Stuttgart
- ARGEBAU (2006) ARGEBAU (2006). Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten. Bauministerkonferenz-Konferenz der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Senatoren der Länder. Abgedruckt im Deutschen Ingenieurblatt 11. Bundesingenieurkammer, Berlin
- ARGEBAU (2013) ARGEBAU (2013). Hinweise zur Einschätzung von Art und Umfang zu untersuchender harnstoffharzverklebter Holzbauteile auf mögliche Schäden aus Feuchte- oder Temperatureinwirkungen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten. Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz. DIBt-Newsletter 3/2013. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- ASTM E399 (2017) ASTM E399 (2017). Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness K_{Ic} of Metallic Materials. American Society for Testing and Materials
- LfU (2019) LfU (2019). Rückbau schadstoffbelasteter Bausubstanz: Arbeitshilfe Rückbau: Erkundung, Planung, Ausführung. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Referat 35, Augsburg
- Berg (2007) Berg, A. (2007). Die Behandlung von Gefahrstoffen im Korrosionsschutz. Vortrag im Haus der Technik, Essen
- Beguín et. al (2000) Beguín, P., Bosschaerts, M., Dhaussy, D., Pankert, R., Gilles, M. (2000). Galveco, A Solution for galvanizing reactive steel
- Bettels (2020) Bettels, L. (2020). Deutsche Bauzeitung. Ausgabe 01/2020. Digitalisierung. BDB Bund Deutscher Baumeister, Architekten und Ingenieure e.V., Berlin
- Bisinger (2023) Bisinger, F. (2023). Beitrag zur Kreislaufwirtschaft im Holzbau - technische Vorschläge zur Wieder- und Weiterverwendung von Bauteilen. Masterarbeit. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe

- Blaß & Frese (2004) Blaß, H. J., Frese, M. (2004). Sortierverfahren für die kombinierte maschinelle und visuelle Festigkeitssortierung. Holz als Roh- und Werkstoff 62, S. 325-334
- BMI (2019) BMI (2019). Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Hrsg.: Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
- BMU (2020) BMU (2020). Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III - 2020 bis 2023. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
- BMWK (2022) BMWK (2022). Pressemitteilung - Neubauförderung für energieeffiziente Gebäude startet wieder - Budget von 1 Mrd. Euro steht zur Verfügung. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
- Brandes (2008) Brandes, K. (2008). Eigenschaften alter Eisen und Stähle und ihre adäquate Materialprüfung und Bewertung, Bautechnik 85 (2008), Heft 6, S.394-406
- Breitschaft & Ulbrich (2006) Breitschaft, G., Ulbrich, D. (2006). Rissbildung in feuerverzinkten Stahlkonstruktionen. DIBt-Mitteilungen 37
- Brandner & Ottenhaus (2022) Brandner, R., Ottenhaus, L.; Properties of salvaged structural timber components: How to account for long-term loading effects given unknown load histories? In: Palma, P., Fink, G. (eds.); Design for robustness, adaptability, disassembly and reuse, and reparability of taller timber buildings: a state of the art report, COST Action CA 20139, 2022.
- Brux (2013) Brux, G. (2013). Brandschutzbeschichtungen auf Stahl - Haltbarkeit und Weiterentwicklungen. Stahlbau 82, H. 2, S. 142-144
- Buttermann (2023) Buttermann, S. (2023). Einfluss von Schadstoffen auf die Wiederverwendung von Holzbauteilen. Bachelorarbeit. Technische Universität München, München
- CEN/TC 135 (2023) CEN/TC 135 (2023). Execution of steel structures and aluminium structures - Reuse of structural steel
- Concular (2024) Concular (2024). URL: <https://concular.de/> (Abgerufen am 12.3.2024)
- CR 10320 (2004) CR 10320 (2004). Optical emission analysis of low alloy steels (routine method) - Method for determination of C, Si, S, P, Mn, Cr, Ni and Cu
- Crews et al. (2008) Crews, K., Hayward, D. MacKenzie, C (2008). Interim Industry Standard Recycled Timber–Visually Stress Graded Recycled Timber for Structural Purposes. Methods 61
- DAST (1981) DAST (1981). Empfehlungen zum Vermeiden von Terrassenbrüchen in geschweißten Konstruktionen aus Baustahl, DAST-Richtlinie 014, Deutscher Ausschuss für Stahlbau

- DAST-Richtlinie 009 (1973) DAST-Richtlinie 009 (1973). Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütegruppen für geschweißte Stahlbauten
- DAST-Richtlinie 009 (2005) DAST-Richtlinie 009 (2005). Stahlsortenwahl für geschweißte Stahlbauten
- Dechantsreiter et al. (2015) Dechantsreiter, U., Horst, P., Mettke, A., Asmus, S., Schmidt, S. Knappe, F., Reinhardt, J., Theis, S., Lau, J. J. (2015). Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertiger Verwertung von Baustoffen. TEXTE 93/2015. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- Deutsche Reichsbahn Gesellschaft (1937) Deutsche Reichsbahn Gesellschaft (1937). Technische Lieferbedingungen für Baustahl St 52 und Nietstahl St 44
- Deutscher Stahlbau-Verband (1999) Deutscher Stahlbau-Verband (1999). Richtlinie: Korrosionsschutz von Stahlbauten in atmosphärischen Umgebungsbedingungen durch Beschichtungssysteme. Institut für Stahlbau Leipzig GmbH, Düsseldorf
- Devènes et al. (2022) Devènes, J. Bastien-Masse, M., Fivet, C. (2022). Bestandsanalyse für die Wiederverwendung von tragenden Stahlbetonbauteilen. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) und Immobilien Basel-Stadt (IBS), Fribourg und Basel
- Devlieger (2018) Devlieger, L. (2018). Architektur im Rückwärtsgang. Bauwelt 14, S. 32-37
- DIBt (1998) DIBt (1998). Zulassungsgrundsätze für reaktive Brandschutzsysteme auf Stahlbauteilen. Deutsches Institut für Bautechnik. Erschienen in DIBt-Mitteilungen 4/1998. Ernst & Sohn Verlag, Berlin
- Dietsch & Köhler (2010) Dietsch, P., Köhler, J. (2010). Assessment of Timber Structures: COST Action E55 "Modelling of the Performance of Timber Structures". Shaker, Aachen
- Dietsch & Winter (2009) Dietsch, P., Winter, S. (2009). Assessment of the Structural Reliability of all wide span Timber Structures under the Responsibility of the City of Munich. In IABSE Symposium 2009, S. 322–323
- Dillinger et al. (2023) Dillinger J., Ignatowitz, E., Oesterle, S., Reißler, L., Vetter, R., Escherich, W., Wieneke, F., Stephan, A., Burmester, J. (2023). Fachkunde Metall. Europa-Fachbuchreihe für metalltechnische Berufe. Europa-Lehrmittel Nourney Vollmer GmbH & Co. KG., Haan-Gruiten
- Dilthey (2004) Dilthey, U. (2004). Schweißtechnische Fertigungsverfahren 2: Verhalten der Werkstoffe beim Schweißen. Springer Berlin, Heidelberg

- DIN 10164 (2018) DIN 10164 (2018). Stahlerzeugnisse mit verbesserten Verformungseigenschaften senkrecht zur Erzeugnisoberfläche. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 1050 (1937) DIN 1050 (1937). Berechnungsgrundlagen für Stahl im Hochbau. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 1052 (1988) DIN 1052 (1988). Holzbauwerke – Berechnung und Ausführung. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 1076 (1999) DIN 1076 (1999). Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen - Überwachung und Prüfung. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 1076 (1999) DIN 1076 (1999). Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen - Überwachung und Prüfung. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 1612 (1924) DIN 1612 (1924). Flußstahl gewalzt - Formeisen, Stabeisen, Breiteisen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 14011 (2018) DIN 14011 (2018). Feuerwehrwesen - Begriffe. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 17100 (1957) DIN 17100 (1957). Allgemeine Baustähle. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 17100 (1966) DIN 17100 (1966). Allgemeine Baustähle. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 17100 (1980) DIN 17100 (1980). Allgemeine Baustähle – Gütenorm. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 18800 (1981) DIN 18800 (1981). Stahlbauten-Bemessung und Konstruktion. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 4074-1 (2012) DIN 4074-1 (2012). Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadelschnittholz. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 4100 (1934) DIN 4100 (1934). Geschweißte Stahlhochbauten. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 50049 (1992) DIN 50049 (1992). Metallische Erzeugnisse; Arten von Prüfbescheinigungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 50159 (2022) DIN 50159 (2022). Härteprüfung nach dem UCI-Verfahren - Teil 1: Prüfverfahren. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN CEN/TS 17440 (2020) DIN CEN/TS 17440 (2020). Bewertung und Ertüchtigung von bestehenden Tragwerken. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 10025 (1990) DIN EN 10025 (1990). Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen; Technische Lieferbedingungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 10025 (1994) DIN EN 10025 (1994). Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen; Technische Lieferbedingungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 10025-1 (2005) DIN EN 10025-1 (2005). Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 1: Allgemeine technische Lieferbedingungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin

- DIN EN 10025-2 (2019) DIN EN 10025-2 (2019). Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 10160 (1999) DIN EN 10160 (1999). Ultraschallprüfung von Flacherzeugnissen aus Stahl mit einer Dicke größer oder gleich 6mm (Reflexionsverfahren). Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 10164 (2018) DIN EN 10164 (2018). Stahlerzeugnisse mit verbesserten Verformungseigenschaften senkrecht zur Erzeugnisoberfläche. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 10204 (2005) DIN EN 10204 (2005). Metallische Erzeugnisse - Arten von Prüfbescheinigungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 10306 (2001) DIN EN 10306 (2001). Ultraschallprüfung von H-Profilen mit parallelen Flanschen und IPE-Profilen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 1090-2 (2018) DIN EN 1090-2 (2018). Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 14080 (2013) DIN EN 14080 (2013). Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 1990 (2002) DIN EN 1990 (2002). Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 1990 (2021) DIN EN 1990 (2021). Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 1991-1-7 (2010) DIN EN 1991-1-7 (2010). Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen - Außergewöhnliche Einwirkungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 1991-1-7/NA (2019) DIN EN 1991-1-7/NA (2019). Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen - Außergewöhnliche Einwirkungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 1993-1-10 (2010) DIN EN 1993-1-10 (2010). Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 301 (2023) DIN EN 301 (2023). Klebstoffe, Phenoplaste und Aminoplaste, für tragende Holzbauteile - Klassifizierung und Leistungsanforderungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 384 (2010) DIN EN 384 (2010). Bauholz für tragende Zwecke – Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte. Beuth Verlag GmbH, Berlin

- DIN EN 408 (2012) DIN EN 408 (2012). Holzbauwerke – Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz – Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 10209 (2012) DIN EN ISO 10209 (2012). Technische Produktdokumentation - Vokabular - Begriffe für technische Zeichnungen, Produktdefinition und verwandte Dokumentation. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 148-1 (2016) DIN EN ISO 148-1 (2016). Metallische Werkstoffe - Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy - Teil 1: Prüfverfahren. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 1461 (2022) DIN EN ISO 1461 (2022). Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebrauchte Zinküberzüge (Stückverzinken) - Anforderungen und Prüfungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 16859-1 (2016) DIN EN ISO 16859-1 (2016). Härteprüfung nach Leeb - Teil 1: Prüfverfahren. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 17636 (2022) DIN EN ISO 17636 (2022). Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Durchstrahlungsprüfung - Teil 1: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken mit Filmen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 17637 (2017) DIN EN ISO 17637 (2017). Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 17638 (2016) DIN EN ISO 17638 (2016). Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Magnetpulverprüfung. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 17640 (2018) DIN EN ISO 17640 (2018). Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Ultraschallprüfung - Techniken, Prüfklassen und Bewertung. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 18265 (2003) DIN EN ISO 18265 (2003). Metallische Werkstoffe - Umwertung von Härtewerten. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 18265 (2014) DIN EN ISO 18265 (2014). Metallische Werkstoffe - Umwertung von Härtewerten. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 2178 (2016) DIN EN ISO 2178 (2016). Nichtmagnetische Überzüge auf magnetischen Grundmetallen - Messen der Schichtdicke - Magnetverfahren. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 23279 (2017) DIN EN ISO 23279 (2017). Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Ultraschallprüfung - Charakterisierung von Inhomogenitäten in Schweißnähten. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 2360 (2017) DIN EN ISO 2360 (2017). Nichtleitende Überzüge auf nichtmagnetischen metallischen Grundwerkstoffen - Messen der Schichtdicke - Wirbelstromverfahren. Beuth Verlag GmbH, Berlin

- DIN EN ISO 2409 (2022) DIN EN ISO 2409 (2022). Beschichtungsstoffe - Gitterschnittprüfung. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 3452-1 (2021) DIN EN ISO 3452-1 (2021). Eindringprüfung - Teil 1: Allgemeine Grundlagen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 5817 (2014) DIN EN ISO 5817 (2014). Schweißen - Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) - Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 6270-2 (2018) DIN EN ISO 6270-2 (2018). Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit - Teil 2: Kondensation (Beanspruchung in einer Klimakammer mit geheiztem Wasserbehälter). Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 6506-1 (2023) DIN EN ISO 6506-1 (2023). Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Brinell – Teil1: Prüfverfahren (ISO/DIS6506-1:2023). Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 6507-1 (2024) DIN EN ISO 6507-1 (2024). Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Vickers – Teil 1: Prüfverfahren (ISO 6507-1:2023). Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 6508-1 (2022) DIN EN ISO 6508-1 (2022). Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Rockwell - Teil1: Prüfverfahren (ISO/DIS6508-1:2022). Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 6892-1 (2019) DIN EN ISO 6892-1 (2019). Zugversuch - Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 9227 (2022) DIN EN ISO 9227 (2022). Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären - Salzsprühnebelprüfungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 9712 (2022) DIN EN ISO 9712 (2022). Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN SPEC 91484 (2023) DIN SPEC 91484 (2023). Verfahren zur Erfassung von Bauprodukten als Grundlage für Bewertungen des Anschlussnutzungspotentials vor Abbruch- und Renovierungsarbeiten (Pre-Demolition-Audit). Beuth Verlag GmbH, Berlin
- Durmisevic & Noort (2003) Durmisevic, E., Noort, N. (2003). Re-use potential of steel in building construction. In A. R. Chini, Deconstruction and Material Reuse. Rotterdam, Niederlande
- DVS (2022) DVS (2022). Lehrgangsunterlagen Internationaler Schweißfachingenieur. Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. Version 2022
- Ehlbeck et al. (1992) Ehlbeck, J., Görlacher, R., Kromer, M., Hättich, R. (1992). Informationen zur Berechnung von Holzkonstruktionen. Holzbau-Statik-Aktuell, Juli, Nr. 2

- EN 10029 (2010) EN 10029 (2010). Warmgewalztes Stahlblech von 3 mm Dicke an - Grenzabmaße und Formtoleranzen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- EN ISO 17637 (2016) EN ISO 17637 (2016). Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- EU (1988) EU (1988). Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte
- EU (2009) EU (2009). Richtlinie 2009/125/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte
- EU (2020) EU (2020). Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2020 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088 (Text von Bedeutung für den EWR)
- EU (2023) EU (2023). Kreislauffähige Bauprodukte: Rat und Parlament erzielen vorläufige Einigung
- Erläuterungen DIN 1052 (1969) Erläuterungen DIN 1052 (1969). Erläuterungen zu DIN 1052, Blatt 1 und 2 – Holzbauwerke – Ausgabe Oktober 1969. Arbeitsgemeinschaft Holz e. V. in Zusammenarbeit mit dem Bund Deutscher Zimmermeister (Hrsg.), Bruderverlag, Karlsruhe
- Europäische Kommission (2020) Europäische Kommission (2020). Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions A New Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe
- FCRBE (2020) FCRBE (2020). A guide for identifying the reuse potential of construction products before demolition. Working Draft version, 29 March 2020. Interreg NWE, Brüssel.
- Fouad (2011) Fouad, N. A. (2011). Bauphysik-Kalender 2011: Schwerpunkt: Brandschutz. Ernst & Sohn, Berlin
- Fouad (2012) Fouad, N. A. (2012). Bauphysik-Kalender 2012: Schwerpunkt: Gebäuediagnostik. Ernst & Sohn, Berlin
- Fouad (2023) Fouad, N. A. (2023). Bauphysik-Kalender 2023: Schwerpunkt: Nachhaltigkeit. Ernst & Sohn, Berlin
- Fürhapper (2023) Fürhapper, C. (2023). Altfenster: Hürden bei der Verwertung. Holz-Zentralblatt, Nr. 39, S. 6

- Gänßmantel & Horn (2012) Gänßmantel, J., Horn, K. (2012). Bauwerksdiagnostik: Ein wichtiger Faktor zur Qualitätssicherung bei der Werterhaltung und Sanierung von Gebäuden. Bausubstanz 2, Teil 1, S. 34–40
- GefStoffV (2010) GefStoffV (2010). Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV). Bundesministerium der Justiz, Bundesamt für Justiz, Berlin
- Geißler & Graße (2006) Geißler, K., Graße, W. (2006). Bewertung bestehender Stahlbrücken – Eisen und Stahl - Materialeigenschaften, Stahlbau-Kalender 2006, S.504-513
- Glos & Henrici (1990) Glos, P., Henrici, D. (1990). Festigkeit von Bauholz bei hohen Temperaturen – Abschlussbericht 87505. Institut für Holzforschung Universität München, München
- Görlacher (1987) Görlacher, R. (1987). Zerstörungsfreie Prüfung von Holz: Ein „in situ“-Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte. Holz als Roh- und Werkstoff 45, S. 273-278
- Görlacher & Eckert (1999) Görlacher, R., Eckert, H. (1999). Historische Holztragwerke – Untersuchen, Berechnen und Instandsetzen. Sonderforschungsbereich 315 „Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke“ Universität Karlsruhe
- Graf von Stillfried-Rattonitz (2023) Graf von Stillfried-Rattonitz, A. (2023). Potenzialanalyse zur Wieder- und Weiterverwendung von tragenden Holz- und Stahlbauteilen. Bachelorarbeit. Technische Universität München, München.
- Grüne & CDU (2021) Grüne, CDU (2021). Jetzt für Morgen - Der Erneuerungsvertrag für Baden-Württemberg
- Hafentechnische Gesellschaft e.V. (2015) Hafentechnische Gesellschaft e.V. (2015). Handbuch des Korrosionsschutzes durch organische Beschichtungen für Stahl im Wasserbau, Hamburg
- Hauke et al. (2021) Hauke, B., Lemaitre, C., Röder, A. (2021). Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Klimaschutz. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin
- Helmerich (2005) Helmerich, R. (2005). Alte Stähle und Stahlkonstruktionen: Materialuntersuchungen, Ermüdungsversuche an originalen Brückenträgern und Messungen von 1990 bis 2003. BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven
- Hensen (1992) Hensen, W. (1992). Grundlagen für die Beurteilung der Weiterverwendung alter Stahlbrücken. Dissertation. Bd. 21. Schriftenreihe Lehrstuhl für Stahlbau. RWTH Aachen
- Hillebrandt et al. (2021) Hillebrandt, A., Riegler-Floors, P., Rosen, A., Seggewies, J.-K. (2021). Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Edition Detail. Detail Business Information GmbH, München

- Hitachi (2024) Hitachi (2024). Wie funktioniert Funkenspektrometrie (OES)? Online verfügbar: <https://hha.hitachi-hightech.com/de/blogs-events/blogs/2017/10/25/optische-emissionspektrometrie/>. Zuletzt geprüft: 27.03.2024
- Holzbau-Taschenbuch (1957) Holzbau-Taschenbuch (1957). Holzbau-Taschenbuch. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin
- Indefrey (2013) Indefrey, A. (2013). Thermomechanisches Materialverhalten von Nadelholz. Masterarbeit. Technische Universität München, München
- IBU (2018) IBU (2018). Umwelt-Produktdeklarationen für Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche. Institut Bauen und Umwelt (IBU), Berlin
- ISO 19272 (2015) ISO 19272 (2015). Legierte Stähle - Bestimmung von fünfzehn Elementen - Optische Emissionsspektrometrie mit Glimmentladung
- ISO 4968 (2022) ISO 4968 (2022). Steel - Macrographic examination by sulphur print (Baumann method)
- John & Stark (2021) John, V., Stark, T. (2021). Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten (RE-USE). Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), Bonn
- Knobloch et al. (2024) Knobloch, M., Uszball, S., Bours, A.-L., Röscher, S., Steinhoff, S. (2024). Der neue Normengeneration Eurocode 3 und weitere Entwicklungen im Stahlbau. Unveröffentlichter Vortrag. Karlsruher Institut für Technologie. Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine. KIT Stahl- und Leichtbau. Stahlbauforum 2024, Karlsruhe
- Kooperatives Baustofflabor (2022) Kooperatives Baustofflabor (2022). Kooperatives Baustofflabor für nachhaltige Material-Kreisläufe. Abstract Band, Online-Seminar 11. Oktober 2022, Wien
- Köhler (2006) Köhler, J. (2006). Reliability of Timber Structures, Dissertation, ETH Zurich
- KrWG (2020) KrWG (2020). Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG)
- Kuhlmann (2023) Kuhlmann, U. (2023). Stahlbau Kalender: 25. Jahrgang. Stahlbau-Kalender 2023: Werkstoffe, Verbindungen. Ernst & Sohn
- Kuhnhenne et al. (2021) Kuhnhenne, M., Janczyk, K., Hradil, P., Sansom, M., Kesti, J., Ungureanu, V., Dehan, V., Kamrath, P. (2021). Wiederverwendung im Stahlbau und Metalleichtbau in Europa. In: Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Klimaschutz: Konstruktive Lösungen für das Planen und Bauen: Aktueller Stand der Technik, S. 214-227. Ernst & Sohn, Berlin

- Küpfer & Fivet (2021) Küpfer, C., Fivet, C. (2021). Selektiver Rückbau - Rückbaubare Konstruktion: Studie zur Förderung der Abfallreduktion und der Wiederverwendung in der Baubranche. Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne, Lausanne/Freiburg
- Langenberg (1996) Langenberg, P. (1996). Bruchmechanische Sicherheitsanalyse anrissgefährdeter Bauteile im Stahlbau. Dissertation. Berichte aus dem Institut für Eisenhüttenkunde. Shaker, Aachen
- LBV (2023) LBV (2023). Wiederverwendung von Stahlbauteilen. (Wiederverwendung Stahl - 03.04.2023). Landesamt für Bauen und Verkehr, Außenstelle Cottbus, Bautechnisches Prüfam, Cottbus
- Lampugnani (2023) Lampugnani, V. M. (2023). Gegen Wegwerfarchitektur. Verlag Klaus Wagenbach, Berlin
- Lignatec (2023) Lignatec (2023). Wiederverwertung von Bauholz für tragende Zwecke. Lignatec-Mitteilung 36/2023
- Link (2023) Link, F. (2023). Wiederverwendung von tragenden Holzbauteilen - Entwicklung einer Methodik für die Bestandsanalyse. Masterarbeit. Technische Universität München, München
- Loebjinski (2021) Loebjinski, M. (2021). Bewertung der Tragfähigkeit von Holzkonstruktionen beim Bauen im Bestand - Ein Beitrag zur substanzschonenden Erhaltung von bestehenden Gebäuden. Dissertation. Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Brandenburg
- Madsen (1992) Madsen, B. (1992). Structural behavior of timber. Timber Engineering Ltd
- MBO (2002) MBO (2002). Musterbauordnung - MBO. Zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 27.09.2019
- Meetz et al. (2015) Meetz, M., Mettke, A., Liesemeier, B., Schmidt, S., Verheyen, F. (2015). Brandenburger Leitfaden für den Rückbau von Gebäuden (Broschüre). Hrsg.: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg
- Möhler & Steck (1980) Möhler, K., Steck, G. (1980). Untersuchungen über die Rissbildung in Brettschichtholz infolge Klimabeanspruchung. Bauen mit Holz 82, Nr. 4, S. 194-200
- Müller (2003) Müller, KP. (2003). Praktische Oberflächentechnik: Vorbehandeln - Beschichten - Beschichtungsfehler - Umweltschutz. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden
- Müller & Moser (2022) Müller, D., Moser, D. (2022). Rückbau und Wiederverwendung von Holzbauten. Studie, durchgeführt von PIRMIN JUNG Schweiz AG, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern

- MVR (2021) MVR (2021). Återbruk av stål i bärande konstruktioner Krav- & Processbeskrivning, Mekaniska Verkstädernas Riksförbund
- Padalkina et al. (2023) Padalkina, D., Schäufele, J., Teuffel, P. (2023). Geschäftsmodelle für zirkuläres Bauen und Sanieren. Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.), Berlin
- PD CEN/TR 10261 (2023) PD CEN/TR 10261 (2023). Iron and steel. European standards for the determination of chemical composition
- Platform on sustainable finance (2022) Platform on sustainable finance technical working group – Part Platform on sustainable finance (2022). B: Annex: Technical Screening Criteria (Entwurf)
- PROGRESS (2020) PROGRESS (2020). Provisions for a Greater Reuse of Steel Structures, Final Report," European Commission, Research Fund for Coal and Steel, Brüssel
- Ramuz (2016) Ramuz, M. (2016). Handbuch Holz: Material, Bearbeitung, Restaurierung. Bassermann, München
- RBBau (2021) RBBau (2021). Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin
- RI-ERH-KOR (2006) RI-ERH-KOR (2006). Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin
- Risse & Richter (2018) Risse, M., Richter, K. (2018). CaReWood – Cascading Recovered Wood - Teilvorhaben: Ökologische und ökonomische Bewertung der kaskadischen Holznutzung. Schlussbericht der Technischen Universität München, München
- Ruge (1993) Ruge, J. (1993). Handbuch der Schweißtechnik. Band II: Verfahren und Fertigung. Springer Berlin, Heidelberg, Berlin, Heidelberg
- Ruge & Wohlfahrt (2013) Ruge, J., Wohlfahrt, H. (2013). Technologie der Werkstoffe: Herstellung, Verarbeitung, Einsatz. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden
- Ryll (2023) Ryll, C. (2023). Upcycling lohnt sich – für Umwelt und Handwerk. Mikado, Nr. 5, S. 38-40
- RÜV (2008) RÜV (2008). Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin
- Schachinger (2020) Schachinger, ED. (2020). Bewertung der Schädigung von organischen Beschichtungen unter verschiedenen Umgebungsbedingungen mittels Elektrochemischer Impedanzspektroskopie. Dissertation. Johannes Kepler Universität Linz, Linz

- Scheifele (1954) Scheifele, BFH. (1954). Anstrichvorbereitung der Metalle: Neuere Erkenntnisse der Reinigung und Passivierung. *Materials and Corrosion*, 5(1), 5-10
- Schröder (2015) Schröder, F. (2015). Bauen im Bestand. Abbrucharbeiten: Grundlagen, Planung, Durchführung. Deutscher Abbruchverband e. V. (Hrsg.). Müller, Köln
- Schuster & Geier (2023) Schuster, S., Geier, S. (2023). circularWOOD Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), Bonn
- SCI (2019) SCI (2019). Structural steel reuse- assessment, testing and design principles, Steel construction Institute
- Sedlacek et al (2008) Sedlacek, G., Feldmann, M., Kühn, B., Tschickardt, D., Höhler, S., Müller, C., Hensen, W., Stranghöner, S., Dahl, W., Langenberg, P., Münstermann, S., Brozetti, J., Raoul, J., Pope, R., Bijlaard, F. (2008). Commentary and worked examples to EN 1993-1-10 'Material toughness and through thickness properties' and other toughness oriented rules in EN 1993: background documents in support the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes; joint report prepared under the JRC - EECS cooperation agreement for the evolution of Eurocode 3 (programme of CEN/TC 250)
- SIA 269/3 (2011) SIA 269/3 (2011). Maintenance of structures: Steel structures (SIA 269/3)
- Sieber (2016) Sieber, L. (2016). Zur Beurteilung der Sprödbruchgefährdung gelochter Stahltragwerke aus Flusstahl. Dissertation. Technische Universität Dresden, Dresden
- Sing (2023) Sing, N. (2023). Beurteilung der Wiederverwendbarkeit tragender Holzbauteile anhand mechanischer und physikalischer Eigenschaften. Bachelorarbeit. Technische Universität München, München
- SPD, Grüne, FDP (2021) SPD, Grüne, FDP (2021). Mehr Fortschritt wagen – Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021-2025 zwischen der sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), Bündnis 90 / die Grünen und den Freien Demokraten (FDP)
- Steckel (2024) Steckel, V. (2024). Auch Wiederverwendung bedeutet Innovation. *Holz-Zentralblatt*, Nr. 9, S. 152-155
- Steel recycling institute (2008) Steel recycling institute (2008). Steel recycling rates at a glance. Pittsburgh
- Stroetmann et al. (2017) Stroetmann, R., Sieber, L., Taras, A., Anders, J., Kuscher, G. (2017). Bewertung und Instandsetzung von Altstahlkonstruktionen. *Stahlbau Kalender 2017*. Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin

- Stötzel (1998) Stötzel, G. (1998). Verfahren zur Beurteilung der Sicherheit bei Weiterverwendung alter Stahlbrücken. Dissertation. Bd. 39. Stahlbau. Aachen: Shaker Verlag
- Stricker et al. (2021) Stricker, E., Brandi, G., Sonderegger, A., Angst, M., Buser, B., Massmünster, M. (2021). Bauteile wiederverwenden - Ein Kompendium zum zirkulären Bauen. Park Books, Zürich
- Studiengemeinschaft Holzleimbau (2021) Studiengemeinschaft Holzleimbau (2021). Merkblatt zur Bewertung von Klebfugen in Brettschichtholzbauteilen im Bestand. Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., Wuppertal
- SZS (2023) SZS (2023). Re-Use: Wiederverwendung von Stahlbauteilen. Stahlbau Zentrum Schweiz, Zürich
- Trinkert (2023) Trinkert, A. (2023). Ressourcenschonend seit Jahrzehnten. Der Zimmermann, Nr. 8, S. 30-33
- UHB (2024) UHB (2024). URL: <https://www.historische-baustoffe.de/> (zuletzt geprüft am 20.04.2024)
- UK building center (2023) UK building center (2023). Steel and circular economy Website https://www.buildingcentre.co.uk/whats_on/events/steel-and-the-circular-economy-steel-reuse-and-design-for-deconstruction2016-11-30 (zuletzt geprüft am 26.02.2023)
- VDI 2243 (2002) VDI 2243 (2002). Recyclingorientierte Produktentwicklung. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI 2343 Blatt 1 (2001) VDI 2343 Blatt 1 (2001). Recycling elektrischer und elektronischer Geräte - Grundlagen und Begriffe. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI 6200 (2010) VDI 6200 (2010). Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI 6210 Blatt 1 (2016) VDI 6210 Blatt 1 (2016). Abbruch von baulichen und technischen Anlagen. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- Weigl-Kuska (2023) Weigl-Kuska, M. (2023). Kreislaufwirtschaft im Holzbau. Holzforschung Austria 21, Heft 4, S. 3-5
- Weigl-Kuska & Schomakers (2023) Weigl-Kuska, M., Schomakers, J. (2023). Strategien für Massivholzkreisläufe. Holzkurier, Nr. 35, S. 21
- Weißbach (2017) Weißbach, W. (2017). Prüfung metallischer Werkstoffe. In: Handbuch Maschinenbau- Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik. Hrsg. Alfred Böge und Wolfgang Böge, S. 517-528
- Westkämper & Warnecke (2002) Westkämper, E., Warnecke, H.-J. (2002). Einführung in die Fertigungstechnik. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden
- Wienert (1992) Wienert, H. (1992). Stahlindustrie in der DDR. Duncker & Humblot, Berlin

- Wittchen et al. (2006) Wittchen, B., Josten, E., Reiche, T. (2006). Verfahren zur Beurteilung der Sicherheit bei Weiterverwendung alter Stahlbrücken. Dissertation. Bd. 39. Stahlbau. Shaker Verlag, Aachen
- Zuschnitt (2023) Zuschnitt (2023). Reuse und Recycling. Zuschnitt 23, Nr. 88. proHolz Austria, Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Holzwirtschaft, Wien

Anhang I: Leitfaden zur Wiederverwendung tragender Bauteile

1 Allgemeine Anmerkungen

Dieser Leitfaden illustriert eine strukturierte Vorgehensweise für die Wieder- und Weiterverwendung von tragenden Bauteilen im Anwendungsbereich des Hochbaus. Es handelt sich hierbei um eine rechtlich nicht verbindliche Empfehlung, die für Entwurfsverfasser, Fachplaner, Gutachter, Prüferingenieure, Prüfämter und Behörden eine Hilfestellung bei der Antragsstellung/Erteilung eines Ver- bzw. Anwendbarkeitsnachweises für die Wiederverwendung gebrauchter Bauteile in Form einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) kombiniert mit einer vorhabenbezogenen Bauartgenehmigung (vBg) bietet.

Der Hauptteil dieses Leitfadens ist materialneutral aufgebaut und im Kern für alle konstruktiven Materialien des Bauwesens anwendbar und entsprechend erweiterbar. Materialspezifische Festlegungen sind in den Anhängen aufgeführt.

Es gelten die Vorschriften der Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO) und der auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Vorschriften, wie die Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VwV TB).

Im Sinne dieses Leitfadens bedeuten die Begriffe:

Aufbereitung

Jegliche Tätigkeit, die an einem gebrauchten Bauprodukt/Bauteil bzw. deren Bestandteilen vor dem Wiedereinbau durchgeführt wird, um spezifische Anforderungen wie Optik, Sicherheit, Dauerhaftigkeit zu erfüllen.

Objektbegehung

Begutachtung einer bestehenden baulichen Anlage vor Ort, zur Feststellung wiederverwendbarer Bauprodukte/Bauteile und Klärung von Fragestellungen des selektiven Rückbaus.

Selektiver Rückbau

Vereinzelung einer baulichen Anlage zu Baugruppen, Bauteilen und/oder formlosen Stoffen durch selektives und zerstörungsarmes Trennen, ohne erheblichen Schaden zu verrichten.

Wiederverwendung¹

Erneute Nutzung von gebrauchten Bauteilen für denselben Verwendungszweck wie zuvor. Unter Verwendungszweck wird im Sinne dieses Leitfadens die tragende bzw. nicht-tragende Funktion eines Bauteils verstanden, nicht die Kategorisierung (Stütze, Träger, etc.). Der Begriff „Wiederverwendung“ umfasst hier somit z. B. die erneute Nutzung eines gebrauchten Deckenbauteils sowohl als Deckenbauteil, als auch als Wandbauteil. Die Anforderungen, welche die Bauteile für ihre erneute Nutzung erfüllen müssen, können dabei variieren. Somit ist auch der Aufwand für die Untersuchung, Reklassifikation, Ertüchtigung, etc. variabel.

Weiterverwendung¹

Erneute Nutzung von gebrauchten Bauteilen für einen anderen Verwendungszweck als zuvor. Unter Verwendungszweck wird im Sinne des Leitfadens die tragende bzw. nicht-tragende Funktion eines Bauteils verstanden, nicht die Kategorisierung (Stütze, Träger, etc.). Der Begriff „Weiterverwendung“ umfasst im Leitfaden somit die erneute Nutzung vormals tragender Bauteile als nicht-tragende Elemente, d. h. für eine sekundäre bzw. untergeordnete Verwendung. Die „Weiterverwendung“ beschreibt die Nachnutzung als Elemente mit geringeren Anforderungen und ermöglicht somit einen reduzierten Aufwand.

Für eine bessere Lesbarkeit wird im Leitfaden nur der Begriff „Wiederverwendung“ verwendet, er schließt in diesem Sinne die „Weiterverwendung“ mit ein.

Die Qualifikation einer fachkundigen Person entspricht den Festlegungen des Dokuments „Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfugungsberechtigten“ der Bauministerkonferenz (ARGEBAU, www.bauministerkonferenz.de). Sofern eine fachkundige Person nicht selbst über ausreichende Erfahrung hinsichtlich der materialspezifischen Besonderheiten des Werkstoffes (z. B. bei Holz Schädigungen aufgrund Feuchte/Pilzen/Insekten und Sortierung) verfügt, ist eine weitere damit vertraute fachkundige Person hinzuziehen.

Die Systematik dieses Leitfadens nimmt in Teilen bestimmte Bau- bzw. Produktionszeiträume in Bezug. Diese Zeiträume wurden angemessen konservativ gewählt – eine inhärente Unsicherheit ist dennoch unvermeidlich. Dieser Aspekt sollte im Rahmen der Einzelfallbetrachtungen Berücksichtigung finden.

Dieser Leitfaden wurde im Rahmen des vom Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen Baden-Württemberg geförderten Forschungsvorhabens „Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus“ erarbeitet. Hintergrundinformationen zu den nachfolgenden Festlegungen können dem zugehörigen Forschungsbericht entnommen werden.

¹ Die Definitionen der Begriffe Wiederverwendung und Weiterverwendung sind offener formuliert als manche Definition in der Standardliteratur. Grund ist die Zielsetzung, eine Passfähigkeit zum Abfallrecht herzustellen.

2 Bestandsanalyse

2.1 Allgemeine Anmerkungen

Die Wiederverwendung von Bauteilen beginnt mit dem Nutzungsende einer baulichen Anlage oder eines Teiles einer baulichen Anlage.

Ziel der Bestandsanalyse ist es, aussagekräftige Daten zu wiederverwendbaren Bauteilen eines Bestandsbauwerkes zu gewinnen. Diese Daten können die Grundlage für die Planung und Ausführung des Rückbaus eines Bestandsbauwerkes sowie die Prüfung und Aufbereitung wiederverwendbarer Bauteile bilden.

In Abbildung 1 sind die wesentlichen Schritte einer Bestandsanalyse dargestellt. Ergänzend dazu sind die „Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten“ der Bauministerkonferenz (ARGEBAU) zu beachten.

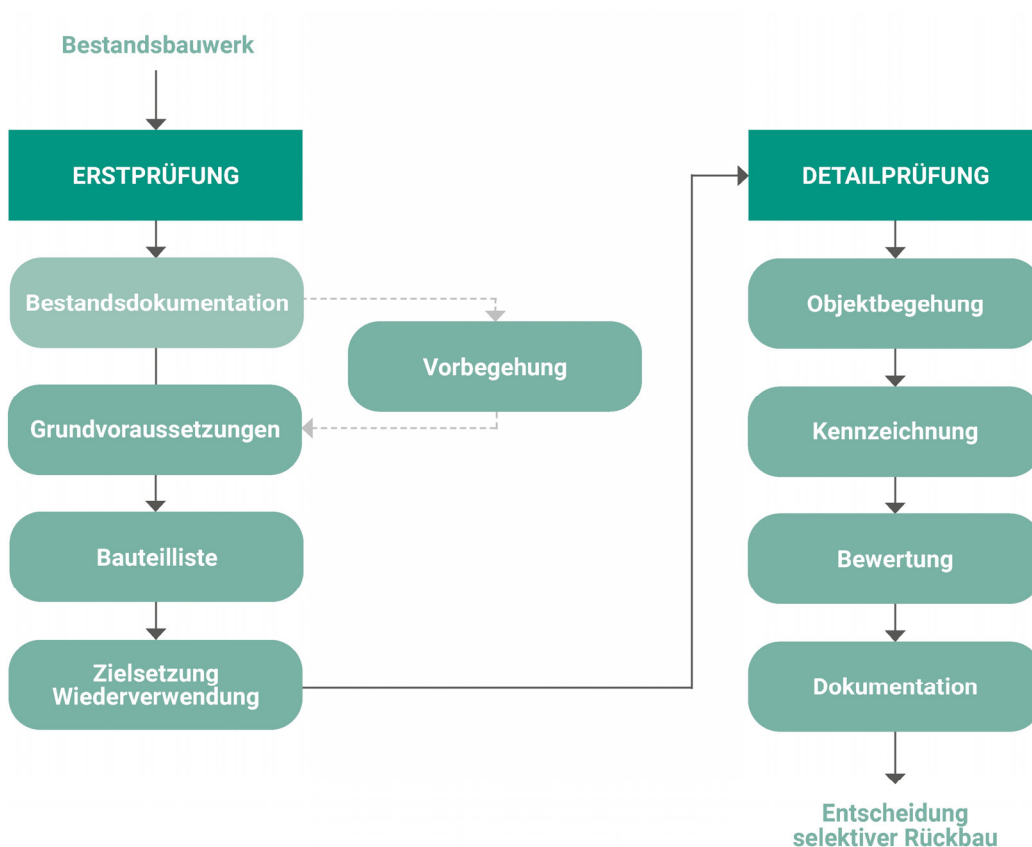


Abbildung 1: Ablauf der Bestandsanalyse

Die Bestandsanalyse gliedert sich in Erstprüfung und Detailprüfung. Diese beinhalten folgende Punkte, die durch eine fachkundige Person auszuführen sind:

Erstprüfung

- Zusammentragen und Sichten der Bestandsunterlagen, ggf. ergänzt durch eine Vorbegehung
- Überprüfen der Grundvoraussetzungen zur Wiederverwendung
- Anlegen einer Bauteilliste und Vereinbarung der Zielsetzung der Wiederverwendung mit dem Auftraggeber

Detailprüfung

- Begutachtung wiederverwendbarer Bauteile im Rahmen einer Objektbegehung
- Kennzeichnung und Bewertung der wiederverwendbaren Bauteile
- Dokumentation der Daten für Rückbau, Bauteilprüfung, Aufbereitung und wieder Inverkehrbringen

2.2 Erstprüfung

Wesentliche Bestandsunterlagen sind:

- Bauvorlagen (Bauantragsdokumente),
- (geprüfte) bautechnische Nachweise (Konstruktionspläne und statische Berechnungen),
- Ausführungsunterlagen,
- Bauüberwachungsprotokolle,
- Bau- und Sachverständigengutachten,
- Prüfberichte und Abnahmeprotokolle,
- Prüfbescheinigungen
- Ü-Zeichen bzw. CE-Kennzeichen und Leistungserklärungen,
- bauaufsichtliche Ver- und Anwendbarkeitsnachweise,
- Unterlagen zu Umbauten und Nutzungsänderungen,
- Unterlagen zu Bauwerksprüfungen und Instandsetzungen.

Zur Analyse der Bestandsunterlagen sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 relevante Daten zu Bauwerk und Bauteil aufgelistet. Die dort gelisteten Daten werden in den seltensten Fällen durchgängig vervollständigt werden können. Eine empfehlenswerte Ergänzung bilden eine Vorbegehung des Bestandsbauwerkes mit Fotodokumentation und Gespräche mit Orts- und Betriebskundigen.

In allen Verdachtsfällen ist eine Schadstoffanalyse im Hinblick auf die Wiederverwendung durch z. B. eine akkreditierte Prüfstelle für Schadstoffuntersuchungen durchzuführen. Werden dabei Schadstoffe festgestellt, die nicht herausgeschleust bzw. entfernt werden können, wird eine sonstige Verwertung oder Beseitigung empfohlen. Ansonsten ist die Wiederverwendung ursprünglich schadstoffbelasteter Bauteile grundsätzlich möglich, jedoch mit entsprechendem Aufwand für Dekontamination im Zusammenhang mit Rückbau, Transport und Bauteilprüfung sowie notwendigen Aufbereitungsmaßnahmen verbunden.

Tabelle 1: Daten zum Bestandsbauwerk

Information	Beschreibung
Bauwerkstyp	- bspw. Wohngebäude, Bürogebäude, Halle
Bauweise	- Art der Baukonstruktion
Baujahr	- Jahresangabe
Standort	- Ortsangabe - Lage ü. NN - Topografie - vorherrschende Umgebungsbedingungen
Abmessungen	- Brutto-Grundfläche - Brutto-Rauminhalt - Bauwerkshöhe
Nutzung	- ursprüngliche und aktuelle Nutzung - Nutzungsänderungen mit Nutzungsdauern (vermutete und belegbare)
Umbau-/Erweiterungsmaßnahmen	- dokumentierte, realisierte Umbauten mit Datumsangabe - vermutete bzw. stattgefundene Umbauten mit Datumsangabe
Instandsetzungs-/ Sanierungsmaßnahmen	- Tragwerksprüfungen - Instandsetzungsmaßnahmen mit Datumsangabe

Tabelle 2: Daten für wiederverwendbare Bauteile

Kategorie	Information	Beschreibung
Kennzeichnung	Nummer	- Identifikationsnummer
	Position	- Angabe der genauen Lage innerhalb des Bauwerkes
	Bezeichnung	- Benennung des jeweiligen Konstruktionselementes (Funktion)
Spezifikationen	Hersteller	- Herstellerbezeichnung
	Herstelljahr	- Datumsangabe
	Technische Dokumentation	- zum Zeitpunkt der Erstellung gültige, zugehörige Normen - vorhandene technische Spezifikationen
	Materialkennwerte	- nachgewiesene Werte physikalischer und mechanischer Eigenschaften
	Ausführung	- Auflistung relevanter Eignungsnachweise, bspw. für Schweißen, Kleben
	Einbausituation	- Art der Verbindung - Einschätzung der Lösbarkeit der Verb. - Bauteil voll / bedingt / nicht zugänglich
	Belastungssituation	- planmäßige Einwirkungen - vermutete nicht planmäßige Einwirkungen
Geometrie	Querschnittsabmessungen	- Maßangabe
	Querschnittsbezeichnung	- Standardquerschnitt oder Beschreibung der Querschnittsform
	Bauteillänge	- Maßangabe

Hinweis: Bestimmte Zustandsmerkmale können auf ein signifikantes Sicherheitsrisiko hinweisen. Daher wurden Grundvoraussetzungen für die Wiederverwendung unter vertretbarem Aufwand in Form von Kriterien festgelegt, die dem jeweiligen materialspezifischen Anhang zu entnehmen sind.

2.3 Detailprüfung

Die Detailprüfung sieht eine Objektbegehung durch eine fachkundige Person vor. Dabei sind alle potenziell wiederverwendbaren Bauteile miteinzubeziehen. Dies beinhaltet:

- stichprobenhafter Abgleich der Bestandsunterlagen/-daten mit der tatsächlichen Bauausführung,
- visuelle Zustandsfeststellung aller wiederverwendbaren Bauteile, nach Notwendigkeit ergänzt durch handnahe Überprüfungen und (stichprobenhafte) Materialanalyse.

Eine fachkundige Person sollte alle Zustandsmerkmale, die für das Tragverhalten, die Gebrauchstauglichkeit und die Funktionstüchtigkeit eines Bauteils wesentlich sind, mit geeigneten Methoden feststellen und ergänzend zu den Daten der Erstprüfung dokumentieren.

Im Zuge der Objektbegehung ist stets auch auf Anzeichen zu achten, die auf eine von der Planung abweichende oder in sonstiger Weise nicht ordnungsgemäße Ausführung bzw. auf eine unsachgemäße Nutzung hindeuten. In solchen Fällen sollte eine erweiterte Überprüfung/Analyse der Bauteilzustände, Materialeigenschaften, etc. durchgeführt werden.

Die an diesen Bearbeitungsschritt anschließende Beurteilung der grundsätzlichen Wiederverwendbarkeit eines Bauteils ist im Einzelfall, unter Berücksichtigung von Lösbarkeit, Alterung, Abnutzung und Schweregrad eines Defektes, von einer fachkundigen Person vorzunehmen.

Kann ein gebrauchtes Bauteil die grundlegenden Anforderungen entsprechend DIN EN 1990, inkl. Nationaler Anhang, in der jeweils aktuell bauaufsichtlich bekannt gemachten Fassung, aufgrund von offensichtlichen Mängeln und Schäden nicht mehr gewährleisten, ist eine Wiederverwendung zu verwerfen.

Hinweis: Angaben zu Begutachtungsmerkmalen und geeigneten Methoden für die Detailprüfung finden sich in den materialspezifischen Anhängen.

3 Rückbau

Mit dem Rückbau von Bestandsbauwerken und der Demontage von tragenden Bauteilen sollten erfahrene, qualifizierte Fachbetriebe beauftragt werden. Die rechtlichen Rahmenbedingungen, insbesondere das Bauordnungsrecht, Abfallrecht, Immissionsschutzrecht und Arbeitsschutzrecht sind zu beachten.

Die Grundlage für einen selektiven Rückbau bildet eine Rückbauplanung mit detaillierter Beschreibung des Demontagekonzepts. Bei komplexen Konstruktionen kann eine statische Berechnung kritischer Demontagezustände erforderlich sein. Hinsichtlich der Wiederverwendung von Bauteilen, sollte deren Rückbau möglichst bauteilschonend erfolgen. Der dabei entstehende Demontageaufwand, sowie mögliche Verluste und Schäden an den Bauteilen, sind zu berücksichtigen.

Hinweis: Anmerkungen zum Rückbau finden sich in den materialspezifischen Anhängen.

4 Analyse der physikalischen und mechanischen Eigenschaften

Die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der Bauteile, die auf Basis der Bestandsanalyse als potenziell wiederverwendbar eingestuft wurden, müssen durch geeignete Verfahren nachgewiesen werden. Aufgrund der Einbaubedingungen, potenzieller Rückbauschäden und des Vorteils der vollständigen Zugänglichkeit wird die Bauteilüberprüfung nach dem Rückbau empfohlen.

Hinweis: Da sich Prüfumfang und Prüfprozedere für unterschiedliche Materialien stark unterscheiden, werden alle Festlegungen in den materialspezifischen Anhängen getroffen.

5 Aufbereitung

Die Aufbereitung gebrauchter Bauteile umfasst technisch erforderliche Maßnahmen und vorbereitende Maßnahmen, die für die weitere Nutzung gemäß den Grundanforderungen an die Sicherheit von Bauwerken erforderlich sind. Verfahren und Umfang der Bauteilaufbereitung sind in Abhängigkeit des Erhaltungszustandes im Einzelnen festzulegen.

Bei Vorhandensein von Schadstoffen sind vor einer Wiederverwendung stets geeignete Maßnahmen zur Schadstoffbeseitigung durchzuführen. Die Schadstoffsanierung ist durch einen qualifizierten Fachbetrieb, z. B. ein vom Gesamtverband Schadstoffsanierung e. V. zertifizierter Sanierungsfachbetrieb auszuführen.

Hinweis: Handlungsempfehlungen zur Aufbereitung finden sich in den materialspezifischen Anhängen.

6 Bemessung

Der Nachweis von Trag- und Bauwerken mit gebrauchten Bauteilen hat grundsätzlich wie für neue Bauteile, entsprechend den aktuell bauaufsichtlich bekannt gemachten Bemessungsvorschriften, zu erfolgen. Dabei sind die im Rahmen der Erst- und Detailprüfung sowie der Bauteilanalyse ermittelten technischen Bauteileigenschaften zu berücksichtigen.

Hinweis: Empfehlungen zur Bemessung finden sich in den materialspezifischen Anhängen.

Teil A Materialspezifische Festlegungen Stahlbau

A.1 Allgemeine Anmerkungen

Dieser Anhang des Leitfadens ist anwendbar für Stahlprofile und Stahlbauteile, die nach 1945 hergestellt wurden.

A.2 Bestandsanalyse

A.2.1 Erstprüfung

Folgende Extremeinwirkungen schließen im Zusammenhang mit diesem Leitfaden eine Wiederverwendung von betroffenen Stahlbauteilen bzw. betroffenen Teilen davon aus:

- Schädigung verursacht durch Brandeinwirkung,
- Schädigung verursacht durch außergewöhnliche Einwirkungen, bspw. Erdbeben, Explosion, Anprall,
- unplanmäßige lokale plastische Verformungen.

A.2.2 Detailprüfung

In Tabelle A. 1 sind für Stahlbauteile relevante Merkmale aufgelistet, die bei der Bewertung durch eine fachkundige Person berücksichtigt werden sollten.

Tabelle A. 1: Begutachtungsmerkmale zur Wiederverwendung von Stahlbauteilen

Merkmals	Anzeichen
Oberfläche	- Verschmutzung - Verfärbung - Anstrich - Beschichtung - Rußablagerung
Korrosion	- örtlicher oder flächiger Materialabtrag
Verformung a) planmäßig b) unplanmäßig	zu a) - Überhöhung (global) zu b) - Durchbiegung (global) - Verdrehung (global) - Knicken/Beulen (global) - Schiefstellung (global) - Krümmung (global/lokal) - Deformation (lokal)
Abnutzung	- örtlicher oder flächiger Materialabtrag

Riss	<ul style="list-style-type: none"> - Riss im Stahl (Grundwerkstoff) - Riss in der Schweißnaht - Riss in der Beschichtung
Querschnittsschwächung	- bspw. Bohrloch, Durchbruch, Ausnehmung
Defekt (Beschädigung)	- bspw. Gewaltbruch, Ermüdungsbruch
Schadstoffe	<p>Im Verdachtsfall Analyse auf:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Arsen (Farbpigmente in Farben und Lacken) - Kupfer (Farbpigmente in Farben und Lacken) - Quecksilber (Farbpigmente in Farben/Lacken) - Blei (Farbpigmente in Farben und Lacken, Bleimennige für Korrosionsschutzanstriche) - Cadmium (Farbpigmente in Farben und Lacken) - Chrom (Farbpigmente in Farben und Lacken) - Nickel (Farbpigmente in Farben und Lacken) - Zink (Farbpigmente in Farben und Lacken)

Die Prüfeinheitenbildung sollte vor dem Rückbau erfolgen (siehe A.4.1). Die abschließenden Abmessungen und eventuelle plastische Verformungen der Bauteile sind im ausgebauten Zustand zu ermitteln (siehe A.4.2).

A.3 Rückbau

Beim Rückbau sollte, soweit bekannt, das ursprüngliche bei der Errichtung des Trag- bzw. Bauwerks eingesetzte Montagekonzept berücksichtigt werden.

Geschraubte Verbindungen können aufgrund ihres Zustands - Korrosion, plastische Verformungen - nicht mehr lösbar sein. Daher ist beim Rückbau mit einem erhöhten Demontageaufwand zu rechnen. Beim Einsatz eines Schneidbrenners zum thermischen Trennen ist ein thermischer Einfluss (Aufhärtung) im Bereich der Schnittkante bei der Aufbereitung der Bauteile zu berücksichtigen, welcher mit der fünffachen Materialstärke angenommen werden darf.

A.4 Analyse der physikalischen und mechanischen Eigenschaften

Bei der Analyse der physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Bauteilen ist das in Abbildung A. 1 dargestellte Ablaufdiagramm zu befolgen.

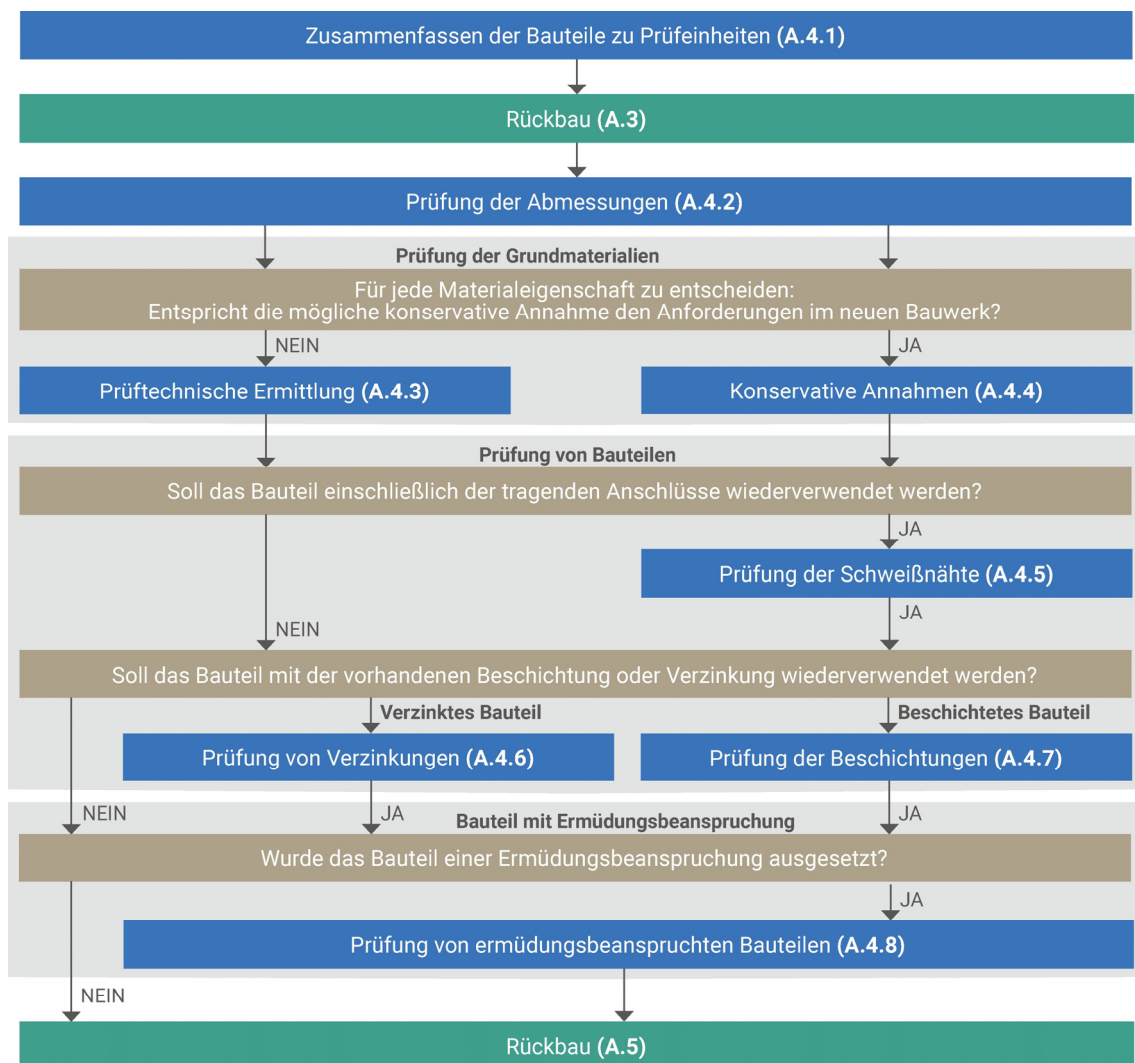


Abbildung A. 1: Ablaufdiagramm zur Analyse der physikalischen und mechanischen Eigenschaften von wiederzuverwendenden Bauteilen

A.4.1 Prüfeinheitenbildung

Für die prüftechnische Ermittlung von Werkstoffkennwerten dürfen Bauteile zu Prüfeinheiten zusammengefasst werden, wenn sie nachweislich folgende gemeinsame Eigenschaften aufweisen:

- sie stammen aus dem gleichen Bauwerk
- sie erfüllen die gleiche strukturelle Funktion (Pfette, Deckenträger, Stütze etc.)
- sie sind den gleichen nominellen Querschnittsabmessungen zuordenbar
- sie besitzen die gleiche Oberflächenbeschaffenheit (z. B. Beschichtung, Verzinkung)

Es dürfen maximal 50 Bauteile mit einem Gesamtgewicht von 20 Tonnen zu einer Prüfeinheit zusammengefasst werden.

A.4.2 Abmessungen

An allen Bauteilen müssen im ausgebauten Zustand die realen Abmessungen nach dem Vorgehen aus Abbildung A. 2 mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden.

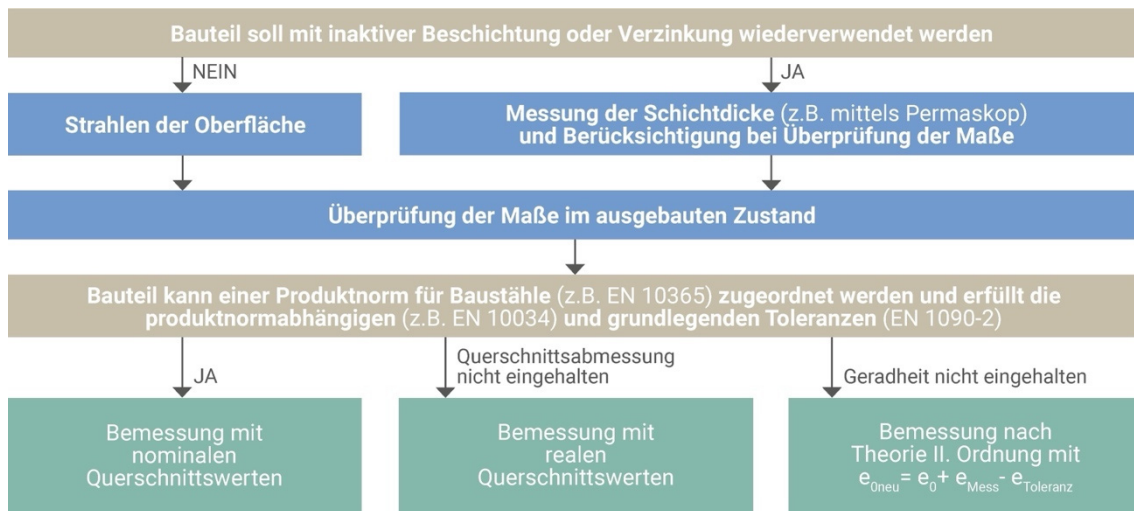


Abbildung A. 2: Vorgehen bei der Bestimmung der Abmessungen und Umgang mit den Ergebnissen im Rahmen der Bemessung für die Wiederverwendung

A.4.3 Prüfung der Grundmaterialien

Der Prüfumfang für die mechanischen und technologischen Eigenschaften ist in Abhängigkeit der vorliegenden Informationen und der angestrebten Ausführungsklasse entsprechend Abbildung A. 3 festgelegt. Die Prüfprotokolle verwenden eine Kombination aus zerstörenden Prüfungen (ZP) und zerstörungsfreien Prüfungen (ZfP).

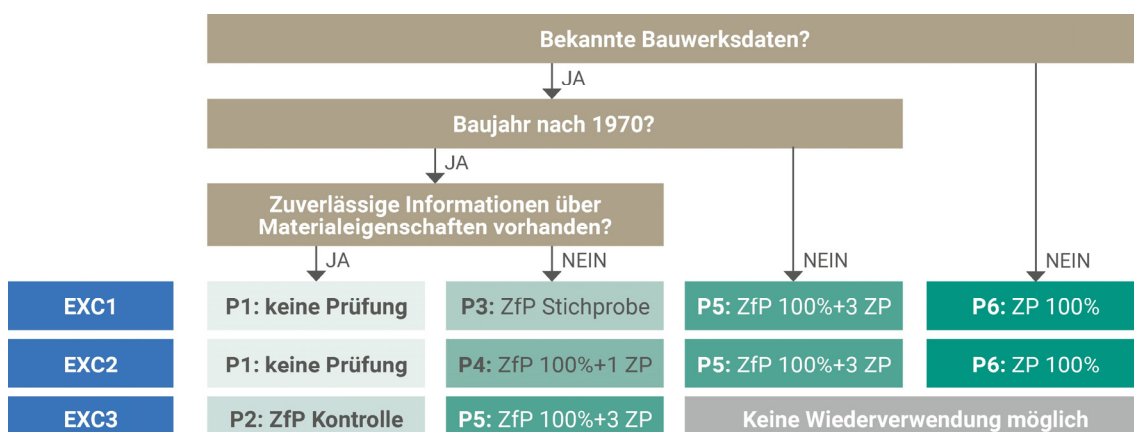


Abbildung A. 3: Zu befolgendes Prüfprotokoll

Als zuverlässige Informationen über Materialeigenschaften gelten Zeichnungen mit eingetragenen Stahlsorten bzw. -festigkeiten sowie den betroffenen Bauteilen zuordenbare Abnahmeprüfzeugnisse. Je nach Prüfprotokoll (P1 - P6) müssen die in Tabelle A. 2 aufgeführten Prüfungen durchgeführt werden. Die rot hinterlegten

Prüfungen sind stets durchzuführen. Blau hinterlegte Prüfungen sind nur dann durchzuführen, wenn die entsprechende Eigenschaft für das Bauteil im nächsten Lebenszyklus relevant ist.

Tabelle A. 2: Durchzuführende Prüfungen gemäß Prüfprotokoll

Prüfungen	Eigenschaft	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Härteprüfung	Härte (Festigkeit)	keine	50% mind. 5	50% mind. 5	100%	100%	keine
Zugversuch	Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung	keine	keine	keine	1 Bauteil	3 Bauteile	100%
chemische Analyse (C, Mn, N, P, Si)	Ausschluss von Puddelstahl	keine	keine	keine	keine	keine	100%
chemische Analyse (N)	Reckalterungsanfälligkeit	keine	keine	keine	1 Bauteil*	3 Bauteile	100%
chemische Analyse (P, S, Al, Si, CEV)	Schweiß-eignung	keine	keine	wenn geschweißt 1 Bauteil	wenn geschweißt 1 Bauteil	wenn geschweißt 3 Bauteile	wenn geschweißt 100%
Ultraschallprüfung	Dopplungen	keine	keine	keine	keine	wenn geschweißt 3 Bauteile	wenn geschweißt 100%
Kerbschlagbiegeversuch	Kerbschlagarbeit (Zähigkeit)	keine	keine	wenn erforderlich 1 Bauteil	wenn erforderlich 1 Bauteil	wenn erforderlich 3 Bauteile	wenn erforderlich 100%
Zugversuch orthogonal zur Oberfläche	Z-Güte	keine	keine	wenn erforderlich 1 Bauteil	wenn erforderlich 1 Bauteil	wenn erforderlich 3 Bauteile	wenn erforderlich 100%

* nur bis 1986

Prüfprotokoll P6:

Die in Tabelle A. 2 aufgeführten Prüfungen müssen an allen Bauteilen durchgeführt werden. Die Akzeptanzkriterien der Prüfungen können Tabelle A. 3 entnommen werden

Tabelle A. 3: Für P6 vorgeschriebene Prüfungen (rot) und bei Bedarf durchzuführende zusätzliche Prüfungen (blau)

Prüfungen	Eigenschaft	Norm	Akzeptanzkriterium
Zugversuch	Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung	ISO 6892-1	Vergleich der Prüfergebnisse mit einer Stahlgüte nach DIN EN 10025-2 (ohne statistische Auswertung)
chemische Analyse (C,Mn,N,P,Si)	Ausschluss von Puddelstahl	abhängig vom Verfahren	siehe <i>Tabelle A. 4</i>
chemische Analyse (N)	Reckalterungsanfälligkeit	abhängig vom Verfahren	Stickstoffgehalt < 0,014 %
chemische Analyse (P, S, Al, Si, CEV)	Schweißbeignung	abhängig vom Verfahren	Vergleich der Prüfergebnisse mit einer Stahlgüte nach DIN EN 10025-2. Al > 0,02 % oder Si > 0,2 % → auch an Stegen und Ausrundungen schweißgeeignet
Ultraschallprüfung	Dopplungen	DIN EN 10160 DIN EN 10306	entsprechend Produktnorm (DIN EN 10025-2)
Kerbschlagbiegeversuch	Kerbschlag-arbeit (Zähigkeit)	DIN EN ISO 148-1	entsprechend Produktnorm (DIN EN 10025-2)
Zugversuch orthogonal zur Oberfläche	Z-Güte	DIN EN 10164	entsprechend Produktnorm (DIN EN 10025-2)

Tabelle A. 4 Typische Massenanteile für Stahlbegleiter für verschiedene historische Stahlsorten nach DB Richtlinie Ril 805 (2021) „Tragsicherheit bestehender Brückenbauwerke“ im Vergleich zu den heutigen Grenzwerten

Element	Puddelstahl	Flussstahl mit Verfahren nach			Aktuelle Grenzwerte nach EN 10025-2 (2019) für S235 JR
		Bessemer	Thomas	Siemens-Martin	
C	0,11 %	0,02 – 0,2 %			0,23 % (>40mm)
Mn	0,19 %	0,19 %			1,5 %
N	0,04 %	0,008 %	0,008 %		0,0014 %
P	0,60 %	0,03 – 0,13 %			0,0045 %
Si	0,42 %	0,08 %	0,08 %	0,28 %	-

Prüfprotokoll P5

An allen Bauteilen sind zerstörungsfreie Härteprüfungen durchzuführen, um die Annahme der Zugehörigkeit zur Prüfeinheit zu bestätigen. Die gemessenen Härtewerte dürfen nicht mehr als 10 % vom Mittelwert, gebildet aus allen Proben, abweichen. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, ist die Prüfeinheit in kleinere Einheiten zu unterteilen.

Bei jeder Prüfeinheit sind die in Tabelle A. 5 aufgeführten Prüfungen an drei repräsentativen Bauteilen durchzuführen, darunter das Bauteil mit dem niedrigsten Härtewert:

Tabelle A. 5: Für P5 vorgeschriebene Prüfungen (rot) und bei Bedarf durchzuführende Prüfungen (blau)

Prüfungen	Eigenschaft	Norm	Akzeptanzkriterium
Zugversuch	Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung	ISO 6892-1	Vergleich der Prüfergebnisse mit einer Stahlgüte nach DIN EN 10025-2 (statistische Auswertung nach EN 1990)
chemische Analyse (N)	Reckalterungsanfälligkeit	abhängig vom Verfahren	Stickstoffgehalt < 0,014 %
chemische Analyse (P, S, Al, Si, CEV)	Schweißbeignung	abhängig vom Verfahren	Vergleich der Prüfergebnisse mit einer Stahlgüte nach DIN EN 10025-2. Al > 0,02 % oder Si > 0,2 % → auch an Stegen und Ausrundungen schweißgeeignet
Ultraschallprüfung	Dopplungen	DIN EN 10160 DIN EN 10306	entsprechend Produktnorm (DIN EN 10025-2)
Kerbschlagbiegeversuch	Kerbschlagarbeit (Zähigkeit)	DIN EN ISO 148-1	entsprechend Produktnorm (DIN EN 10025-2)
Zugversuch orthogonal zur Oberfläche	Z-Güte	DIN EN 10164	entsprechend Produktnorm (DIN EN 10025-2)

Prüfprotokoll P4

An allen Bauteilen sind zerstörungsfreie Härteprüfungen durchzuführen, um die Zugehörigkeit zur festgelegten Prüfeinheit zu bestätigen. Die gemessenen Härtewerte dürfen nicht mehr als 10 % vom Mittelwert, gebildet aus allen Proben der Prüfeinheit, abweichen. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, ist die Prüfeinheit in kleinere Einheiten zu unterteilen.

Für jede Prüfeinheit sind die in Tabelle A.6 aufgeführten Prüfungen an einem repräsentativen Bauteil durchzuführen.

Tabelle A. 6: Für P4 vorgeschriebene Prüfungen (rot) und bei Bedarf durchzuführende Prüfungen (blau)

Prüfungen	Eigenschaft	Norm	Akzeptanzkriterium
Zugversuch	Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung	ISO 6892-1	Vergleich der Prüfergebnisse mit einer Stahlgüte nach DIN EN 10025-2 (statistische Auswertung nach EN 1990 mit bekannten Variationskoeffizienten nach EN 1993- 1-1)
chemische Analyse (N) *	Reckalterungs- anfälligkeit	abhängig vom Verfahren	Stickstoffgehalt < 0,014 %
chemische Analyse (CEV,P,S,Al,Si)	Schweißbeignung	abhängig vom Verfahren	Vergleich der Prüfergebnisse mit einer Stahlgüte nach DIN EN 10025-2. Al > 0,02 % oder Si > 0,2 % → Auch an Stegen und Ausrundungen schweißgeeignet
Kerbschlag- biegeversuch	Kerbschlagarbeit (Zähigkeit)	DIN EN ISO 148-1	entsprechend Produktnorm (DIN EN 10025-2)
Zugversuch orthogonal zur Oberfläche	Z-Güte	DIN EN 10164	entsprechend Produktnorm (DIN EN 10025-2)

* nur bis 1986

Prüfprotokoll P3

An mindestens 50 % der Bauteile ist die Härte mit einem beliebigen zulässigen Verfahren zu bestimmen. Über DIN EN ISO 18265 (2003) kann der charakteristische Härtewert der Prüfeinheit einer Zugfestigkeit und damit einer Stahlsorte nach DIN EN 10025-2 zugeordnet werden. Für die bei Bedarf durchzuführenden Prüfungen gilt Tabelle A.6.

Prüfprotokoll P2 und P1

Liegen zuverlässige, zuordenbare Angaben aus Zeichnungen oder Prüfbescheinigungen vor, dürfen diese Eigenschaften angenommen werden und müssen nicht erneut nachgewiesen werden. Werden jedoch Eigenschaften gefordert, die nicht in der Prüfbescheinigung oder in der zugehörigen Zeichnung angegeben sind, oder bestehen Zweifel an der Zuverlässigkeit der Angaben, so ist für diese Eigenschaften je nach Ausführungsklasse das Prüfprotokoll 3, 4 oder 5 durchzuführen. Der Unterschied zwischen Prüfprotokoll 1 und 2 besteht darin, dass beim Prüfprotokoll 2 aufgrund der höheren Ausführungsklasse zur Verifizierung der Angaben an mindestens 50 % der Bauteile eine Härteprüfung durchzuführen ist, und die mit den Härtewerten berechneten Zugfestigkeiten mit den vorliegenden Angaben verglichen werden.

A.4.4 Konservative Annahmen

Für die Kerbschlagarbeit und die mechanischen Eigenschaften können in Abhängigkeit vom Baujahr bei einer Anwendung in EXC1 oder EXC2 die in Abbildung A. 4 und Abbildung A. 5 dargestellten konservativen Annahmen getroffen werden, ohne dass Prüfungen an den Bauteilen durchgeführt werden.

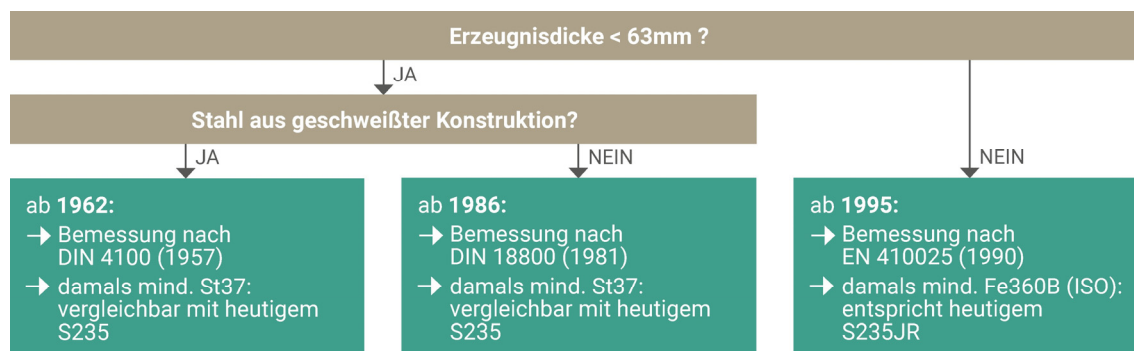


Abbildung A. 4: Erlaubte konservative Annahmen für die mechanischen Eigenschaften

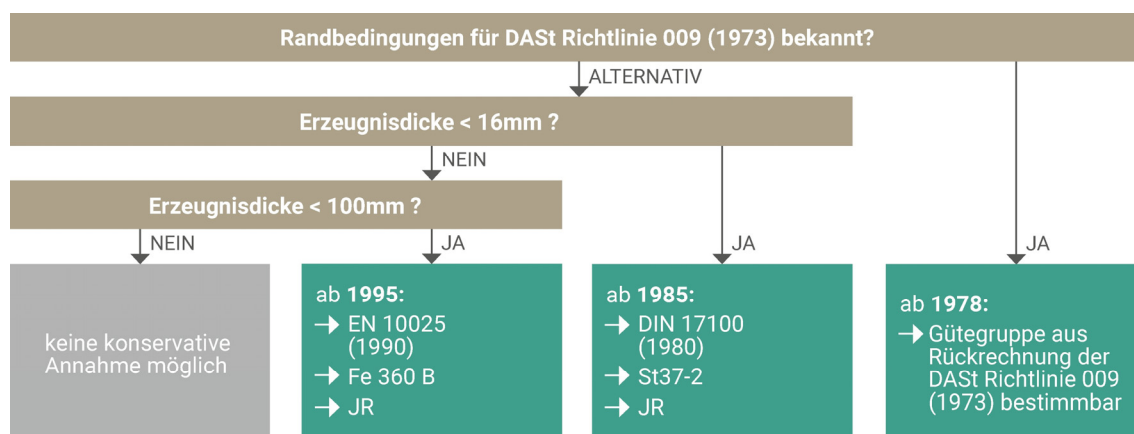


Abbildung A. 5: Erlaubte konservative Annahmen für die Kerbschlagarbeit

Die Schweißignung kann anhand Abbildung A. 6 abgeschätzt werden. Wenn die Schweißignung anhand der ursprünglich geschweißten Konstruktion beurteilt wird, sollten Probeschweißungen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die Schweißignung für heutige Schweißverfahren gilt.

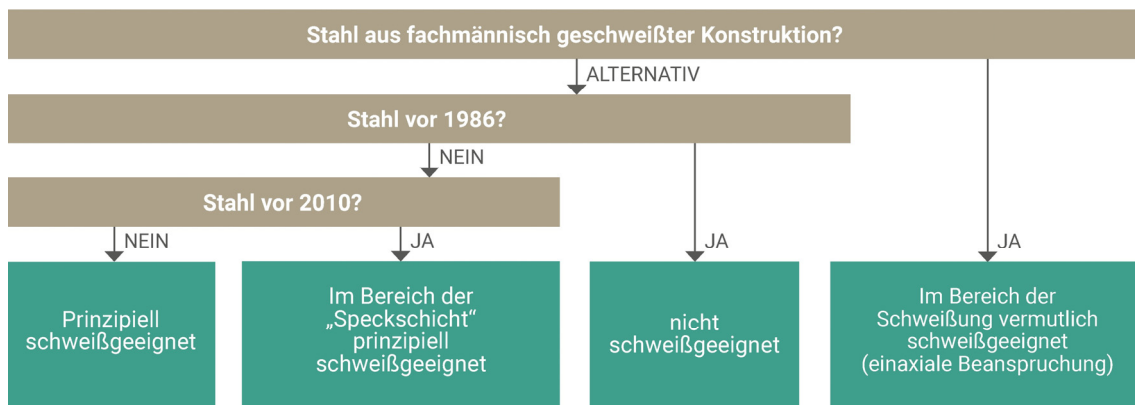


Abbildung A. 6: Abschätzung der Schweißbeignung

A.4.5 Prüfung von Schweißnähten

Sollen Bauteile mit tragenden Schweißnähten wiederverwendet werden, sind folgende Schritte durchzuführen:

- 100% Sichtprüfung mit Zuordnung entsprechend zu einer Bewertungsgruppe
- ZfP-Prüfung abhängig von der Ausführungsklasse (siehe EN1090-2 Tabelle 24)

Ist die Qualifikation des ursprünglichen Stahlbauunternehmens nicht bekannt, dürfen Bauteile aus Baujahren vor 2009, die der Klasse A nach DIN 18800-7 zugeordnet werden, nur in EXC 1 wiederverwendet werden. Bauteile wurden nach DIN 18800-7 der Klasse A zugeordnet, wenn folgende Bedingungen erfüllt waren:

- Werkstoffe: unlegierte Baustähle mit Festigkeiten bis S275
- Erzeugnisdicken $t \leq 16$ mm, bei anzuschweißenden Kopf- und Fußplatten $t \leq 30$ mm
- Bauteile (vorwiegend ruhend beansprucht) mit einfachen oder untergeordneten Schweißnähten, wie
 - Stützen mit Kopf- und Fußplatten aus Walzprofilen ohne Stöße und Einspannung
 - Treppen in Wohngebäuden bis 5 m Länge (in Lauflinie gemessen)
 - Geländer mit anzusetzender Horizontallast in Holmhöhe $0,5$ kN/m

Eine Wiederverwendung von Bauteilen mit tragenden Schweißnähten in EXC3 und unter Ermüdungsbeanspruchung in EXC2 ist durch diesen Leitfaden nicht abgedeckt und bedarf zusätzlicher Untersuchungen unter Beteiligung eines qualifizierten Sachverständigen.

A.4.6 Prüfung von verzinkten Bauteilen

Sollen verzinkte Bauteile wiederverwendet werden, sind an allen diesen Bauteilen die folgenden Schritte durchzuführen:

- Bestimmung der Schichtdicke mit magnetinduktiven Verfahren (ISO 2808)
- Vergleich realer mit erforderlicher Schichtdicke (abhängig von Exposition n. ISO 12944)

Wurden die Bauteile zwischen 2000 und 2009 verzinkt², sind zusätzlich die Prüfungen nach DAST-Richtlinie 22 durchzuführen (Gefahr der flüssigmetallinduzierten Spannungsrisskorrosion).

A.4.7 Prüfung von beschichteten Bauteilen

Eine pauschale Aussage über die Restschutzdauer von organischen Korrosionsschutzsystemen und reaktiven Brandschutzbeschichtungen ist mit den zur Verfügung stehenden technischen Verfahren derzeit nicht möglich. Sollen beschichtete Bauteile wiederverwendet werden und deren Beschichtung definierte Anforderungen erfüllen, sind Untersuchungen unter Beteiligung eines qualifizierten Sachverständigen erforderlich.

A.4.8 Prüfung von ermüdungsbeanspruchten Bauteilen

Bauteile, die einer Ermüdungsbeanspruchung ausgesetzt waren, dürfen grundsätzlich keiner erneuten Ermüdungsbeanspruchung ausgesetzt werden. Für einen späteren Einsatz unter vorwiegend ruhender Beanspruchung ist eine Sichtprüfung auf erkennbare Risse am gesamten entschichteten Bauteil durchzuführen (100% visuelle Prüfung, VT). Zusätzlich sind die Hotspots der maßgebenden Kerbdetails mit geeigneten zerstörungsfreien Prüfmethoden (Magnetpulver- oder Farbeindringprüfung) auf Risse zu untersuchen.

A.5 Aufbereitung

Handlungsempfehlungen zur Aufbereitung von Stahlbauteilen sind:

- Entfernen aller oberflächlichen Fremdmaterialien und Schadstoffe,
- Entfernen bestehender Anstriche und Beschichtungen, bspw. durch Reinigungsstrahlen mit Absauganlage,

² Siehe auch: Hinweise zur Einschätzung von Art und Umfang weiter zu untersuchender Stahlkonstruktionen hinsichtlich möglicher Schäden aus dem Feuerverzinkungsprozess und des Schadensfolgepotentials durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten, Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz (ARGEBAU), Juni 2010

- Nachschneiden der thermisch beanspruchten Schnittkanten nach Einsatz eines Schneidbrenners mit einer Metallsäge. Gemessen von der Schnittkante, sollte dabei mindestens eine Länge entsprechend der fünffachen Materialdicke abgeschnitten werden,
- Reinigen der Bauteiloberflächen,
- Prüfung der Verzinkung auf Beschädigungen nach dem Wiedereinbau.

A.6 Bemessung

Es wird empfohlen, für Stabilitätsnachweise im Vergleich zur Anwendung des Eurocode 3 nur einen reduzierten Grenzausnutzungsgrad von 90 % zuzulassen. Die Bemessung sollte elastisch-plastisch erfolgen. Bei Anwendung einer plastisch-plastischen Bemessung sollte die Bruchdehnung durch einen Zugversuch bestimmt und nicht durch konservative Annahmen festgelegt werden.

Teil B Materialspezifische Festlegungen Holzbau

B.1 Allgemeine Anmerkungen

Der Anhang B dieses Leitfadens ist anwendbar auf folgende Bauteile aus Nadelholz:

- Schnittholz (ohne Keilzinkenverbindungen³)
- Brettschichtholz (ohne Universal-Keilzinkenverbindungen³) – davon ausgeschlossen ist Brettschichtholz, welches mit Harnstoffharz-(UF-)Klebstoff⁴ hergestellt wurde. Dieser Klebstoff kam in den Jahren 1950 bis 2007 zum Einsatz.
- Verbundbauteile aus Brettschichtholz (Ausschlusskriterium w.o.) und Schnittholz
- OSB-Platten

B.2 Bestandsanalyse

B.2.1 Erstprüfung

Folgende Extremeinwirkungen und Zustandsmerkmale schließen im Zusammenhang mit diesem Leitfaden eine Wiederverwendung von betroffenen Holzbauteilen bzw. betroffenen Teilen davon aus:

- Schädigung verursacht durch Brandeinwirkung – sofern eine Verkohlung von mehr als $d_{\text{char}} = 5 \text{ mm}$ vorliegt
- Schädigung verursacht durch außergewöhnliche Einwirkungen, bspw. Erdbeben, Explosion, Anprall
- großflächig zerstörte Holzstruktur, z. B. durch Insektenbefall oder Fäulnis
- Faserbruch
- Druckfalten
- geklebte Bauteile mit Klebstoffen des Klebstofftyp II nach DIN EN 301 (2023),
- Anzeichen für nicht ordnungsgemäße Verklebung (z. B. Fugendicken oberhalb der zulässigen Werte, nicht ordnungsgemäßes Keilzinkenbild in den Lamellen)

B.2.2 Detailprüfung

In Tabelle B.1 sind relevante Merkmale zur Begutachtung von Holzbauteilen aufgelistet, die bei der Bewertung durch eine fachkundige Person berücksichtigt werden sollten.

³ Bei keilgezinktem Vollholz und Brettschichtholz mit Universal-Keilzinkenverbindungen sind die Angaben dieses Anhangs um Festlegungen zur Bewertung der Keilzinkenverbindungen zu ergänzen.

⁴ Hinweise zur Einschätzung von Art und Umfang zu untersuchender harnstoffharz-verklebter Holzbauteile auf mögliche Schäden aus Feuchte- oder Temperatureinwirkungen durch den Eigentümer / Verfügungsberechtigten, Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz (ARGEBAU), Juni 2010

Die abschließenden Abmessungen und Verformungen der Bauteile sind im ausgebauten Zustand zu ermitteln.

Bei Konstruktionsvollholz (nicht keilgezinktes technisch getrocknetes Vollholz und keilgezinktes technisch getrocknetes Vollholz) für den nicht-sichtbaren Bereich sind häufig durchlaufende auf- oder eingedruckte Markierungen zu finden.

Tabelle B.1: Begutachtungsmerkmale zur Wiederverwendung von Holzbauteilen

Merkmal	Anzeichen
Oberfläche	<ul style="list-style-type: none"> - Verschmutzung - Verfärbung, Vergrauung - Anstrich, Holzschutzmittel (HSM) - Feuchtestellen (aus vorhandener oder vergangener Durchfeuchtung) - Schimmelpilze, Algen - Rußablagerung, Brandflecken, Verkohlung
Fäulnis/Korrosion, Insektenbefall	- örtliche oder flächige Auflösung des Holzzellgefüges
Verformung a) planmäßig b) unplanmäßig	zu a) <ul style="list-style-type: none"> - Überhöhung (global) zu b) <ul style="list-style-type: none"> - Durchbiegung (global) - Verdrehung (global) - Knicken/Beulen (global) - Schiefstellung (global) - Krümmung (global/lokal) - Deformation (lokal)
Riss	detektierbar in <ul style="list-style-type: none"> - Holz - Klebstofffuge
Klebstoff	- Klebstofftyp, (i.A. Informationen zum Klebstoff, die Rückschlüsse auf eine mögliche Verklebung mit Kasein oder Harnstoffharzen zulassen)
Querschnittsschwächung	- bspw. Bohrloch, Durchbruch, Ausnehmungen
Defekt (Beschädigung)	- bspw. Faserbruch, Druckfalten, z. B. aus Anprall
Abnutzung	- örtlicher oder flächiger Materialabtrag
Schadstoffe/Holzschutzmittel (HSM)	Im Verdachtsfall Analyse auf: <ul style="list-style-type: none"> - Arsen (Wirkstoff in HSM) - Kupfer (Wirkstoff in HSM) - Quecksilber (Wirkstoff in HSM) - Blei (Farbpigmente in Farben) - Chrom (Farbpigmente in Farben, HSM) - Chlor (PCB) (Flammschutzmittel in Farben und Lacken, beachte PCB-Richtlinie) - Fluor (Wirkstoff in HSM) - PCP (Pentachlorphenol) (Wirkstoff in HSM, beachte PCP-Richtlinie) - Lindan (HCH) (Wirkstoff in HSM) - DDT (Wirkstoff in HSM) - Teeröl (PAK) (Wirkstoff in HSM)

Bei Brettschichtholz hat während der Herstellung eine Sortierung stattgefunden. Dauerhaft lesbare Kennzeichen an den Flanken von Brettschichtholz oder Dokumentation wie Lieferscheine oder Leimbuch ermöglichen idealerweise eine Aussage zur Festigkeitsklasse. Sofern auf den Bauteilen lesbare Übereinstimmungszeichen oder CE-Zeichen angebracht sind, ist darauf zu achten, dass diese bei der Demontage nicht entfernt oder zerstört werden, um eine Reklassifikation zu erleichtern.

Holz weist häufig oberflächliche Verwitterungs- und Gebrauchsspuren auf (unbedenkliche kleine Schwindrisse, Vergrauung, Auswaschung, Verschmutzung). Daher sollte das Aussehen nicht alleinige Entscheidungsgrundlage sein.

B.3 Rückbau und Demontage

Folgende Schritte sollten in der angegebenen Reihenfolge durch eine fachkundige Person durchgeführt bzw. begleitet werden, siehe auch Flussdiagramm in Abb. B.1:

1. In Verdachtsfällen eine Baustoffanalyse (Schad- und Störstofferkundung) z. B. durch eine akkreditierte Prüfstelle in Abhängigkeit vom quantitativen und qualitativen Wiederverwendungspotenzial z. B. durch Beprobung im Labor auf Basis von Bohrkernen oder durch eine mobile Laboreinheit. Holzbauteile wurden vorwiegend bis zum Jahr 2000 mit Holzschutzmitteln behandelt.
2. Entscheidung für oder gegen eine schonende Demontage unter Berücksichtigung der Lösbarkeit von Verbindungsmitteln
 - a) Im Falle einer Entscheidung dagegen → selektiver Abbruch/Rückbau
 - b) Im Falle einer Entscheidung dafür → weiter mit Schritt 3
3. Massenermittlung, Holzqualität, verwendete Verbindungsmittel
4. Organisatorische, technische und handwerkliche Planung sowie Durchführung der Demontage. Die Holzbauteile sind durchgehend gegen Niederschlag zu schützen.
 - a) Abtransport in ein Sekundär-Rohstoff-Zentrum, zum Baustoffhändler, in ein überdachtes Zwischenlager o. ä. zur weiteren Untersuchung und Aufbereitung
 - b) Direkter Transport zu einem Bauvorhaben nach in situ-Untersuchung und eventuell in situ-Aufbereitung.

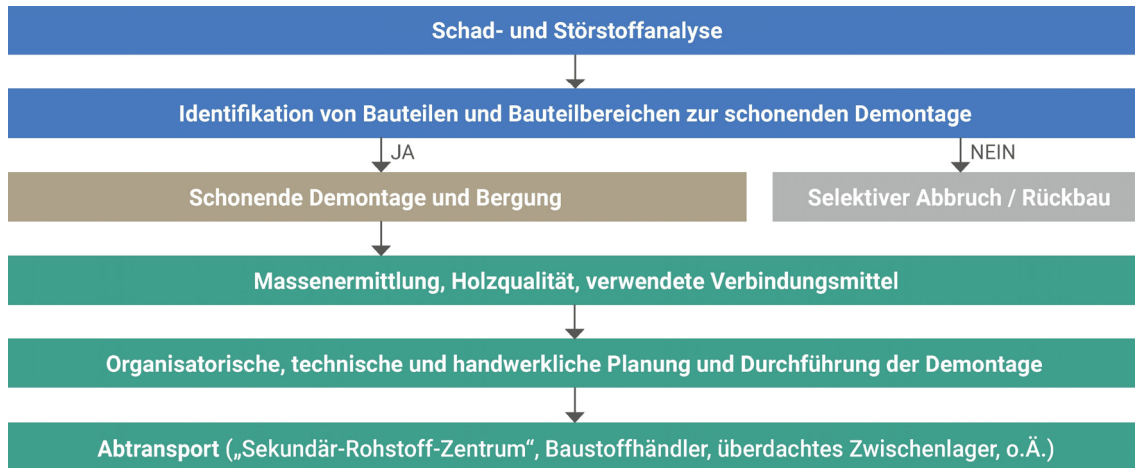


Abbildung B.1: Schritte einer schonenden Demontage und Bergung

B.4 Analyse der physikalischen und mechanischen Eigenschaften

B.4.1 Allgemeine Anmerkungen

Zur Quantifizierung der physikalischen und mechanischen Eigenschaften können zerstörungsfreie bzw. -arme und zerstörende Prüfverfahren angewendet werden. Zerstörungsfreie und zerstörende Prüfungen sind im Zusammenhang mit vier unterschiedlichen negativen Einflüssen auf die anfängliche technische Integrität zu sehen, siehe Abbildung B.2. Es sollten soweit möglich nur Verschlechterungen aufgrund von natürlicher Abnutzung mittels Prüfungen (zerstörungsfrei oder zerstörend) quantifiziert werden. Verschlechterungen aufgrund von nicht natürlicher Abnutzung, Demontage und Schwächungen aus der Erstverwendung sind jeweils gesondert zu berücksichtigen, siehe Ebene 2 bzw. 3 in Abbildung B.2.

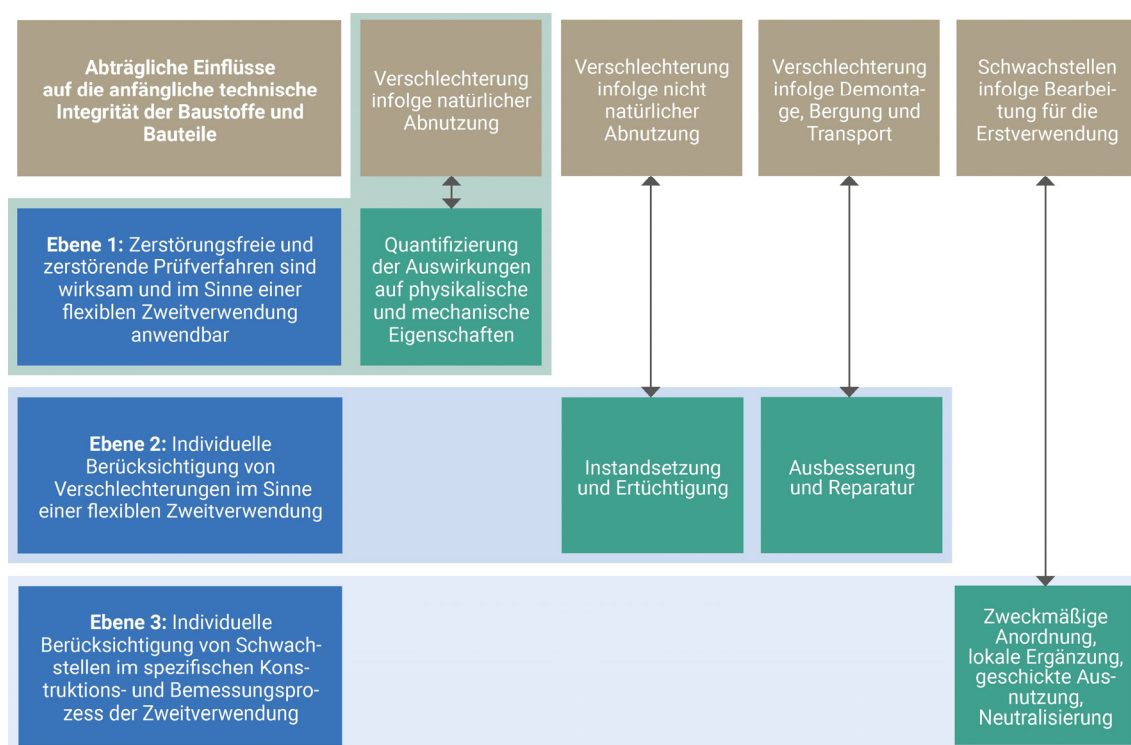


Abbildung B.2: Ebenen des technischen Umgangs mit wiederzuverwendenden Holzbaustoffen und Holzbauteilen

B.4.2 Zerstörende Prüfverfahren

Um möglichst viele Bauteile wiederverwenden zu können, sollten zerstörungsarme (Abschnitt B.4.3) oder bestenfalls zerstörungsfreie Prüfverfahren (Abschnitt B.4.4) zum Einsatz kommen.

In Ausnahmefällen können zerstörende Prüfverfahren in Frage kommen. Sie sind dann geeignet, wenn ausreichend viele gleichartige Bauteile geborgen werden (zahlenmäßig umfangreiches Kollektiv) und daher ein Teil davon zerstörend geprüft werden kann. Für die Bestimmung des lokalen Biege-Elastizitätsmoduls und der Biegefestigkeit in Faserrichtung ist DIN EN 408:2012-10 anzuwenden. Die zu prüfenden Stücke sind so auszuwählen und die Prüfbereiche sind so festzulegen, dass sie jeweils für das geborgene Kollektiv repräsentativ sind. Es sollten mindestens 40 Prüfkörper für eine Stichprobe vorgesehen werden. Bei geringer Variabilität der Rohdichte, Festigkeit und des Elastizitätsmoduls kann die Stichprobe auf minimal 20 reduziert werden.

B.4.3 Zerstörungsarme Prüfverfahren – Bohrkerne

Zur Bestimmung von Angaben zu Holzart, lokaler Rohdichte, Klebstofftyp, Qualität von Klebstoffugen nach DIN EN 14080:2013-09 (Scherprüfungen, Delaminierungsprüfungen), Art von Oberflächenbehandlungen und eventuell zu mechanischen Eigenschaften von kleinen fehlerfreien Proben können Bohrkerne entnommen werden. Sie eignen sich auch (z. B. bei umfangreicheren Kollektiven), um an für das Gesamtbauteil repräsentativen Stellen den Allgemeinzustand des Holzes zu beurteilen. Dem Untersuchungszweck entsprechend können unterschiedliche

Durchmesser zwischen 10 und 40 mm gewählt werden, wobei sich ein Durchmesser von 35 mm (Außendurchmesser Bohrkronen 50 mm) etabliert hat. Die Entnahme von Bohrkernen für die Prüfung darf das Bauteil, aus dem sie entnommen werden, nicht für eine Wieder- oder Weiterverwendung unbrauchbar machen.

Bei der Bohrkernentnahme sind in Abhängigkeit vom Ziel der Untersuchung zwei Bereiche zu unterscheiden:

1. Sollen gezielt Auswirkungen von Verschlechterungen infolge natürlicher Abnutzung oder aufgrund von hohen Beanspruchungen quantifiziert werden, sind Bohrkernentnahmen in entsprechenden Bereichen zu entnehmen. Nach der Bohrkernentnahme sind die Bohrlöcher mit passenden Holzzyllindern in Übereinstimmung mit der umgebenden Faserrichtung vollständig zu verschließen und fugenfüllend zu verkleben, so dass die Bohrkernentnahme keine zusätzliche Schwächung darstellt.

2. Sollen Angaben zur Holzart, Rohdichte, Klebstoffart, Qualität der Verklebung, Scherfestigkeit, Oberflächenbehandlung o. ä. anhand von Bohrkernen ermittelt werden, sind Bohrkernentnahmen in nur gering schub-, querzug- und biegebeanspruchten Bauteilbereichen zu entnehmen, so dass das Bauteil durch die Entnahme keine nennenswerte zusätzliche Schwächung erfährt.

Für einige der mittels Bohrkernen zu bestimmenden Angaben (Klebstofftyp, Qualität der Klebstoffugen und Oberflächenbehandlung) ist die Hinzuziehung dafür anerkannter oder akkreditierter Prüfstellen erforderlich.

B.4.4 Zerstörungsfreie Prüfverfahren

B.4.4.1 Allgemeine Anmerkungen

Die Möglichkeiten der nachfolgend erläuterten visuellen Sortierung mit oder ohne zusätzlicher maschineller Unterstützung illustriert Abbildung B.3.

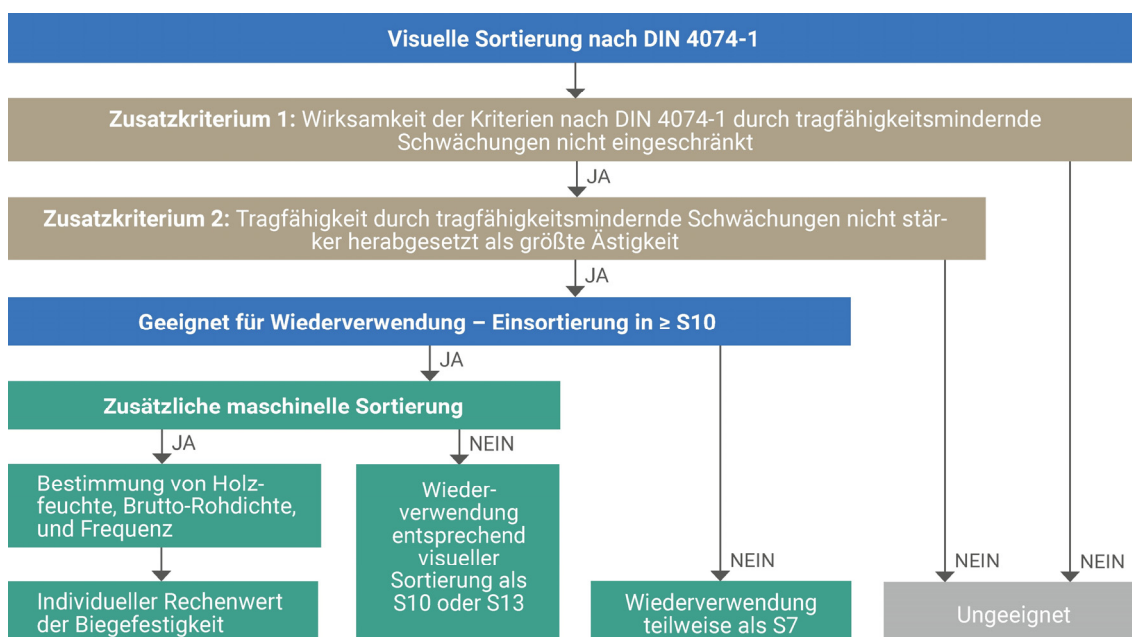


Abbildung B.3: Sortierung von Nadelnschnittholz

Die beiden im Folgenden vorgestellten zerstörungsfreien Sortierverfahren sind auf jedes für eine Wiederverwendung in Betracht kommende Bauteil anzuwenden. Sie sind von einer fachkundigen Person durchzuführen.

B.4.4.2 Visuelle Sortierung von Nadelschnittholz

Für die visuelle Sortierung von Brettern und Bohlen ist DIN 4074-1:2012-06 anzuwenden. Bei bereits für tragende Zwecke verwendetem Nadelschnittholz sind zwei Zusatzkriterien zu beachten:

1. Es muss ausgeschlossen werden, dass in unmittelbarer Nähe zu Einzelästen oder Astansammlungen (siehe Abbildung B.4, links) weitere tragfähigkeitsmindernde Schwächungen durch Erstnutzung oder Demontageschäden – die allein durch Anwendung der Sortierkriterien bewertet werden sollen – vorliegen. Eine unmittelbare Nähe liegt in der Regel dann nicht vor, wenn die tragfähigkeitsmindernde Schwächung oder der Schaden weiter als das größere Querschnittsmaß vom Einzelast oder der Astansammlung entfernt ist.

2. Für Schwächungen und Demontageschäden – die allein durch Anwendung der Sortierkriterien bewertet werden sollen – gilt grundsätzlich, dass sie die Tragfähigkeit nicht stärker herabsetzen dürfen als die größte Ästigkeit. Hierzu können die für Äste geltenden Grenzwerte sinngemäß übertragen werden. Um dem unterschiedlichen Einfluss auf die Tragfähigkeit aus Ästen einerseits und Bohrungen andererseits Rechnung zu tragen, sollten Bohrungen im Randbereich eines Querschnitts mit dem doppelten Bohrlochdurchmesser bewertet werden. Für die Bewertung von faserparallelen Absplitterungen an den Querschnittskanten dürfen die für Baumkante geltenden Grenzwerte verwendet werden.

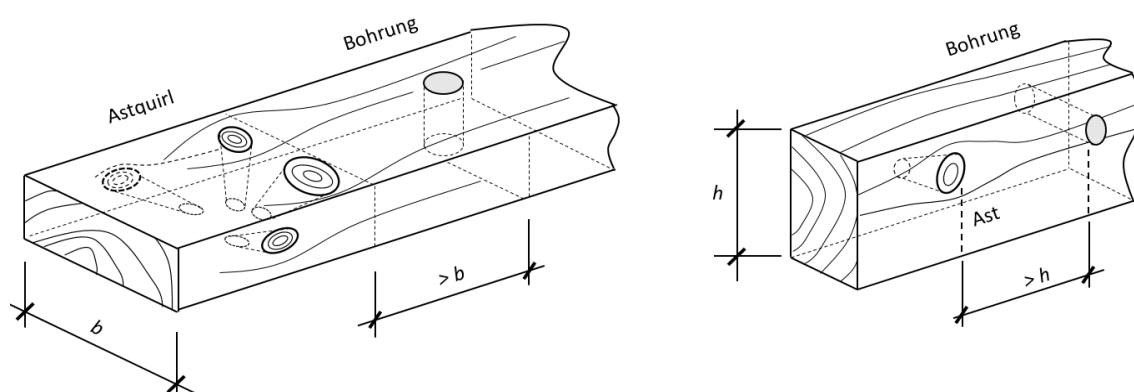


Abbildung B.4: Zusatzkriterium am Beispiel Brett oder Bohle mit Astansammlung und Bohrung (links) und Kantholz mit Ast und Bohrung (rechts)

Für vorwiegend hochkant beanspruchte Bretter und Bohlen sowie für Kantholz gelten bei einer rein visuellen Sortierung nach DIN 4074-1:2012-06 die vorgenannten zwei zusätzlichen Sortierkriterien sinngemäß, siehe Abbildung B.4, rechts.

Durch Kriechen verstärkte Längskrümmungen dürfen bei der Einstufung in eine Sortierklasse unberücksichtigt bleiben, wenn eine Verwendung für stabilitätsgefährdete Bauteile ausgeschlossen ist.

Die Angaben zur visuellen Sortierung können auf eine visuelle Sortierung mit maschineller Unterstützung (Sortiermaschinen) übertragen werden.

B.4.4.3 Kombinierte visuelle und maschinelle Sortierung von Nadelschnittholz

Zusätzlich besteht die Möglichkeit eine kombinierte visuelle und maschinelle Sortierung vorzunehmen. Ein entsprechendes Verfahren ist im Hauptteil des Schlussberichtes erläutert und wird im Folgenden dargestellt. Mit dem Verfahren kann ein Erwartungswert und ein statistisch abgesicherter Wert (z. B. ein 5 %-Quantil) im Sinne eines individuellen Rechenwertes für die Biegefestigkeit berechnet bzw. abgeschätzt werden. Zur Berechnung des 5 %-Quantils wird empfohlen, vom Erwartungswert den mit dem Faktor x multiplizierten Wert der Standardabweichung s_e der Fehlerterme der zugrundeliegenden Regressionsbeziehung, siehe Gleichung (1c) abzuziehen, so dass die „wahre“ unbekannte Biegefestigkeit eines Schnittholzes mit einer Wahrscheinlichkeit von 5 % unter bzw. 95 % über dem individuellen Rechenwert liegt. In Abbildung B.5 ist die Vorgehensweise illustriert.

Im Einzelnen ist folgendermaßen vorzugehen:

Das Nadelschnittholz ist so schonend wie möglich auszubauen, zu bergen und sofort unter Dach trocken zu lagern. Das weitere Verfahren ist für Holz geeignet, das gemäß DIN 4074-1:2012-06 in S10 und besser einsortiert wird. Die Holzfeuchte ist mittels elektrischer Widerstandsmessung zu ermitteln. Es werden Breite (b), Höhe/Dicke (h), Länge (l), Masse (m) und die Frequenz einer Längsschwingung 1. Ordnung (f_0) gemessen.

Die Brutorohdichte ρ_{brutto} und der dynamische Elastizitätsmodul E_{dyn} sind nach Gleichung (1a) bzw. (1b) zu berechnen.

$$\rho_{\text{brutto}} = m/(bh) \quad (1a)$$

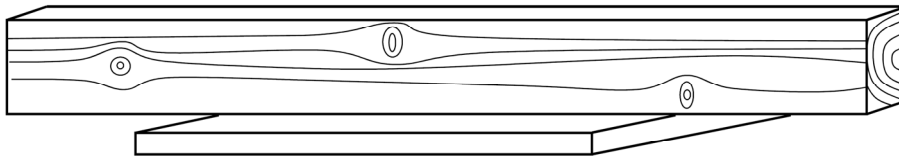
$$E_{\text{dyn}} = (2f_0)^2 \rho_{\text{brutto}} \quad (1b)$$

In Gleichung (1c) wird von jedem Erwartungswert ein Vielfaches (x) der Standardabweichung s_e der Fehlerterme abgezogen, so dass die „wahre“ unbekannte Biegefestigkeit den individuellen Rechenwert ($f_{m,\text{in}}$ in N/mm²) mit einer festzulegenden geringen Wahrscheinlichkeit unterschreitet.

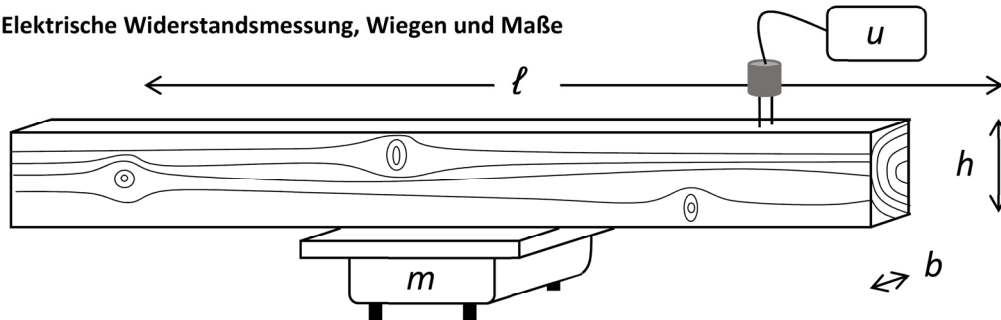
$$f_{m,\text{in}} = 13,4 - 0,0132b - 0,0449h - 0,0414 \rho_{\text{brutto}} + 0,00454E_{\text{dyn}} - x \cdot s_e \quad (1c)$$

Mit der Empfehlung $x = 1,65$ als Faktor zur Berechnung charakteristischer Werte und der Standardabweichung $s_e = 9,32$ wird $x \cdot s_e = 1,65 \cdot 9,32 = 15,4$ N/mm². Die Unterschreitungswahrscheinlichkeit beträgt damit für jedes individuelle Stück nominell 5 %.

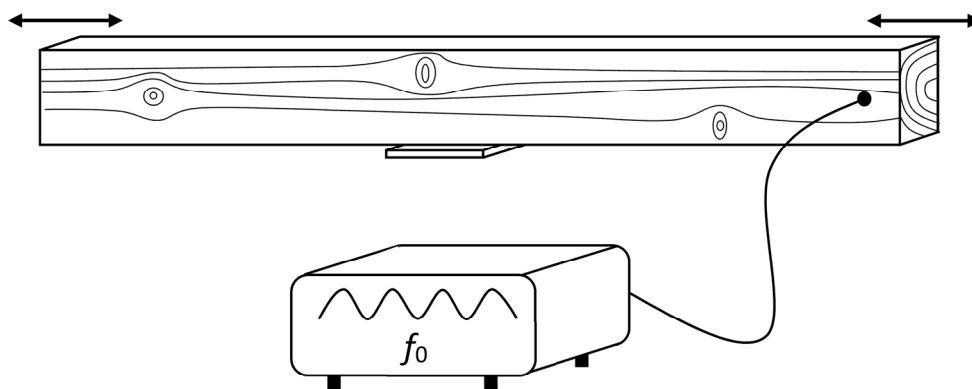
1. Visuelle Sortierung in S10



2. Elektrische Widerstandsmessung, Wiegen und Maße



3. Längsschwingung 1. Ordnung



4. Individuelle geometrische, physikalische und mechanische Eigenschaften

S10 nach DIN 4074-1

Holzfeuchte, Masse, Länge, Breite, Dicke → Bruttorechtdichte

Frequenz → dynamischer Elastizitätsmodul $\approx 105\%$ des statischen Elastizitätsmoduls

→ Erwartungswert und Rechenwert der Biegefestigkeit in Übereinstimmung mit DIN EN 408

Abbildung B.5: Praktische Vorgehensweise der kombinierten visuellen und maschinellen Sortierung

B.4.4.4 Prüfungen an Brettschichtholz

B.4.4.4.1 Allgemeine Anmerkungen

Bretter für Brettschichtholz werden herstellungsbedingt visuell oder maschinell sortiert. Sofern die ursprüngliche Klassifizierung der Lamellen oder des Brettschichtholzes eindeutig feststellbar ist, sollte nach dem Ablauf in Abbildung B.6 verfahren werden.

Die Angaben zu Prüfungen an Brettschichtholz können auf die Prüfung von Balkenschichtholz übertragen werden.

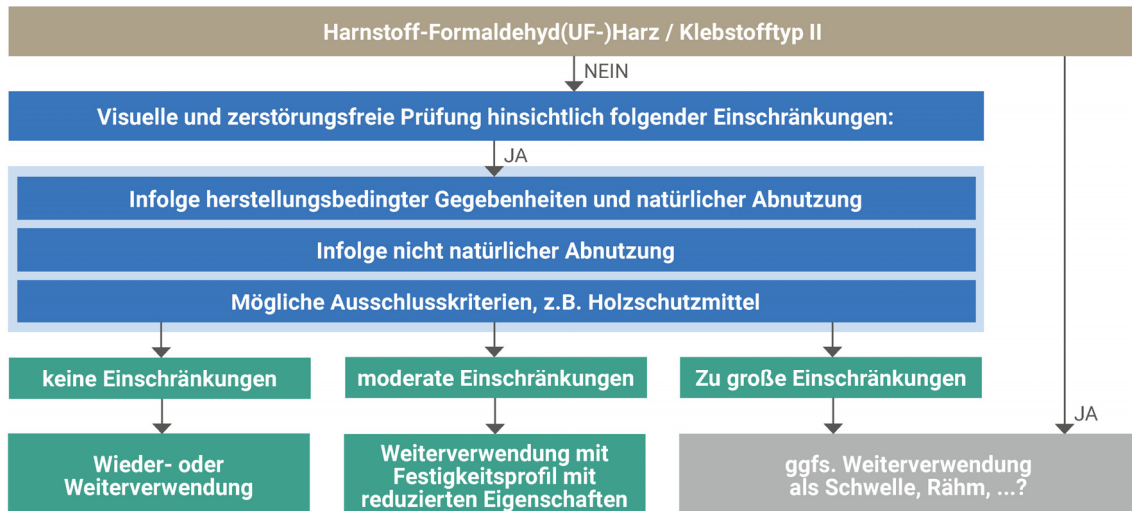


Abbildung B.6: Reklassifikation und Integritätsprüfung von Brettschichtholz

Zunächst liegt der Schwerpunkt zerstörungsfreier Verfahren auf der Feststellung einer möglichen Verschlechterung im Sinne einer natürlichen Abnutzung. Im Allgemeinen sind das:

- Verschlechterungen der Klebstoffugen (z. B. offene Fugen der Schichtverklebung und offene Keilzinken)
- von außen sichtbare Risse
- im Inneren vorhandene, nicht sichtbare (vermutete⁵, bzw. nur an den Hirnholzflächen sichtbare) Risse und Ringschäle
- Scherversagen

Auf Basis dieser Feststellungen sind Tragfähigkeitseinbußen zu quantifizieren.

B.4.4.4.2 Durchzuführende Prüfungen

Folgende Überprüfungen sind für die Beurteilung einer potenziellen Wieder- oder Weiterverwendung von Brettschichtholz durch eine fachkundige Person durchzuführen. Zwischen folgenden Einschränkungen (1 und 2) und Ausschlusskriterien (3a und 3b) ist zu unterscheiden:

1.) Einschränkungen infolge herstellungsbedingter Gegebenheiten und Verschlechterung infolge natürlicher Abnutzung

- Im Vergleich zu Sortierkriterien außergewöhnlich große Ästigkeiten oder Häufungen von übereinanderliegenden Ästigkeiten in den ersten zwei zugbeanspruchten Randlamellen
- offene Keilzinkenverbindungen in den Randlamellen

⁵ Derartige Rissbildungen können z. B. unter folgenden Bedingungen auftreten: starke, schnelle Aufweitung, (z. B. zwischen Herstellung und Nutzung oder zwischen Nutzung und Umnutzung). Auch starke, von außen sichtbare Rissbildung kann ein Indiz für im Inneren vorhandene Rissbildung sein. Zur Bewertung, siehe Abs. B.4.4.4.2.

- Schwindrisse und offene Klebstoffugen – Empfehlung: $t \leq b/8$ je Seite mit 0,1-mm-dicker Fühlerblattlehre gemessen (Abbildung B.7, links)
- im Inneren von BS-Holz vorhandene, nicht sichtbare (vermutete⁵ bzw. nur an den Hirnholzflächen sichtbare) Schwindrisse und Ringschäle – Empfehlung: $t \leq b/4$, (Abbildung B.7, rechts)
- Verformungen wie Krümmungen und Verdrehungen
- mechanischer Verschleiß, z. B. infolge Abrieb, Reinigung
- Verfärbung, darunter auch Feuchtespuren ohne weitere Feuchteanreicherung

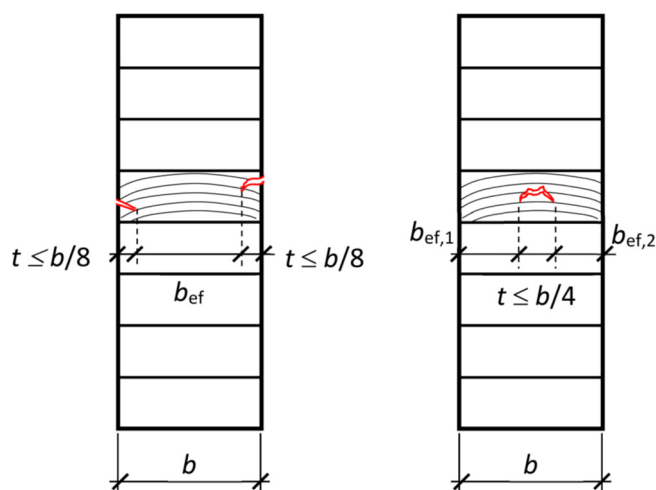


Abbildung B.7: Von außen messbare (links) und innere Schwindrisse (am Hirnholz feststellbar) (rechts) im Querschnitt von Brettschichtholz

2.) Einschränkungen infolge nicht natürlicher Abnutzung

- Anreicherung von Feuchte im Bauteil ($u > 20\%$), z. B. infolge Dachundichtigkeiten oder unplanmäßigem Tauwasser
- Fäulnis bzw. Pilzbefall
- Insektenbefall
- Beeinträchtigungen infolge nicht bestimmungsgemäßer Nutzung (z. B. tragfähigkeitsmindernde Schäden infolge Stoß/Anprall)
- Beeinträchtigungen infolge unzureichender Instandhaltung (z. B. Undichtigkeiten, Feuchteanreicherung an Abflüssen, fehlende Verstöpselungen)
- Schäden infolge Vernachlässigung und Vandalismus (z. B. Kerben, Löcher)

3.a) Mögliche Ausschlusskriterien

- Holzschutzmittel und schadstoffbelastete Anstriche
- Innenliegende Störstoffe die beim Auftrennen zu kleineren Bauteilen und beim Hobeln besonders zu berücksichtigen sind, z. B. Nagelreste, Klammern, nicht lösbare Schrauben

3.b) Ausschlusskriterien

- Brettschichtholz mit Harnstoffharz-(UF-)Klebstoffen; weiterführende Hinweise finden sich im Brettschichtholz-Merkblatt zur Bewertung von Klebstoffugen in Brettschichtholzbauteilen im Bestand (Studiengemeinschaft Holzleimbau 2021)

Einige im Rahmen einer Integritätsprüfung gesuchte Informationen können mittels der Untersuchung von aus Brettschichtholz entnommenen Bohrkernen ermittelt werden (zerstörungsarmes Prüfverfahren siehe Abs. B.4.3). Für manche der mithilfe von Bohrkernen zu bestimmenden Informationen (Klebstofftyp, Qualität der Klebstoffugen, Oberflächenbehandlung) ist die Hinzuziehung dafür anerkannter oder akkreditierter Prüfstellen erforderlich.

B.4.4.4.3 Bewertung der Ergebnisse

Die im Rahmen der Prüfungen erhaltenen Informationen sind durch eine fachkundige Person zu bewerten. Anschließend ist für jedes einzelne Brettschichtholzbauteil zu entscheiden, ob dieses mit einem vollständigen Festigkeitsprofil wiederverwendet werden darf, ob dieses mit einem Festigkeitsprofil mit reduzierten Werten einer Weiterverwendung zugeführt werden kann oder ob ohne Aufbereitung keine Weiterverwendung möglich ist. In Festigkeitsprofilen mit reduzierten Werten können bspw. verringerte Schubfestigkeiten ($f_{v,red}$) oder Querkzugfestigkeiten ($f_{t,90,red}$) angegeben werden, welche die Auswirkungen größerer (über die normativ abgedeckten Risskriterien hinausgehende) Risse und/oder die Möglichkeit des weiteren Wachstums vorhandener Risse im Rahmen der erneuten Nutzung miteinbeziehen (Abnutzungsvorrat).

B.4.4.5 Prüfungen an OSB-Platten

Ursprünglich geschraubte und sorgfältig von der Unterkonstruktion gelöste OSB-Platten sollten mit einfachen Sichtkontrollen und haptischen Tests geprüft werden. Sie dürfen nur bei technischer Integrität für eine Wieder- oder Weiterverwendung in Betracht gezogen werden. Folgende Kriterien werden empfohlen, siehe auch Flussdiagramm in Abbildung B.8:

- Platten nicht rissig, nicht wellig und nicht verzerrt
- Farblich und geruchlich ohne nennenswerte Einschränkung
- Schnittkanten mit einheitlicher Dicke, nicht ausgefranst oder aufgequollen
- Holzspäne unmittelbar an der Oberfläche fest mit unteren Lagen verbunden und nicht „schuppig“
- Löcher aus Erstverwendung nicht übermäßig aufgeweitet oder ausgebrochen

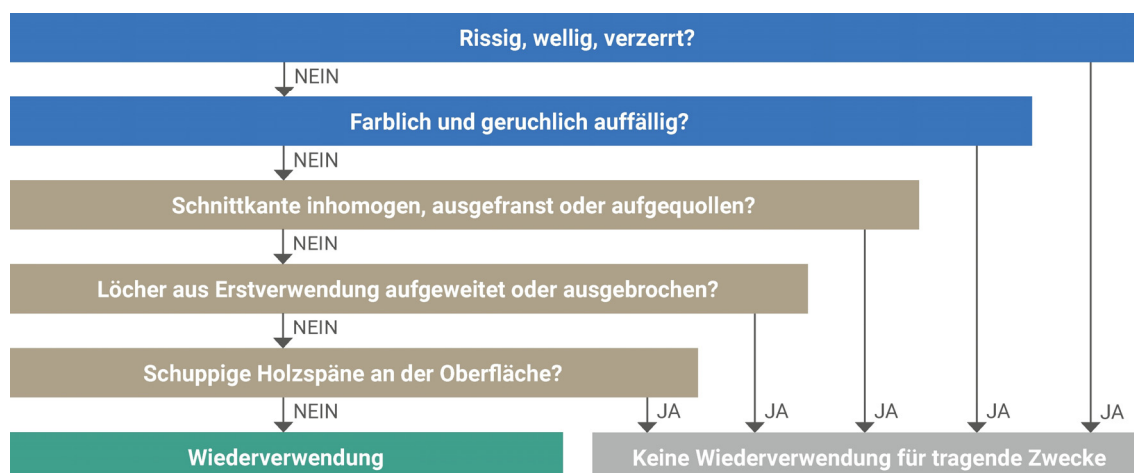


Abbildung B.8: Integritätsprüfung von OSB-Platten

B.5 Aufbereitung

Handlungsempfehlungen zur Aufbereitung von Holzbauteilen sind:

- Entfernen aller oberflächlichen Fremdmaterialien und Schadstoffe
- Entfernen verborgener Metallteile nach Lokalisierung mittels Metalldetektor
- ggf. Entfernen bestehender Anstriche, bspw. durch Sandstrahlen mit Absauganlage
- ggf. Besäumen, Abrichten oder Hobeln des Holzquerschnittes auf ein gängiges rechtwinkliges Querschnittsmaß
- Reinigen der Bauteiloberflächen

B.6 Entwurf und Bemessung

B.6.1 Allgemeine Anmerkungen

Eine Einstufung in eine Festigkeitsklasse im Zuge einer Reklassifikation ist getrennt von der Frage zu betrachten, wie lange ein wieder- oder weiterzuverwendendes Holzbauteil während der zweiten Nutzungsdauer seine tragende Funktion zuverlässig erfüllen muss. Das Bauteil hat während der ersten Nutzungsdauer eine Belastungshistorie aus ständigen und veränderlichen Lasten erfahren, die es nach der Demontage nicht „vergisst“. Für eine Wieder- oder Weiterverwendung vorgesehene Bauteile dürfen daher nicht ohne Weiteres wie ein neues Bauteil bemessen werden.

Es ist nicht möglich, die Auswirkung der Belastungsgeschichte der ersten Nutzung auf die Tragfähigkeit während der zweiten Nutzungsdauer genau abzuschätzen. Daher wird ein Ansatz vorgeschlagen, bei dem mit pauschal reduzierten Modifikationsbeiwerten (k_{mod} -Werten) bemessen wird. Dieses Format setzt Sachkunde und einschlägige Erfahrung voraus.

B.6.3 Konservative Annahmen

Bestehen Zweifel am Ausmaß der abträglichen Einflüsse auf die technische Integrität der Baustoffe und Bauteile, ist die Hinzuziehung einer besonders fachkundigen Person anzuraten. Unabhängig davon können u. a. folgende planerische Maßnahmen, abhängig von der jeweiligen Situation des Einzelfalls, die Robustheit in den betroffenen Teilbereichen des Tragwerks aus wieder- und weiterzuverwendendem Holz günstig beeinflussen:

- Verwendung in Konstruktionen mit Druckbeanspruchung in und quer zur Faserrichtung (z. B. gedrungene Stützen bzw. Schwellen)
- Entscheidung für Tragwerksentwürfe, deren globales Gleichgewicht insbesondere auf der Druck- und Biegetragfähigkeit in Faserrichtung beruht (günstige Wirkung der halbquadratischen Interaktion bei Druck und Biegung)
- Verzicht auf spaltgefährdete Verbindungen
- Vermeidung von last- und geometriebedingten Querkzugbeanspruchungen, z. B. keine Wiederverwendung von Satteldachträgern ohne Querkzugverstärkung im Firstbereich; Vermeidung von zugbeanspruchten angeschnittenen Rändern bei Brettschichtholz
- Angabe von Festigkeitsprofilen mit reduzierten Werten, z. B. reduzierte Schubfestigkeit oder zu null gesetzte Querkzugfestigkeit

B.6.4 Angepasste Modifikationsbeiwerte k_{mod}

Die den Modellen zur Berücksichtigung der Lasteinwirkungsdauer zugrundeliegende Annahme einer linearen Schadensakkumulation ermöglicht es, bei gleichbleibender Nutzungsklasse, die Lasteinwirkungsdauer im maßgebenden Lastfall der ursprünglichen Nutzung und die maßgebende Lasteinwirkungsdauer der erneuten Nutzung eines wiederzuverwendenden Bauteils zu addieren. Unter Zugrundelegung des annähernd linearen Zusammenhangs zwischen Lasteinwirkungsdauer im logarithmischen Maßstab und Abminderung lassen sich mittels dieser (verlängerten) Lasteinwirkungsdauer $KLED_{\text{reuse}}$ auch Modifikationsbeiwerte $k_{\text{mod, reuse}}$ bestimmen.

Diesem Ansatz folgend sind Modifikationsbeiwerte für eine Bemessung von wiederzuverwendenden Holzbauteilen, $k_{\text{mod, reuse}}$, nach Gleichung (2), mit dem Abminderungsbeiwert $k_{\text{red, reuse}}$ zu ermitteln. Die Beanspruchbarkeit des wiederzuverwendenden Holzbauteils wird mit diesem Ansatz entsprechend angepasst, so dass zeitlich uneingeschränkt für eine Nutzungsdauer von z. B. mindestens 50 Jahren ein weiteres Mal bemessen werden kann. Für die Bemessung ist k_{mod} unter Ansatz der ungünstigeren KLED aus bisheriger oder erneuter Nutzung zu verwenden.

$$k_{\text{mod, reuse}} = k_{\text{red, reuse}} \cdot k_{\text{mod}} \quad (2)$$

Dabei ist

$$k_{\text{red, reuse}} = 1,00 \quad \text{für KLED: (sehr) kurz, mittel in der bisherigen und/oder erneuten Nutzung}$$

$$k_{\text{red, reuse}} = 0,90 \quad \text{für KLED: ständig, lang in der bisherigen und erneuten Nutzung}$$

Es ist wichtig festzuhalten, dass eine ausschließliche Betrachtung der Nutzungsdauer bzw. Belastungsdauer bei der Bemessung von Holzbauteilen für die Wiederverwendung nicht ausreichend ist. Weitere Faktoren wie das bisherige und zukünftige Umgebungsklima und die bisherige und zukünftige Belastungsart sind mit in die Betrachtung einzubeziehen und durch eine fachkundige Person zu bewerten.

Anhang II: Regressionsanalyse

Regressionsbeziehungen bei Brettlamellen und Kanthölzern, S10 und S13
 08:24 Thursday, July 4, 2002 63

Model: MODEL6

Dependent Variable: FM

Biegefestigkeit von B+K

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	4	42975.93646	10743.98411	123.723	0.0001
Error	436	37861.68545	86.83873		
C Total	440	80837.62190			

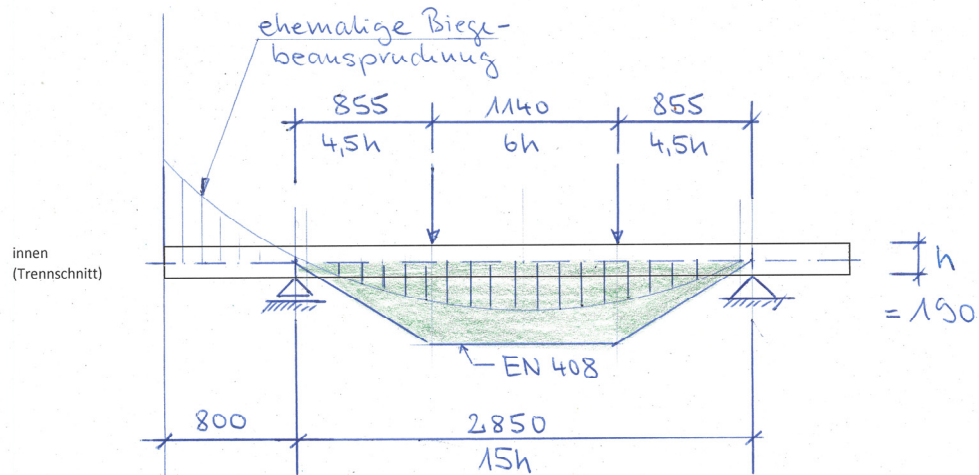
Root MSE 9.31873 R-square 0.5316
 Dep Mean 46.47711 Adj R-sq 0.5273
 C.V. 20.05015

Parameter Estimates

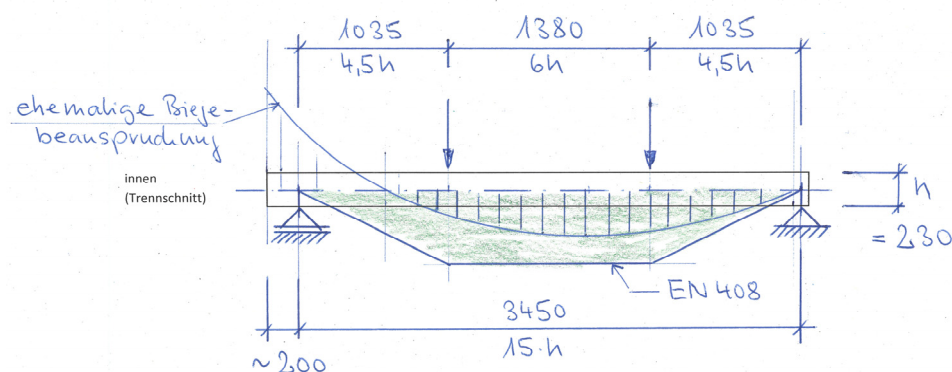
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T	Variable Label
INTERCEP	1	13.386135	5.16399629	2.592	0.0099	Intercept
BREITE	1	-0.013174	0.01052820	-1.251	0.2115	Breite b (Brettlamellen und Kanthölzer)
DICKE	1	-0.044870	0.00781071	-5.745	0.0001	Dicke d (Brettlam.), Höhe h (Kanthölzer)
ROHTR	1	-0.041357	0.01603805	-2.579	0.0102	Bruttorehndichte nach techn. Trocknung
EDYNTR	1	0.004539	0.00032022	14.175	0.0001	Dynamischer E-Modul aus Längsschwingung

Anhang III: Biegeversuche Holzbalken

Versuchsaufbau



Dachbalken (4 Hälften aus 2 Zweifeldträgern)



Kellerbalken (2 Hälften aus einem Zweifeldträger)

Erläuterungen zum Versagen

Balkenhälfte	ρ (EN 408)	Beobachtungen
D2Nord:	386 kg/m ³	Biegezugversagen ausgehend von einem nennenswerten Ausbauschaden
D2Süd:	378 kg/m ³	Biegezugversagen ausgehend von „großem“ Ast + etwas Baumkante in der Biegezugzone
D5Nord:	437 kg/m ³	Biegezugversagen ausgehend von „großem“ Ast und überwallter Verletzung
D5Süd:	416 kg/m ³	Biegezugversagen ausgehend von Ast und Fraßgängen (Hausbocklarven) + etwas Baumkante in der Biegezugzone
K2Nord:	473 kg/m ³	Aufspalten der Druckzone (vergleichbar Stabilitätsversagen) ausgehend von Fäulnis
K2Süd:	461 kg/m ³	Biegezugversagen ausgehend von „großem“ Ast + etwas Baumkante in der Biegezugzone

Versuchsauswertung

Obs	VERSUCH	INDEX	Typ	EMODUL	maxF_ halbe	FM
1	1	K2Nord	Kell	13087	40.9487	42.09
2	2	K2Sued	Kell	14309	28.7148	29.57
3	3	D2Sued	Dach	11095	25.4708	30.05
4	4	D2Nord	Dach	11459	27.0927	31.95
5	5	D5Nord	Dach	11165	34.4021	41.16
6	6	D5Sued	Dach	9554	24.1158	29.06

The UNIVARIATE Procedure
Variable: FM (Biegefestigkeit in N/mm²)

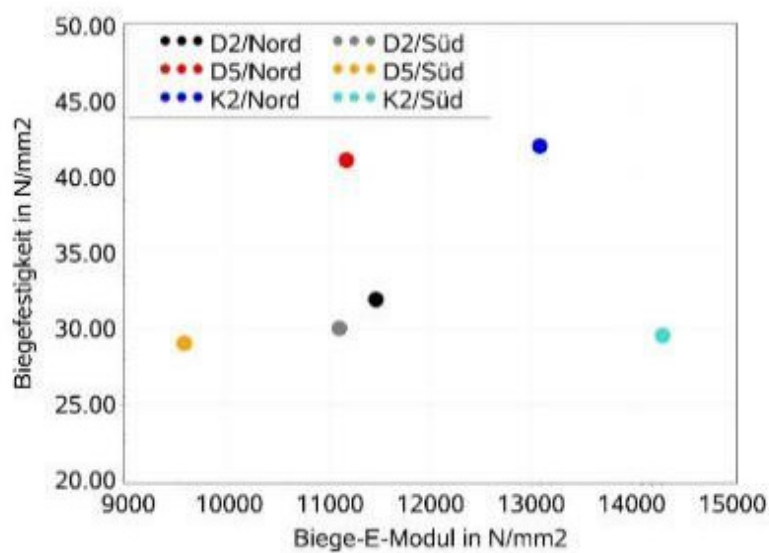
Moments

N	6	Sum Weights	6
Mean	33.9798231	Sum Observations	203.878939
Std Deviation	6.01018661	Variance	36.1223431
Skewness	0.8703703	Kurtosis	-1.8455407
Uncorrected SS	7108.38198	Corrected SS	180.611715
Coeff Variation	17.6875159	Std Error Mean	2.45364841

The UNIVARIATE Procedure
Variable: EMODUL (Biege-E-Modul in N/mm²)

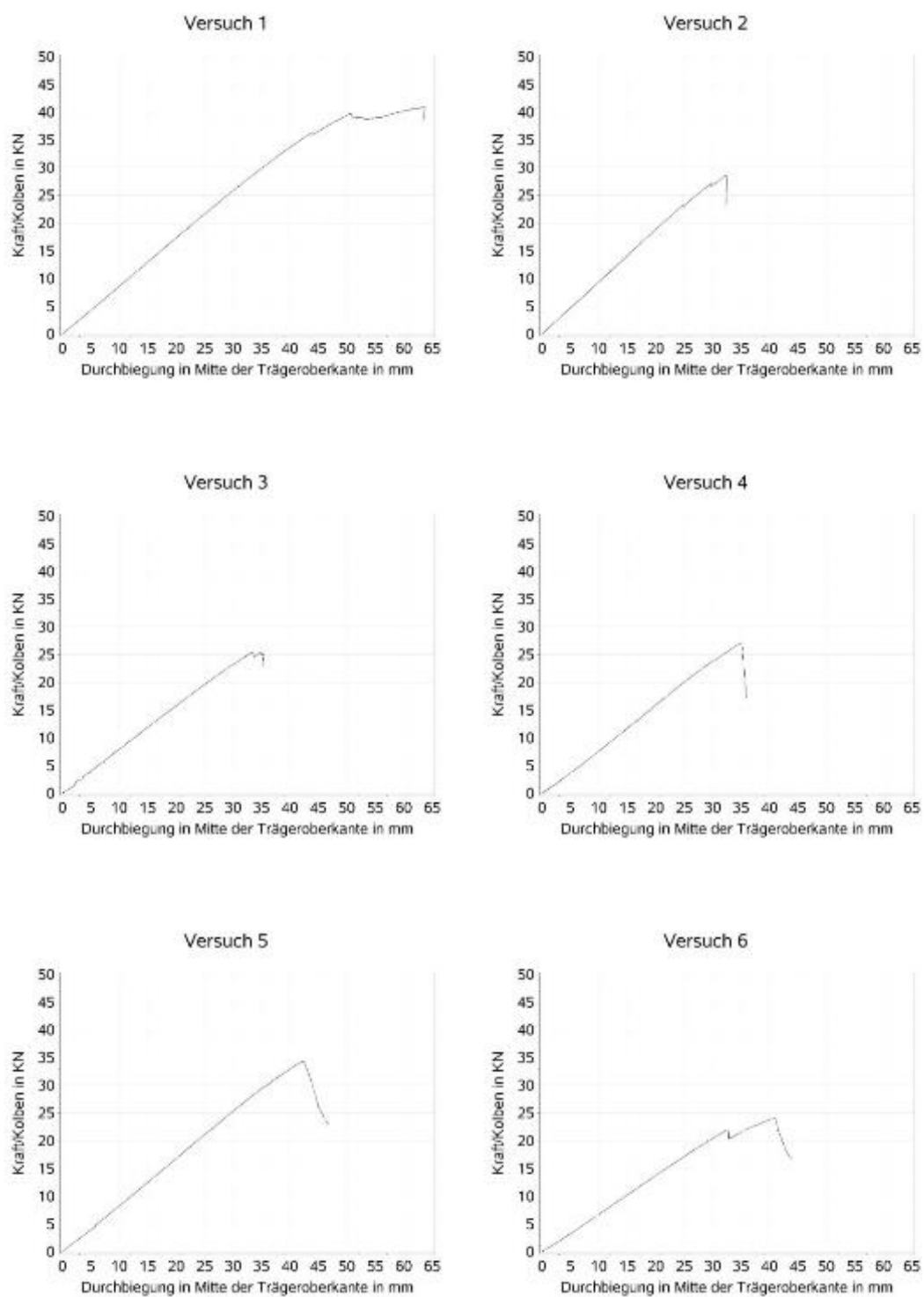
Moments

N	6	Sum Weights	6
Mean	11778.0283	Sum Observations	70668.1699
Std Deviation	1673.72737	Variance	2801363.32
Skewness	0.43899567	Kurtosis	-0.1146805
Uncorrected SS	846338522	Corrected SS	14006816.6
Coeff Variation	14.2105905	Std Error Mean	683.296339



Biegefestigkeit über E-Modul, statisch

Lastverformungskurven



F/2 (gemäß EN 408) über globaler Durchbiegung, Oberkante mittig

Anhang IV: Studienobjekte

Ein Teil der nachstehend aufgeführten Studienobjekte wurde tatsächlich selektiv abgebrochen und wird im Abschnitt 4.2 eingehender analysiert. Die übrigen auf den folgenden Fotos dargestellten Studienobjekte repräsentieren fiktive Spenderbauwerke, die noch genutzt werden, aber aufgrund ihres Alters oder ihres Bauteilangebots grundsätzlich für eine Wieder- und Weiterverwendung in Frage kommen könnten. Diese fiktiven Spenderbauwerke werden auch deshalb aufgeführt, weil viele Elemente für einen schonenden selektiven Rückbau oder eine schonende Demontage noch nicht entwickelt wurden und daher noch Ideen und Innovationen erforderlich sind. Auch hierfür sollen die nachstehenden Fotografien mit ihrem intakten Zustand werben, weil schonende Demontageprozesse immer aus dem intakten Zustand heraus zu entwickeln sind.

1. Pavillon KA300, Karlsruhe: Eventbauwerk (BS-Holz)
2. Dachwerk KIT-Festsaal, Karlsruhe: Primärtragwerk aus Nagelbrettbindern bzw. Fachwerkträgern (Bretter, Bohlen bzw. Kantholz) – fiktiv



3. Halle Kirchfeldkaserne, Karlsruhe-Neureut: Sekundärtragglieder (Kantholz)

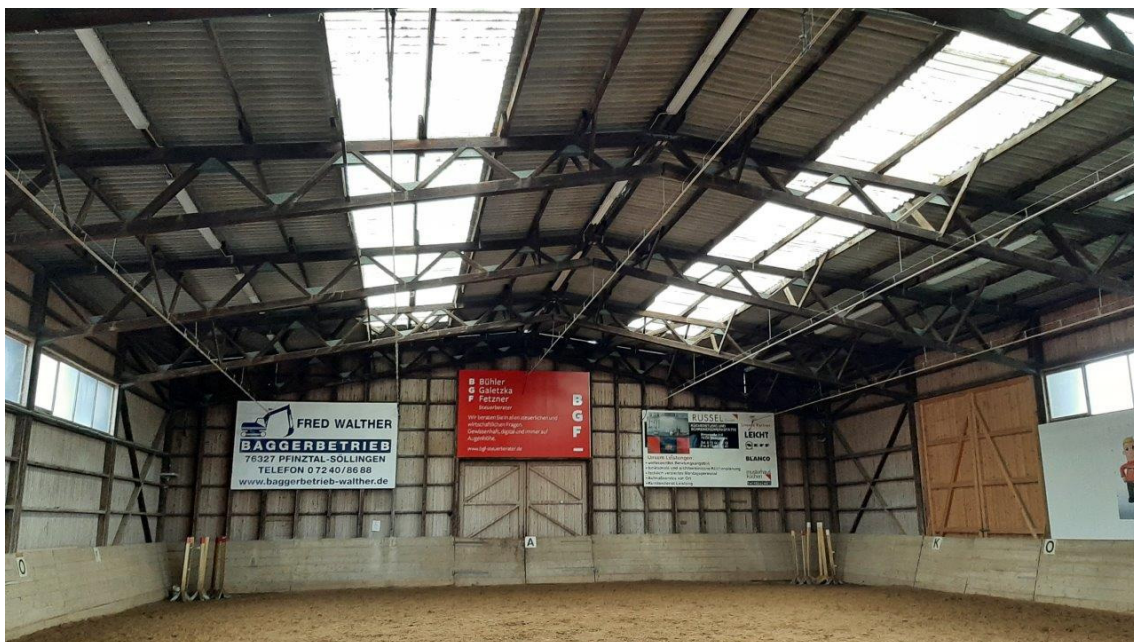
4. Offene Lagerhalle, Karlsruhe: Primärtragwerk aus Fachwerkträgern (Kantholz) – fiktiv



5. Pfettendächer, allgemein: Pfetten und Sparren (Kantholz) – fiktiv



6. Reithalle, Weingarten: Primärtragwerk aus Fachwerkträgern in Greimbauweise (vor allem Kantholz); Sekundärtragglieder als Koppelpfetten (Kantholz) – fiktiv



7. Lagerhalle, Weingarten, Baden: Primärtragwerk aus Stahlrahmen; Sekundärtragglieder als Koppelpfetten (Kantholz); Stahltrapezprofile – fiktiv



8. Grenzübergang Scheibenhard, Frankreich: Primärtragwerk aus Haupt- und Nebenträgern (Brettschichtholz); Stahltrapezprofile – fiktiv



9. Universitätsgebäude, Campus Süd, Karlsruhe: Walmdach (Kantholz)

10. Siedlungshaus, Neureut Kirchfeld: Holzbalkendecken (Kantholz)

11. Markgräfliches Palais, Karlsruhe: Walmdach (Kantholz)

12. Fuß- und Radwegbrücke über die B10 – vergleichbar mit Schrägkabelbrücke, Ruppertsweiler: Primärtragwerk (Stahlpylon, Zugstabsystem Besista, BS-Holz Lärche); Sekundärtraglieder (BS-Holz und Kantholz)

13. Aldi-Markt, Landau: Nagelplattenbinder (evtl. Kantholz/Bohlen/Bretter)

14. Einfamilienwohnhaus, Karlsruhe: Pultdach mit Holzwerkstoffplatten – fiktiv

15. Caritas-Waldheim, Karlsruhe: Kantholz

16. Besucherpavillon der EnBW, Heilbronn: Stahlstützen

Anhang V: Protokolle der Interviews – Teil TUM

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Protokoll

Forschungsprojekt: <i>Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus</i>	
Thema: Experteninterview	
Teilnehmer: Christoph Ehrenlechner (TUM) Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH Roland Bärtschi	
Ort, Datum: Online, 07.09.2023	
Beginn: 16:45 Uhr	Ende: 17:30 Uhr

Top Thema

01 Kurzvorstellung der Teilnehmer

Christoph Ehrenlechner (Abk. CE):

- 2014-2016 Ausbildung Zimmerer, Holzbau Koch GmbH
- 2016-2020 Studium Bauingenieurwesen B.Eng., Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Werkstudent Brückenbau, Haumann & Fuchs Ingenieure AG
- 2020 Projekt Ingenieur Hoch- und Industriebau, bulicek+ingenieure gmbh
- 2020-2022 Studium Bauingenieurwesen M.Sc., Technische Universität München
Werkstudent Industrie- und Spezialtiefbau, bulicek+ingenieure gmbh
- Seit 2023 Wissenschaftlicher Mitarbeiter Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Prof. Winter
Lehrstuhl für Metallbau, Prof. Mensinger

Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH Roland Bärtschi (Abk. RB):

- 1995-2000 Dipl. Bauingenieur, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
- 2000-2005 Dr. sc. techn., Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
- 2005-2006 Projektleiter, Ingenieurbüro Andrin Urech
- 2007-2008 Mitglied Geschäftsleitung, Urech Bärtschi Maurer AG
- Seit 2009 Geschäftsführer, Baertschi Partner Bauingenieure AG
- Seit 2015 Lehrbeauftragter für Stahl- und Verbundbau, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
- Seit 2016 Technischer Leiter, Stahlbau Zentrum Schweiz SZS und Stahlpromotion Schweiz

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

- 02 Präsentation des Forschungsprojektes
CE: PowerPoint-Kurzvorstellung
- 03 Gibt es bereits eine persönliche Erfahrung/Bezug zum Thema Wiederverwendung?
RB: Ja gibt es, durch ein Forschungsprojekt der Fachhochschule Nordwestschweiz, welches ich unterstützend und beratend begleite. Beteiligt ist daran auch das Immobilienamt der Stadt Basel und weitere Projektpartner. Dabei handelt es sich um ein Pilotprojekt zur Wiederverwendung eines Stahltragwerkes.
- 04 Welche Bedenken haben Sie bei einer Wiederverwendung von Holz- und/oder Stahlbauteilen?
RB: Keine Bedenken, jedoch Vorbehalte bezüglich Schadstoffe, Materialqualität (z. B. Ermüdung) und Marktfähigkeit, die bei einer Wiederverwendung relevant sind.
- 05 Was müsste für Sie geklärt werden, damit Sie gebrauchte Holz- und/oder Stahlbauteile in ein Bauwerk einplanen würden?
RB: Schadstoffe, Materialqualität und Rückverfolgbarkeit.
- 06 Welche „Form“ der Wiederverwendung halten Sie für praktikabel? (Stichwort Form und Funktion)
RB: Es gibt schon ausgeführte Projekte bei denen beispielsweise komplette Gebäude wiederverwendet wurden. Der Ansatz sollte sein, möglichst „großformatig“ wiederzuverwenden. Heißt, möglichst eine 1:1 Wiederverwendung anzustreben und Aufbereitungsmaßnahmen nur wenn zwingend erforderlich.
- 07 Anfrage in Ihrem Ingenieurbüro für eine Tragwerksplanung mit gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen: Wie würden Sie bei der Bemessung vorgehen?
RB: Folgender Ansatz der sich mit dem Konzept des unter 02 vorgestellten Leitfadens deckt: 1) Analyse des Bauteilbestandes, 2) Prüfung der Materialqualität, 3) Berechnung entsprechend Eurocode und Kompetenz Bauingenieur. In der Schweiz steht dafür die Normenreihe SIA 269 - Erhaltung von Tragwerken zur Verfügung. Im Stahlbau erfolgt die Prüfung „gebrauchter“ Stahlbauteile entsprechend dem Regelwerk EN 1090 genauso wie für „neue“ Stahlbauteile. Lücken gibt es an dieser Stelle nur bzgl. Ermüdung. Ermüdungsbeanspruchte Stahlbauteile könnte man z. B. nur noch bei statischer Beanspruchung oder einer Bemessung elastisch-elastisch wiederverwenden.
- 08 ~~Alternativ: Prüfauftrag zur Prüfung statischer Berechnungen mit gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen: Worauf richten Sie ihr kritisches Auge besonders bei einer Statik mit gebrauchten Bauteilen? Welche Herangehensweisen/Annahmen würden Sie akzeptieren?~~

Top Thema

- 09 **Bestandsaufnahme zur Wiederverwendung: Welche Informationen halten Sie für besonders wichtig, um die Wiederverwendbarkeit von tragenden Bauteilen einschätzen zu können?**
RB: Folgender Ansatz: 1) Planungsunterlagen beschaffen und analysieren, 2) Nutzungshistorie bestimmen, 3) Vor-Ort-Untersuchung durchführen. Beispielsweise archiviert die Stadt Basel sämtliche Bestandsunterlagen, wodurch hier beste Voraussetzung für die Wiederverwendung geschaffen werden. Dieses Konzept der Stadt Basel könnte Vorbild für andere sein, um künftig die Wiederverwendung einfacher umsetzen zu können.
- 40 **Alternativ: Techniken bei der Bestandsaufnahme von Ingenieurbauwerken – Techniken bei der Bestandsaufnahme zur Ermöglichung einer längeren Standdauer vs. eines Ausbaus des Bauteile mit folgender Wiederverwendung: Gibt es Unterschiede in der Herangehensweise? Sind zusätzliche Aspekte zu berücksichtigen bzw. Untersuchungen erforderlich?**
- 11 **Bauzustände beim selektiven Rückbau: Halten Sie eine statische Nachrechnung durch einen Bauingenieur im Rahmen einer Rückbauplanung für erforderlich?**
RB: In der Schweiz gilt, „wenn was passiert, dann haftet man dafür“. Für den selektiven Rückbau braucht es aber bestimmt eine saubere Planung mit Festlegung der zeitlichen Abläufe, Kennzeichnung der Bauteile zur Wiederverwendung, Beschreibung und ggf. Nachweis von Bauzuständen usw. Die Bauherrschaft möchte gebrauchte Bauteile gewinnbringend verkaufen und deshalb einen möglichst hohen Preis erzielen. Daher erfolgt der selektive Rückbau im Auftrag der Bauherrschaft und diese muss entscheiden in welchem Rahmen – wie materialschonend – der Rückbau durchgeführt wird. Dazu gehört die Beauftragung geeigneter Bauingenieure und Rückbaufachfirmen.
- 12 **Wer ist für die Beurteilung der Materialeigenschaften zuständig? Wer ist Ihrer Meinung nach qualifiziert die Festigkeiten von gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen zu beurteilen/prüfen: Zimmermeister/Metallbaumeister und/oder Bauingenieur?**
RB: Aus marktwirtschaftlicher Sicht muss irgendwer dafür Leistung tragen, dass gebrauchte Bauteile tragfähig sind. Dies stellt eine wertschöpfende Leistung dar. In der Schweiz kann theoretisch jeder einen Zettel mit Leistungseigenschaften für ein bestimmtes gebrauchtes Bauteil ausstellen. Geregelt nach dem Bauproduktengesetz, darf Zertifizierungen nur eine akkreditierte Stelle ausstellen.
- 13 **Wie würden Sie die (unbekannten) Einflüsse aus der Nutzung bei der Bewertung von gebrauchten Bauteilen berücksichtigen?**
RB: Bei der Bemessung dieser Bauteile konservative Annahmen treffen.
- 14 **Welche (konservativen) Festigkeiten können für gebrauchte Holz- und Stahlbauteile angenommen werden?**
RB: Für Stahlbauteile die nachweislich nach 1956 hergestellt wurden die Annahme der Stahlgüte S235. Die Nomprüfung gebrauchter Stahlbauteile erfolgt entsprechend wie für neue Bauteile nach EN 1090.

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

- 15 Welche k_{mod} - bzw. k_{def} -Beiwerte würden Sie bei einer erneuten Bemessung der gebrauchten Holzbauteile anwenden?**
RB: Gebrauchte Bauteile sind unter Last bereits gekrochen und man könnte bei einer erneuten Bemessung den Anteil Kriechen entsprechend reduziert berücksichtigen. Zu diesem Thema sind nach meiner Einschätzung noch weitere Untersuchungen erforderlich. Der Fokus sollte bei der Wiederverwendung aber nicht bei irgendwelchen theoretischen Beiwerten, sondern bei der Prüfung der tatsächlichen Materialqualität liegen.
- 16 Halten Sie modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte bei einer Bemessung von gebrauchten Bauteilen für sinnvoll?**
RB: Nein halte ich nicht für sinnvoll und es sollten die Teilsicherheitsbeiwerte entsprechend des Konzeptes des Eurocodes in Rechnung gestellt werden.
- 17 Welche Inhalte sollten sich in einem Leitfaden zur Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen wiederfinden, um damit in der Praxis arbeiten zu können?**
RB: Das unter 02 vorgestellte Ablaufschema des geplanten Leitfadens ist gut. Zu jedem Schritt sollten sich entsprechende Verweise auf hilfreiche Regelwerke und Kommentare dazu und mögliche Ausführungsvarianten finden.
RB: Abschließender Kommentar: In der Baupraxis wird sich vermutlich eine parallele Infrastruktur mit einem separaten Markt für Reuse-Bauteile etablieren.
RB: Die Fragen des Interviews waren passend. Eine ergänzende Frage könnte lauten: „Was müsste in die Lehre integriert werden, damit Bauingenieure in Zukunft entsprechende Reuse-Kompetenzen haben?“

Dürfen wir Sie im Laufe des Forschungsprojektes weiter als Experte zu Rate ziehen?	Ja
Dürfen wir die Ergebnisse dieses Interviews in den Forschungsbericht einfließen lassen?	Ja
Welches Format bevorzugen Sie für mögliche weitere Treffen: Online oder Präsenz?	Online

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Protokoll

Forschungsprojekt: <i>Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus</i>	
Thema: Experteninterview	
Teilnehmer: Christoph Ehrenlechner (TUM) Dipl.-Ing. Markus Bernhard	
Ort, Datum: Online, 16.06.2023	
Beginn: 13:00 Uhr	Ende: 14:25 Uhr

Top Thema

01 Kurzvorstellung der Teilnehmer

Christoph Ehrenlechner (kurz: CE)

- 2014-2016 Ausbildung Zimmerer, Holzbau Koch GmbH
- 2016-2020 Studium Bauingenieurwesen B.Eng., Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Werkstudent Brückenbau, Haumann & Fuchs Ingenieure AG
- 2020 Projekt Ingenieur Hoch- und Industriebau, bulicek+ingenieure gmbh
- 2020-2022 Studium Bauingenieurwesen M.Sc., Technische Universität München
Werkstudent Industrie- und Spezialtiefbau, bulicek+ingenieure gmbh
- Seit 2023 Wissenschaftlicher Mitarbeiter Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Prof. Winter
Lehrstuhl für Metallbau, Prof. Mensinger

Dipl.-Ing. Markus Bernhard (kurz: MB)

- Geschäftsführer IngPunkt Ingenieurgesellschaft für das Bauwesen mbH
- Prüfenieur für Standsicherheit VPI
- Prüfsachverständiger für Standsicherheit: Fachrichtung Holzbau und Metallbau
- ö.b.u.v. Sachverständiger für Holzbau, Stahlbetonbau, Mauerwerksbau

02 Präsentation des Forschungsprojektes

CE: PowerPoint-Kurzvorstellung.

MB: Weiterverwendung von ganzen Bauwerken sollte vor der Wiederverwendung von einzelnen Bauteilen stehen.

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

03 Gibt es bereits eine persönliche Erfahrung/Bezug zum Thema Wiederverwendung?

MB: Ja, während der bisherigen Berufstätigkeit habe ich bereits verschiedene Projekte bearbeitet bei denen Bauteile wiederverwendet wurden, zum Beispiel Gussstützen oder Altholzbalken. Diese Bauteile wurden aber meistens als gestalterische Elemente eingesetzt oder hatte nur eine untergeordnete Funktion. Bei einem Bauwerk bei dem alte Holzbalken für tragende Zwecke wiederverwendet wurden, hat der Bauherr die Haftung übernommen.

04 Welche Bedenken haben Sie bei einer Wiederverwendung von Holz- und/oder Stahlbauteilen?

MB: Hier ist klar zwischen den Materialien Holz und Stahl zu unterscheiden. Gebrauchte Bauteile aus Vollholz können meiner Einschätzung nach, nachdem diese oberflächlich gereinigt wurden, einer visuellen Sortierung entsprechend aktuell geltender Norm unterzogen werden. Problematisch sind Holzbauteile aus Brettschichtholz, da die einzelnen Lamellen eine unterschiedliche Festigkeit aufweisen können und diese für das Gesamtbauteil schwierig festzustellen ist. Die Materialeigenschaften von gebrauchten Stahlbauteilen sollten aufgrund der Homogenität des Werkstoffes ohne Probleme feststellbar sein. Für die künftige Wiederverwendung von Bauteilen sollte man sich in diesem Zusammenhang über die Kennzeichnung und Hinterlegung von Bauteildaten Gedanken machen.

05 Was müsste für Sie geklärt werden, damit Sie gebrauchte Holz- und/oder Stahlbauteile in ein Bauwerk einplanen würden?

MB: Es muss die (bau)rechtliche Regelung zur Wiederverwendung von Holz- und Stahlbauteilen geklärt werden. Die Frage: „Wer haftet für die Eigenschaften der gebrauchten Bauteile“ ist noch zu klären. Meiner Einschätzung nach ist dies derjenige der das Bauprodukt wieder Inverkehr bringt. Regeln die für neue Bauprodukte gelten, gelten auch für gebrauchte Bauprodukte. Vorstellbar wären zum Beispiel aber auch Sonderregelungen bei einer Eins-zu-eins-Wiederverwendung von Bauteilen die bereits CE gekennzeichnet sind. Bei solchen Bauteilen wäre eine Art Bestandsschutz für das CE-Kennzeichen vorstellbar, sofern sämtliche Rahmenbedingungen erhalten bleiben.

06 Welche „Form“ der Wiederverwendung halten Sie für praktikabel? (Stichwort Form und Funktion)

MB: Bauteile zur Wiederverwendung sollten immer bestmöglich auf die künftigen Nutzungsbedingungen vorbereitet werden.

07 Anfrage in Ihrem Ingenieurbüro für eine Tragwerksplanung mit gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen: Wie würden Sie bei der Bemessung vorgehen?

MB: Zuerst würde ich sämtliche Bestandsunterlagen sichten und eine Bestandsaufnahme durchführen. Die Bemessung erfolgt nach den Regelungen des Eurocodes, mit den vorhandenen Eigenschaften der gebrauchten Bauteile oder konservativen Annahmen dafür, entsprechend einem neuen Bauteil. Generell würde ich keine Verbindungsmittel wiederverwenden. Im Stahlbau ist die Wiederverwendung von hochfest vorgespannten Schrauben ausgeschlossen.

Top Thema

- 08 **Alternativ** – Prüfauftrag zur Prüfung statischer Berechnungen mit gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen: Worauf richten Sie ihr kritisches Auge besonders bei einer Statik mit gebrauchten Bauteilen? Welche Herangehensweisen/Annahmen würden Sie akzeptieren?

MB: Für die angesetzten Leistungseigenschaften der gebrauchten Bauteile muss eine Beurteilung einer Fachperson („Zertifizierung“) vorliegen. Begründete konservative Annahmen für die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften würde ich im Rahmen einer baustatischen Prüfung akzeptieren, sofern eine dementsprechende Materialqualität sichergestellt ist. Problematisch sind im Stahlbau Bleianstriche usw. und im Holzbau Holzschutzmittel usw. zu sehen.

- 09 **Bestandsaufnahme zur Wiederverwendung: Welche Informationen halten Sie für besonders wichtig, um die Wiederverwendbarkeit von tragenden Bauteilen einschätzen zu können?**

MB: Bei tragenden Holzbauteilen sind Kriterien wie Lastrisse, Feuchte, Einbausituation usw. zu checken. Im Stahlbau muss auf alle Fälle überprüft werden, ob die Bauteile auf Ermüdung beansprucht wurden.

- 10 **Alternativ** – Techniken bei der Bestandsaufnahme von Ingenieurbauwerken - Techniken bei der Bestandsaufnahme zur Ermöglichung einer längeren Standdauer vs. eines Ausbaus des Bauteils mit folgender Wiederverwendung: Gibt es Unterschiede in der Herangehensweise? Sind zusätzliche Aspekte zu berücksichtigen bzw. Untersuchungen erforderlich?

MB: Da eine Weiterverwendung eines Bauwerkes/Bauteiles ja strengeren Rahmenbedingungen unterliegt, sind die dabei angewandten Untersuchungsmethoden auf alle Fälle auch bei einer Bestandsaufnahme mit dem Ziel der Wiederverwendung anwendbar.

- 11 **Bauzustände beim selektiven Rückbau: Halten Sie eine statische Nachrechnung durch einen Bauingenieur im Rahmen einer Rückbauplanung für erforderlich?**

MB: Ja, in jedem Fall und die Bauteile müssen entsprechend gekennzeichnet werden, damit auf der Baustelle ersichtlich ist welche Bauteile wann und wie auszubauen sind. Nach dem Ausbau ist immer auch der Erhaltungszustand zu kontrollieren, denn durch den Rückbau und die anschließende Lagerung kann sich die Qualität der Bauteile auch verschlechtern. Man sollte auch unterscheiden ob die demontierten Bauteile nach dem Rückbau wieder an Ort und Stelle zum Einsatz kommen oder der künftige Einsatzort noch unbekannt ist. In zweitem Fall sind sämtlich Daten des gebrauchten Bauteils nachvollziehbar abzuspeichern.

- 12 **Wer ist für die Beurteilung der Materialeigenschaften zuständig? Wer ist Ihrer Meinung nach qualifiziert die Festigkeiten von gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen zu beurteilen/prüfen: Zimmerermeister/Metallbaumeister und/oder Bauingenieur?**

MB: Die Person, die eine solche Beurteilung durchführt, sollte eine „Zertifizierung“ haben. Denn welcher Handwerksmeister oder Bauingenieur hat im üblichen beruflichen Alltag mit dieser Aufgabe zu tun. Um eine Brückenprüfung durchzuführen, braucht man auch eine entsprechende Qualifizierung. Es ergeben sich damit auch neue Dienstleister und Aufgabenfelder für Unternehmen.

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau



Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

- 13 Wie würden Sie die (unbekannten) Einflüsse aus der Nutzung bei der Bewertung von gebrauchten Bauteilen berücksichtigen?

MB: Für gebrauchte Bauteile aus Vollholz würde ich eine visuelle Sortierung durchführen oder konservative Annahmen treffen. Bei Stahlbauteilen sind Ermüdung, Brandeinwirkung und plastische Verformungen zu kontrollieren.

- 14 Welche (konservativen) Festigkeiten können für gebrauchte Holz- und Stahlbauteile angenommen werden?

MB: Grundvoraussetzung für die Annahme von (konservativen) Festigkeiten ist, dass eine dementsprechende Materialqualität auch gegeben ist! Für Bauteile die nach 1945 hergestellt wurden, würde ich für Holz die Annahme von C24 und für Stahl die Annahme von S235 treffen bzw. akzeptieren.

- 15 Welche k_{mod} - bzw. k_{del} -Beiwerte würden Sie bei einer erneuten Bemessung der gebrauchten Holzbauteile anwenden?

MB: Die Werte aus dem aktuell geltenden Eurocode wie für ein neues Bauteil. Heißt, man trifft zum Beispiel die konservative Annahme von C24 für das Holzbauteil und wählt entsprechend der Nutzungsklasse und Lasteinwirkungsdauer die entsprechenden Beiwerte wie bei einer „Neubemessung“.

- 16 Halten Sie modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte bei einer Bemessung von gebrauchten Bauteilen für sinnvoll?

MB: Nein, halte ich nicht für sinnvoll. Besser ist es die Festigkeiten und Steifigkeiten zu bestimmen und damit eine Bemessung analog einem neuen Bauteil nach Eurocode durchzuführen.

- 17 Welche Inhalte sollten sich in einem Leitfaden zur Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen wiederfinden, um damit in der Praxis arbeiten zu können?

MB: Genauso wie in der PowerPoint-Präsentation zur Projektvorstellung (Topic 02) angedeutet. Eine schrittweise Vorgehensweise mit: 1) Schreibtischstudie, 2) Bestandsaufnahme usw. Auch einen Vorschlag für die Annahme von Leistungseigenschaften halte ich für sinnvoll.

MB: Der Leitfaden sollte auch ggü. dem Bauherrn den Mehraufwand einer Wiederverwendung rechtfertigen.

Dürfen wir Sie im Laufe des Forschungsprojektes weiter als Experte zu Rate ziehen?	Ja
Dürfen wir die Ergebnisse dieses Interviews in den Forschungsbericht einfließen lassen?	Ja
Würden Sie sich bereit erklären einen Entwurf des Leitfadens kritisch zu begutachten?	Ja
Welches Format bevorzugen Sie für mögliche weitere Treffen: Online oder Präsenz?	Online

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Protokoll

Forschungsprojekt: <i>Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus</i>	
Thema: Experteninterview	
Teilnehmer: Christoph Ehrenlechner (TUM) Dr.-Ing. Norbert Burger	
Ort, Datum: Online, 23.06.2023	
Beginn: 11:05 Uhr	Ende: 12:20 Uhr

Top Thema

01 Kurzvorstellung der Teilnehmer

Christoph Ehrenlechner (kurz: CE)

- 2014-2016 Ausbildung Zimmerer, Holzbau Koch GmbH
- 2016-2020 Studium Bauingenieurwesen B.Eng., Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Werkstudent Brückenbau, Haumann & Fuchs Ingenieure AG
- 2020 Projekt Ingenieur Hoch- und Industriebau, bulicek+ingenieure gmbh
- 2020-2022 Studium Bauingenieurwesen M.Sc., Technische Universität München
Werkstudent Industrie- und Spezialtiefbau, bulicek+ingenieure gmbh
- Seit 2023 Wissenschaftlicher Mitarbeiter Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Prof. Winter
Lehrstuhl für Metallbau, Prof. Mensinger

Dr.-Ing. Norbert Burger (kurz: NB)

- Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität München
- Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Holzforschung der Technischen Universität München
- Promotion zum Dr.-Ing. an der Technischen Universität München bei Prof. Kreuzinger
- Berufliche Tätigkeit in verschiedenen Ingenieurbüros (u. a. Prof. Natterer)
- Geschäftsführer BBI Ingenieure GmbH
- Prüflingenieur und Prüfsachverständiger für Holzbau

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

02 Präsentation des Forschungsprojektes

CE: PowerPoint-Kurzvorstellung.

NB: Bitte um Einsicht in das KIT-Angebot zum Forschungsvorhaben.

CE: Abstimmung mit Prof. Dietsch (KIT) ob eine Einsicht möglich ist.

03 Gibt es bereits eine persönliche Erfahrung/Bezug zum Thema Wiederverwendung?

NB: Nicht im Sinne einer direkten Wiederverwendung von Bauteilen. Jedoch im Laufe der beruflichen Tätigkeit bereits einige Bestandsgebäude saniert bzw. instandgesetzt. Aktuell wird durch die BBI Ingenieure GmbH eine Mehrweckhalle saniert. Dabei bleiben im Hallenbereich die BSH-Binder erhalten, der Dachaufbau wird in diesem Zuge aber erneuert.

04 Welche Bedenken haben Sie bei einer Wiederverwendung von Holz- und/oder Stahlbauteilen?

NB: Grundsätzliche Bedenken bestehen nicht. Jedoch muss man sich über Fragestellungen wie:

- Welcher Belastungshistorie war das Bauteil ausgesetzt?
- Welche Umwelteinwirkungen hat das Bauteil bisher erfahren?
- Verformungen und Kriechen (nicht reversible Verformungen)?
- Restfestigkeit bei einer Ermüdungsbeanspruchung des Bauteils?
- Bewertung vorhandener Risse, wie geht man mit möglichen Rissen im Querschnittsinneren um?
- Wie geht man mit Schadstoffen um?

NB: Zusätzliche Schwierigkeiten ergeben sich bei BSH-Bauteilen, da die Eigenschaften der Verklebung bestimmt werden müssen und auch die einzelnen Lamellen unterschiedliche Eigenschaften haben können. Bei Vollholz gestaltet sich die Bestimmung der Festigkeit wesentlich einfacher.

05 Was müsste für Sie geklärt werden, damit Sie gebrauchte Holz- und/oder Stahlbauteile in ein Bauwerk einplanen würden?

NB: Die bei 04 genannten Fragen und mögliche weitere müssen geklärt werden. Unter Umständen sind dafür Belastungstests der Bauteile durchzuführen. Wichtig ist die Praxistauglichkeit bei der Wiederverwendung! Langfristig Ziel muss es sein, dass die gebrauchten Bauteile bei Wiederverwendung wie neue Bauteile angewendet werden („Gebrauchtes Bauteil“ → wieder Inverkehrbringen → „Neues Bauteil“).

06 Welche „Form“ der Wiederverwendung halten Sie für praktikabel? (Stichwort Form und Funktion)

NB: Langfristiges Ziel muss es sein, dass gebrauchte Bauteile im Grunde wie neue Bauteile behandelt werden (siehe 05). Bei der Wiederverwendung muss man bestimmt hinsichtlich des geplanten Einsatzortes usw. flexibel sein, z. B. Anpassung von Bauteillängen.

Top Thema

- 07 **Anfrage in Ihrem Ingenieurbüro für eine Tragwerksplanung mit gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen: Wie würden Sie bei der Bemessung vorgehen?**
NB: Im Grunde wie neue Bauteile, somit sind zunächst deren Eigenschaften zu bestimmen und damit eine Bemessung nach aktuell geltendem Eurocode durchzuführen. In diesem Zusammenhang sind zusätzliche Bewertungskriterien für die gebrauchten Bauteile erforderlich, um deren Leistungseigenschaften bestimmen zu können. Die Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen muss (bau)rechtlich geregelt sein. Der Auftraggeber ist dabei miteinzubeziehen.
- 08 **Alternativ-Prüfauftrag zur Prüfung statischer Berechnungen mit gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen: Worauf richten Sie ihr kritisches Auge besonders bei einer Statik mit gebrauchten Bauteilen? Welche Herangehensweisen/Annahmen würden Sie akzeptieren?**
NB: Es muss eine Analyse des Bauteilzustandes vorliegen. Die Bauteilqualität ist hierbei durch einen Fachkundigen zu bestätigen. Vollholz könnte man z. B. nach aktueller Sortiermorm bewerten, wobei zusätzlich die Belastungshistorie zu berücksichtigen ist. Eine Sortierung von gebrauchtem Holz in S10 kann bei möglichen Veränderungen unter Dauerlast zu einer Klasse geringer als C24 führen.
- 09 **Bestandsaufnahme zur Wiederverwendung: Welche Informationen halten Sie für besonders wichtig, um die Wiederverwendbarkeit von tragenden Bauteilen einschätzen zu können?**
NB: Vom Prinzip ähnlich einer Bestandsaufnahme bei Sanierung oder Instandsetzung von Bauwerken. Es sollten dieselben Untersuchungsmethoden für die einzelnen Bauteile angewendet werden können.
- 10 **Alternativ-Techniken bei der Bestandsaufnahme von Ingenieurbauwerken - Techniken bei der Bestandsaufnahme zur Ermöglichung einer längeren Standdauer vs. eines Ausbaus des Bauteils mit folgender Wiederverwendung: Gibt es Unterschiede in der Herangehensweise? Sind zusätzliche Aspekte zu berücksichtigen bzw. Untersuchungen erforderlich?**
NB: Die gleichen Prinzipien sind anwendbar. Das Ziel ist es den Zustand möglichst realitätsnah zu erfassen.
- 11 **Bauzustände beim selektiven Rückbau: Halten Sie eine statische Nachrechnung durch einen Bauingenieur im Rahmen einer Rückbauplanung für erforderlich?**
NB: Ja, im Grundsatz schon. Oberste Priorität hat neben der Sicherheit, dabei die Qualitätserhaltung der Bauteile. Ein Fachkundiger (zertifizierter Tragwerksplaner) sollte generell eine Beurteilung abgeben, z. B. eine schriftliche Anweisung zur Ausführung des Rückbaus. Dabei ist die vorhandene Konstruktion zu beschreiben und die jeweiligen Besonderheiten zu erläutern. Unter Umständen ist für spezielle Konstruktionen und Rückbauzustände dann auch eine statische Berechnung erforderlich.
- 12 **Wer ist für die Beurteilung der Materialeigenschaften zuständig? Wer ist Ihrer Meinung nach qualifiziert die Festigkeiten von gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen zu beurteilen/prüfen: Zimmerermeister/Metallbaumeister und/oder Bauingenieur?**
NB: In Frage kommen sowohl Zimmerer- und Metallbaumeister als auch Bauingenieure aber mit einer entsprechenden Qualifizierung (z. B. erfolgreiche Teilnahme an einer Schulung). Die Beurteilung der Eigenschaften von gebrauchten Bauteilen sollte dann anhand objektiver Kriterien geregelt erfolgen.

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau



Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

- 13 Wie würden Sie die (unbekannten) Einflüsse aus der Nutzung bei der Bewertung von gebrauchten Bauteilen berücksichtigen?**
NB: Schwierig ... Befindet sich das Bauteil zur Wiederverwendung noch im Bauwerk, dann kann man dessen Nutzung in der Regel nachvollziehen. Ist das Bauteil bereits ausgebaut und man hat keine weiteren Informationen, dann ist nicht nachvollziehbar welche Einflüsse während der bisherigen Lebensdauer bei einer Bewertung zu berücksichtigen sind.
- 14 Welche (konservativen) Festigkeiten können für gebrauchte Holz- und Stahlbauteile angenommen werden?**
NB: Ist eine entsprechende Materialqualität vorhanden, dann wäre die konservative Annahme von C24 für Vollholz- und S235 für Stahlbauteile, die nach 1945 hergestellt wurden, vertretbar. Der Einfluss einer Ermüdungsbeanspruchung könnte im Holzbau möglicherweise mit einer ansetzbaren Restfestigkeit von maximal 60 % der ermittelten Festigkeit berücksichtigt werden.
- 15 Welche k_{mod} - bzw. k_{def} -Beiwerte würden Sie bei einer erneuten Bemessung der gebrauchten Holzbauteile anwenden?**
NB: Da gebrauchte Bauteile nach dem wieder Inverkehrbringen wie neue Bauteile behandelt werden sollten, würde ich die Werte aus dem aktuell geltendem Eurocode ansetzen.
- 16 Halten Sie modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte bei einer Bemessung von gebrauchten Bauteilen für sinnvoll?**
NB: Grundsätzlich vorstellbar, aber schwierig in der Praxis zu etablieren. Wenn eine „positive“ Beurteilung von gegebenen Elementen erfolgt, dann im Zuge der Qualitätsfeststellung der gebrauchten Bauteile. Die gebrauchten Bauteile sind in diesem Fall mit den ermittelten Festigkeits- und Steifigkeitswerten nach dem Sicherheitskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten wie für neue Bauteile zu bemessen.
- 17 Welche Inhalte sollten sich in einem Leitfaden zur Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen wiederfinden, um damit in der Praxis arbeiten zu können?**
NB: Ein schrittweises Vorgehen mit 1) Bestandsunterlagen sichten, 2) Beurteilung der Bestandsbauteile, 3) Demontage, 4) Qualitätsbeurteilung mit Hinweis zu ansetzbaren Festigkeiten, 5) Vorbereitungsmaßnahmen. Dabei muss man sich zunächst sicherlich auf einfache Bauteile beschränken.

Dürfen wir Sie im Laufe des Forschungsprojektes weiter als Experte zu Rate ziehen?	Ja
Dürfen wir die Ergebnisse dieses Interviews in den Forschungsbericht einfließen lassen?	Ja
Würden Sie sich bereit erklären einen Entwurf des Leitfadens kritisch zu begutachten?	Ja ¹⁾
Welches Format bevorzugen Sie für mögliche weitere Treffen: Online oder Präsenz?	Online ²⁾

Wiederverwendung von Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus

4/5

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



¹⁾ NB: Gerne auch einen Entwurf des Abschlussberichtes zur Begutachtung vorlegen.

²⁾ NB: Im Fall einer „Expertenrunde“ mit mehreren Personen würde ich eine Präsenzveranstaltung für das geeigneter Format halten.

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Protokoll

Forschungsprojekt: <i>Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus</i>	
Thema: Experteninterview	
Teilnehmer: Christoph Ehrenlechner (TUM) Dr.-Ing. Rainer Görlacher	
Ort, Datum: Online, 30.08.2023	
Beginn: 10:00 Uhr	Ende: 11:10 Uhr

Top Thema

01 Kurzvorstellung der Teilnehmer

Christoph Ehrenlechner (kurz: CE):

- 2014-2016 Ausbildung Zimmerer, Holzbau Koch GmbH
- 2016-2020 Studium Bauingenieurwesen B.Eng., Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Werkstudent Brückenbau, Haumann & Fuchs Ingenieure AG
- 2020 Projektingenieur Hoch- und Industriebau, bulicek+ingenieure gmbh
- 2020-2022 Studium Bauingenieurwesen M.Sc., Technische Universität München
Werkstudent Industrie- und Spezialtiefbau, bulicek+ingenieure gmbh
- Seit 2023 Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Prof. Winter
Lehrstuhl für Metallbau, Prof. Mensinger

Dr.-Ing. Rainer Görlacher (kurz: RG):

- 1974-1980 Studium Bauingenieurwesen Dipl.-Ing., Universität Karlsruhe (TH)
- 1980-1990 Wissenschaftlicher Assistent, Universität Karlsruhe (TH)
- 1985-2000 Sonderforschungsbereich 315 „Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke“, Buchreihe „Empfehlungen für die Praxis“
- 1990 Promotion zum Dr.-Ing. „Klassifizierung von Brettschichtholzlamellen durch Messung von Longitudinalschwingungen“
- 1995-2018 Akademischer Rat / Akademischer Direktor, Universität Karlsruhe (TH) bzw. Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

- 02 **Präsentation des Forschungsprojektes**
CE: PowerPoint-Kurzvorstellung
- 03 **Gibt es bereits eine persönliche Erfahrung/Bezug zum Thema Wiederverwendung?**
RG: Indirekt, durch die Forschungsarbeit am Sonderforschungsbereich 315 „Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke“. Dabei wurden Versuche an altem Holz und Holzverbindungen durchgeführt und Grundlagen für die Beurteilung von alten Holzkonstruktionen geschaffen. Die Maßnahmen und Methoden zur Beurteilung von altem Holz und -verbindungen standen dabei unter dem Schirm der Denkmalpflege. Weiterverwendung historischer Bestandsbauwerke durch Sicherung, Instandhaltung und Instandsetzung.
- 04 **Welche Bedenken haben Sie bei einer Wiederverwendung von Holz- und/oder Stahlbauteilen?**
RG: Im Grunde keine Bedenken. Es braucht ein vernünftiges System zur Bewertung gebrauchter Bauteile, um deren Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften zu bestimmen.
- 05 **Was müsste für Sie geklärt werden, damit Sie gebrauchte Holz- und/oder Stahlbauteile in ein Bauwerk einplanen würden?**
RG: Die Leistungseigenschaften der gebrauchten Bauteile müssen nachgewiesen und dokumentiert sein.
- 06 **Welche „Form“ der Wiederverwendung halten Sie für praktikabel? (Stichwort Form und Funktion)**
RG: Eine 1:1-Wiederverwendung. Eine Aufbereitung nur dann, wenn unbedingt erforderlich, denn dabei besteht z. B. die Gefahr von Beschädigungen an den Holzbearbeitungsmaschinen durch vorhandene Nägel.
- 07 **Anfrage in Ihrem Ingenieurbüro für eine Tragwerksplanung mit gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen: Wie würden Sie bei der Bemessung vorgehen?**
RG: 1) Leistungseigenschaften der gebrauchten Bauteile müssen bestimmt sein, 2) Bemessung nach Eurocode 3 bzw. 5 entsprechend einem neuen Bauteil.
- 08 **Alternativ: Prüfauftrag zur Prüfung statischer Berechnungen mit gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen: Worauf richten Sie ihr kritisches Auge besonders bei einer Statik mit gebrauchten Bauteilen? Welche Herangehensweisen/Annahmen würden Sie akzeptieren?**
- 09 **Bestandsaufnahme zur Wiederverwendung: Welche Informationen halten Sie für besonders wichtig, um die Wiederverwendbarkeit von tragenden Bauteilen einschätzen zu können?**

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

- 10 **Alternativ: Techniken bei der Bestandsaufnahme von Ingenieurbauwerken** – Techniken bei der Bestandsaufnahme zur Ermöglichung einer längeren Standdauer vs. eines Ausbaus des Bauteils mit folgender Wiederverwendung: Gibt es Unterschiede in der Herangehensweise? Sind zusätzliche Aspekte zu berücksichtigen bzw. Untersuchungen erforderlich?
- RG: Die Herangehensweise bei der Bestandsaufnahme zur Instandhaltung ist vermutlich aufwändiger. Bei der Wiederverwendung sollte der Aufwand der Bestandsaufnahme möglichst gering gehalten werden. Wichtig ist die Aufnahme der Bauteilabmessungen und -verbindungen, um damit weiter planen zu können.
- 11 **Bauzustände beim selektiven Rückbau: Halten Sie eine statische Nachrechnung durch einen Bauingenieur im Rahmen einer Rückbauplanung für erforderlich?**
- RG: Erfordernis ist abhängig von der Komplexität des bestehenden Tragwerkes. Eine Rückbaustatik ist mit Zeit und Kosten verbunden, die eine Wiederverwendung unter Umständen unwirtschaftlich machen. Nach Einschätzung einer Fachfirma für den Rückbau. Der selektive Rückbau erfolgt entsprechend rückwärts zur Montage.
- 12 **Wer ist für die Beurteilung der Materialeigenschaften zuständig? Wer ist Ihrer Meinung nach qualifiziert die Festigkeiten von gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen zu beurteilen/prüfen: Zimmerermeister/Metallbaumeister und/oder Bauingenieur?**
- RG: Sowohl Zimmerermeister/Metallbaumeister als auch Bauingenieur mit Nachweis einer entsprechenden Fortbildung/Ausbildung/Qualifikation. Die Beurteilung der Materialeigenschaften muss/sollte nach einem dafür festgelegten Regelwerk erfolgen.
- 13 **Wie würden Sie die (unbekannten) Einflüsse aus der Nutzung bei der Bewertung von gebrauchten Bauteilen berücksichtigen?**
- RG: Die Berücksichtigung der (unbekannten) Nutzung eines Bauteils ist schwierig zu erfassen. Wie soll man die Nutzung berücksichtigen, wenn man keine Informationen zur stattgefundenen Nutzung hat. Die Nutzung scheint auch zweitrangig zu sein, wenn das Holz inf. Nutzung augenscheinlich keine Qualitätseinbußen hat. Durch die Nutzung – keine Überlastung – scheint sich die Festigkeit des Holzes nicht zu verschlechtern. Besonderes Augenmerk bei Holzbauteilen mit Druckfalten, die ein Zeichen für Überlastung sind. Untersuchungen sind erforderlich, ob durchgebogene Holzbalken beim Wiedereinbau umgedreht und somit mit einer Überhöhung eingebaut werden sollten.
- 14 **Welche (konservativen) Festigkeiten können für gebrauchte Holz- und Stahlbauteile angenommen werden?**
- RG: Sofern das gebrauchte Holz entsprechend den visuellen Sortierkriterien keine Einbußen hat, können die Werte entsprechend C24 bei der Bemessung in Rechnung gestellt werden.
- 15 **Welche k_{mod} - bzw. k_{def} -Beiwerte würden Sie bei einer erneuten Bemessung der gebrauchten Holzbauteile anwenden?**
- RG. Die im Eurocode 5 enthaltenen Werte.

Technische Universität München
 TUM School of Engineering and Design
 Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
 Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
 Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

- 16 Halten Sie modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte bei einer Bemessung von gebrauchten Bauteilen für sinnvoll?**

RG: Nein, halte ich nicht für sinnvoll. Fehlerquelle bei der Bemessung, da Unterscheidung ob neues oder gebrauchtes Bauteil. Wieso sollte man die Festigkeiten weiter abmindern, wenn diese noch vorhanden sind.

- 17 Welche Inhalte sollten sich in einem Leitfaden zur Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen wiederfinden, um damit in der Praxis arbeiten zu können?**

RG: Für gebrauchte Holzbauteile Vorschläge von Kriterien zur Sortierung, um damit die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften festlegen zu können. Das Prozedere darf nicht zu aufwändig sein.

Dürfen wir Sie im Laufe des Forschungsprojektes weiter als Experte zu Rate ziehen?	Ja
Dürfen wir die Ergebnisse dieses Interviews in den Forschungsbericht einfließen lassen?	Ja
Würden Sie sich bereit erklären einen Entwurf des Leitfadens kritisch zu begutachten?	Ja
Welches Format bevorzugen Sie für mögliche weitere Treffen: Online oder Präsenz?	Online, Präsenz am KIT

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau



Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau

Protokoll

Forschungsprojekt: <i>Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus</i>	
Thema: Experteninterview	
Teilnehmer: Christoph Ehrenlechner (TUM) Marc Kreissig (H. Wetter AG)	
Ort, Datum: Online, 29.06.2023	
Beginn: 15:03 Uhr	Ende: 16:00 Uhr

Top Thema

01 Kurzvorstellung der Teilnehmer

Christoph Ehrenlechner (kurz: CE)

- 2014-2016 Ausbildung Zimmerer, Holzbau Koch GmbH
- 2016-2020 Studium Bauingenieurwesen B.Eng., Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Werkstudent Brückenbau, Haumann & Fuchs Ingenieure AG
- 2020 Projektingenieur Hoch- und Industriebau, bulicek+ingenieure gmbh
- 2020-2022 Studium Bauingenieurwesen M.Sc., Technische Universität München
Werkstudent Industrie- und Spezialtiefbau, bulicek+ingenieure gmbh
- Seit 2023 Wissenschaftlicher Mitarbeiter Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Prof. Winter
Lehrstuhl für Metallbau, Prof. Mensinger

Marc Kreissig (kurz: MK)

- Bauingenieur und seit 16 Jahren in der Unternehmensgruppe Wetter in der Schweiz tätig
- Leiter Stahlbau bei der H. Wetter AG (Rund die Hälfte des gesamten Personals der Wetter Gruppe im Bereich Stahlbau tätig, Gesamtdienstleister im Bereich Stahlbau von der Planung über Herstellung bis zur Ausführung.)

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

02 Präsentation des Forschungsprojektes

CE: PowerPoint-Kurzvorstellung

MK: Wie wird in Deutschland aktuell wiederverwendet?

CE: In Deutschland bestehen aktuell noch Hemmnisse zur Wiederverwendung, da diese im Bausektor noch nicht (bau)rechtlich geregelt ist. Die Wiederverwendung ist in Deutschland bisher noch eine „Grauzone“.

03 Gibt es bereits eine persönliche Erfahrung/Bezug zum Thema Wiederverwendung?

MK: Ja, da die Wetter Gruppe bereits zwei Gebäude ausgeführt hat, bei denen erfolgreich Stahlbauteile wiederverwendet wurden. Hierbei handelte es sich um einen Unterstand für untergeordnete Zwecke mit rechteckigen Grundrissabmessungen von 10 m x 12 m sowie dem Kopfbau der Halle 118 in Winterthur. Zu dem ersteren Projekt sind keine weiteren Informationen verfügbar. Das zweite Projekt ist auf der Internetseite des Unternehmens veröffentlicht. Aktuell ist ein Projekt in Bearbeitung bei dem ein achtstöckiger Anbau an ein Bestandsbauwerk mit gebrauchten Stahlbauteilen geplant ist.

04 Welche Bedenken haben Sie bei einer Wiederverwendung von Holz- und/oder Stahlbauteilen?

MK: Persönlich keine Bedenken! Über das gebrauchte Bauteil muss aber der vorherige Einsatzort bekannt sein. In der Schweiz hat der Bauingenieur etwas mehr „Freiheiten“ als in Deutschland. Es gibt in der Schweiz keinen staatlich anerkannten Prüfsachverständigen wie in Deutschland. In der Schweiz trägt der Bauingenieur die alleinige Verantwortung in Abstimmung mit dem Bauherrn.

05 Was müsste für Sie geklärt werden, damit Sie gebrauchte Holz- und/oder Stahlbauteile in ein Bauwerk einplanen würden?

MK: Die Kernfrage ist, was die EN 1090 für eine Deklaration von gebrauchten Bauteilen fordert, damit diese wiederverwendet werden können. Welche Informationen müssen aus dem Bestand hervorgehen und welche Prüfmethode sind demnach zur Einstufung der Leistungseigenschaften erforderlich.

CE: Dafür ist sicherlich eine Erweiterung der EN 1090 zum Thema „Wiederverwendung von Stahl“ erforderlich.

06 Welche „Form“ der Wiederverwendung halten Sie für praktikabel? (Stichwort Form und Funktion)

MK: Bei der Wiederverwendung muss man als Tragwerksplaner „flexibel“ sein. Ein Bauteil das bisher als Biegeträger eingesetzt wurde, könnte beim neuen Einsatzort auch als Stütze zum Einsatz kommen. Wichtig ist eine Zertifizierung der Bauteile, woraus auch die Herkunft hervorgeht.

CE: Als Ingenieurbüro wird man wohl bei einem „Second Hand Baustoffhändler“ nach den geplanten gebrauchten Bauteilen anfragen.

MK: Ja und wenn die geplanten (gebrauchten) Bauteile dann gerade nicht verfügbar sind, muss man die Planung dementsprechend anpassen und mit den erhältlichen Bauteilen neu planen.

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

- 07 **Anfrage in Ihrem Ingenieurbüro für eine Tragwerksplanung mit gebrauchten Holz—und/oder Stahlbauteilen: Wie würden Sie bei der Bemessung vorgehen?**

MK: Der Bauingenieur macht zum Bauwerksentwurf eine Bemessung und bestimmt damit die erforderlichen Bauteilquerschnitte. Im nächsten Schritt schaut man ob für die bemessenen Bauteile dementsprechende gebrauchte Bauteile zur Verfügung stehen. Falls nicht, muss man die Bemessung an die zur Verfügung stehenden gebrauchten Bauteile anpassen.

- 08 **~~Alternativ: Prüfauftrag zur Prüfung statischer Berechnungen mit gebrauchten Holz—und/oder Stahlbauteilen: Worauf richten Sie ihr kritisches Auge besonders bei einer Statik mit gebrauchten Bauteilen? Welche Herangehensweisen/Annahmen würden Sie akzeptieren?~~**

- 09 **Bestandsaufnahme zur Wiederverwendung: Welche Informationen halten Sie für besonders wichtig, um die Wiederverwendbarkeit von tragenden Bauteilen einschätzen zu können?**

MK: Kriterien wie Verformung (Geradheit, Durchbiegung), ursprünglicher Einbauort, Alter, Korrosion und Korrosionsschutz, bisherige Beanspruchungsgeschichte (statisch, dynamisch) usw.

CE: Eine Brandbeanspruchung der Bauteile wird man sicherlich erkennen und schließt eine Wiederverwendung aus. Ebenso ermüdungsbeanspruchte Bauteile werden vorerst von einer Wiederverwendung ausgeschlossen.

- 10 **~~Alternativ: Techniken bei der Bestandsaufnahme von Ingenieurbauwerken – Techniken bei der Bestandsaufnahme zur Ermöglichung einer längeren Standdauer vs. eines Ausbaus des Bauteils mit folgender Wiederverwendung: Gibt es Unterschiede in der Herangehensweise? Sind zusätzliche Aspekte zu berücksichtigen bzw. Untersuchungen erforderlich?~~**

- 11 **Bauzustände beim selektiven Rückbau: Halten Sie eine statische Nachrechnung durch einen Bauingenieur im Rahmen einer Rückbauplanung für erforderlich?**

MK: In der Schweiz ist eine Rückbauplanung durch einen Bauingenieur nicht erforderlich. Für den Rückbau beauftragt man eine entsprechende Fachfirma.

- 12 **Wer ist für die Beurteilung der Materialeigenschaften zuständig? Wer ist Ihrer Meinung nach qualifiziert die Festigkeiten von gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen zu beurteilen/prüfen: Zimmerermeister/Metallbaumeister und/oder Bauingenieur?**

MK: Für die Prüfung von gebrauchten Bauteilen ist ein zertifiziertes Institut zu beauftragen. Weder ein Metallbaumeister noch ein Bauingenieur sind dafür ausgebildet.

- 13 **Wie würden Sie die (unbekannten) Einflüsse aus der Nutzung bei der Bewertung von gebrauchten Bauteilen berücksichtigen?**

MK: Wenn man nichts weiß, dann sollten die Bauteile z. B. durch Einschmelzen recycelt werden und nicht wiederverwendet. Eine direkte Wiederverwendung macht nur dann Sinn, wenn das gebrauchte Material auch die entsprechende Qualität dafür hat. Eine „zwanghafte“ Wiederverwendung ist nicht zielführend.

Technische Universität München
 TUM School of Engineering and Design
 Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau



Karlsruher Institut für Technologie
 Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
 Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

- 14 Welche (konservativen) Festigkeiten können für gebrauchte Holz- und Stahlbauteile angenommen werden?**

MK: Zielführend für die Praxis wäre, wenn man bei entsprechender Materialqualität und Informationen zum Bauteil, ohne eine weitere Prüfung die Stahlgüte S235 annehmen kann. Möchte man das Bauteil in eine mögliche höhere Güte einstufen, dann ist eine Prüfung durchzuführen und damit die genauen Eigenschaften zu bestimmen.

- 15 ~~Welche k_{mod} bzw. k_{ser} Beiwerte würden Sie bei einer erneuten Bemessung der gebrauchten Holzbauteile anwenden?~~**

- 16 Halten Sie modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte bei einer Bemessung von gebrauchten Bauteilen für sinnvoll?**

MK: Nein, nicht sinnvoll! Man sollte die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften des Bauteils bestimmen und damit eine Bemessung wie für ein neues Bauteil durchführen.

- 17 Welche Inhalte sollten sich in einem Leitfaden zur Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen wiederfinden, um damit in der Praxis arbeiten zu können?**

MK: In der Schweiz müsste nicht die gesamte Vorgehensweise explizit beschrieben werden. Nur die Materialeigenschaften sind von Interesse. Es muss daher beschrieben werden, wann und in welchem Umfang eine Prüfung der gebrauchten Bauteile erforderlich ist, um in Bezug zur EN 1090 die Bauteile zertifizieren zu können.

Dürfen wir Sie im Laufe des Forschungsprojektes weiter als Experte zu Rate ziehen?	Ja
Dürfen wir die Ergebnisse dieses Interviews in den Forschungsbericht einfließen lassen?	Ja
Würden Sie sich bereit erklären einen Entwurf des Leitfadens kritisch zu begutachten?	Ja
Welches Format bevorzugen Sie für mögliche weitere Treffen: Online oder Präsenz?	Online

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Protokoll

Forschungsprojekt: <i>Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus</i>	
Thema: Experteninterview	
Teilnehmer: Christoph Ehrenlechner (TUM) Dr.-Ing. Bernhard Mohr	
Ort, Datum: Online, 16.06.2023	
Beginn: 10:00 Uhr	Ende: 10:50 Uhr

Top Thema

01 Kurzvorstellung der Teilnehmer

Christoph Ehrenlechner (kurz: CE)

- 2014-2016 Ausbildung Zimmerer, Holzbau Koch GmbH
- 2016-2020 Studium Bauingenieurwesen B.Eng., Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Werkstudent Brückenbau, Haumann & Fuchs Ingenieure AG
- 2020 Projekt Ingenieur Hoch- und Industriebau, bulicek+ingenieure gmbh
- 2020-2022 Studium Bauingenieurwesen M.Sc., Technische Universität München
Werkstudent Industrie- und Spezialtiefbau, bulicek+ingenieure gmbh
- Seit 2023 Wissenschaftlicher Mitarbeiter Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Prof. Winter
Lehrstuhl für Metallbau, Prof. Mensinger

Dr.-Ing. Bernhard Mohr (kurz: BM)

Siehe: <https://drschoetz-ingenieure.de/main/detail.php?mid=23>

02 Präsentation des Forschungsprojektes

CE: PowerPoint-Kurzvorstellung

03 Gibt es bereits eine persönliche Erfahrung/Bezug zum Thema Wiederverwendung?

BM: Ja, im Berufsalltag bereits des Öfteren mit der Sanierung von Baudenkmalern zu tun gehabt, bei denen teilweise über die Nutzungsdauer hinweg immer wieder gebrauchte Bauteile zum Einsatz gekommen sind. Erkennbar ist dies z. B. an „freien“ Zapfenlöchern usw.

Top Thema

- 04 Welche Bedenken haben Sie bei einer Wiederverwendung von Holz- und/oder Stahlbauteilen?**
BM: Eigentlich keine Bedenken, sofern die Bauteile offensichtlich mängelfrei sind. Schließlich hat man früher auch schon Bauteile wiederverwendet und es hat auch funktioniert.
- 05 Was müsste für Sie geklärt werden, damit Sie gebrauchte Holz- und/oder Stahlbauteile in ein Bauwerk einplanen würden?**
BM: Die gebrauchten Bauteile müssen mängelfrei sein. Die Mängelfreiheit ist anhand bestimmter Qualitätskriterien zu kontrollieren. Für gebrauchte Holzbauteile sind dies Biege- und Zugrisse, Feuchtestellen usw.
- 06 Welche „Form“ der Wiederverwendung halten Sie für praktikabel? (Stichwort Form und Funktion)**
BM: Wenn man gebrauchte Bauteile wiederverwenden möchte, muss man in einem gewissen Rahmen flexibel bleiben. Es wird in den meisten Fällen z. B. nicht möglich sein vorhandene Verbindungsmittellöcher wieder zu nutzen. Die gebrauchten Bauteile sollten bestmöglich für die Anforderungen des Empfängerbauwerkes vorbereitet werden.
- 07 Anfrage in Ihrem Ingenieurbüro für eine Tragwerksplanung mit gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen: Wie würden Sie bei der Bemessung vorgehen?**
BM: Zuerst würde ich die Bestandsunterlagen sichten und daraus die Eigenschaften der Materialien entnehmen. Sind die gebrauchten Bauteile offensichtlich frei von Mängeln, würde ich die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften entsprechend der Bestandsstatik dann wieder ansetzen. Sind keine Bestandsunterlagen vorhanden, dann würde ich konservative Annahmen für die Materialeigenschaften treffen. Für Bauteile, die nach 1945 hergestellt wurden, wäre dies S235 für Stahl und C24 für Holz. Die Bemessung der gebrauchten Bauteile dann wie für neue Bauteile entsprechend den Regeln des aktuell geltenden Eurocodes.
- 08 ~~Alternativ: Prüfauftrag zur Prüfung statischer Berechnungen mit gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen: Worauf richten Sie ihr kritisches Auge besonders bei einer Statik mit gebrauchten Bauteilen? Welche Herangehensweisen/Annahmen würden Sie akzeptieren?~~**
- 09 Bestandsaufnahme zur Wiederverwendung: Welche Informationen halten Sie für besonders wichtig, um die Wiederverwendbarkeit von tragenden Bauteilen einschätzen zu können?**
BM: Man muss grundlegend zwischen Holz- und Stahlbauteilen unterscheiden. Bei einem Holzbau würde ich kontrollieren ob es Risse aus Last gibt, die Art und den Zustand der Dacheindeckung (Rückschluss auf mögliche Feuchteschäden) usw. Bei Stahlbauteilen sollte man z. B. bei einem Träger der im Mauerwerk eingemauert ist genauer hinschauen. Besonders kritisch ist im Stahlbau das Thema Ermüdung. Alle gebrauchten Stahlbauteile sollten hierzu überprüft werden.
- 40 ~~Alternativ: Techniken bei der Bestandsaufnahme von Ingenieurbauwerken – Techniken bei der Bestandsaufnahme zur Ermöglichung einer längeren Standdauer vs. eines Ausbaus des Bauteils mit folgender Wiederverwendung: Gibt es Unterschiede in der Herangehensweise? Sind zusätzliche Aspekte zu berücksichtigen bzw. Untersuchungen erforderlich?~~**

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

- 11 **Bauzustände beim selektiven Rückbau: Halten Sie eine statische Nachrechnung durch einen Bauingenieur im Rahmen einer Rückbauplanung für erforderlich?**

BM: Auf alle Fälle sollte ein Bauingenieur miteinbezogen werden. Ob eine Rückbaustatik erforderlich ist, ist abhängig von der jeweiligen Baukonstruktion. Bei einfachen Tragwerkskonstruktionen kann man sich eine aufwändige Rückbaustatik unter Umständen sparen. Generell sollte der Rückbau aber in entgegengesetzter Reihenfolge zur Montage erfolgen: „von oben nach unten“.

- 12 **Wer ist für die Beurteilung der Materialeigenschaften zuständig? Wer ist Ihrer Meinung nach qualifiziert die Festigkeiten von gebrauchtem Holz- und/oder Stahlbauteilen zu beurteilen/prüfen: Zimmerermeister/Metallbaumeister und/oder Bauingenieur?**

BM: Die Beurteilung sollte nach einem Vier-Augen-Prinzip erfolgen. Beispielsweise könnte ein Zimmerermeister bereits vor und nach dem Gebäuderückbau den Zustand der Bauteile feststellen. Ein Bauingenieur könnte anschließend eine Abnahme der gebrauchten Bauteile zur Kontrolle durchführen. Eine wesentliche Rolle spielen dabei die Kosten! Wenn der gesamte Prozess zu Aufwändig wird, dann werden wahrscheinlich die wenigsten gebrauchte Bauteile wiederverwenden wollen.

- 13 **Wie würden Sie die (unbekannten) Einflüsse aus der Nutzung bei der Bewertung von gebrauchten Bauteilen berücksichtigen?**

BM: Ich würde wahrscheinlich davon ausgehen, dass man nicht weiß, was während der Nutzung war. Heißt, die Annahmen der Bestandsstatik weiter voraussetzen oder konservative Annahmen treffen. Außer bei Stahlbauteilen, da muss auf alle Fälle überprüft werden ob die Bauteile während der Nutzung ermüdungsbeansprucht waren.

- 14 **Welche (konservativen) Festigkeiten können für gebrauchte Holz- und Stahlbauteile angenommen werden?**

BM: Für gebrauchte Bauteile, die nach 1945 hergestellt wurden, treffe ich im Allgemeinen die konservative Annahme von C24 für Holz und S235 für Stahl. In meiner Tätigkeit im Ingenieurbüro gehe ich seit über 24 Jahren nach diesem Prinzip vor und hatte damit bisher noch keine Probleme.

- 15 **Welche k_{mod} - bzw. k_{def} -Beiwerte würden Sie bei einer erneuten Bemessung der gebrauchten Holzbauteile anwenden?**

BM: Da Holz nach meinem Stand des Wissens mit der Zeit infolge Lasteinfluss und Umgebungsbedingungen seine Festigkeit nicht verliert, würde ich die k_{mod} -Beiwerte entsprechend Eurocode 5 wie für neues Holz in Rechnung stellen. Beim Thema Verformungen und Kriechen würde ich eine pragmatische Vorgehensweise anwenden und durchgebogene Hölzer bei der Wiederverwendung einfach umgedreht einbauen, gewissermaßen mit Überhöhung. In diesem Zusammenhang muss man aber berücksichtigen das alte Hölzer ursprünglich oftmals so eingebaut wurden, dass beispielsweise große Äste im Druckbereich gelegen sind.

Technische Universität München
 TUM School of Engineering and Design
 Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
 Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
 Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

- 16 Halten Sie modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte bei einer Bemessung von gebrauchten Bauteilen für sinnvoll?**

BM: Nein, halte ich keinesfalls für notwendig. Unsere Normung ist schon überladen und es braucht nicht noch mehr Werte. Eine solche Erweiterung halte ich nicht für praktikabel. Sinnvoll halte ich die Vorgehensweise die Festigkeiten der gebrauchten Bauteile zu bestimmen bzw. konservative Annahmen dafür zu treffen und anschließend eine Bemessung analog neuer Bauteile nach Eurocode durchzuführen.

- 17 Welche Inhalte sollten sich in einem Leitfaden zur Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen wiederfinden, um damit in der Praxis arbeiten zu können?**

BM: Die Vorgehensweise sollte Schritt-für-Schritt dargestellt werden: 1) Sichtung der Bestandsunterlagen, 2) Bestandsaufnahme, 3) ... Hinsichtlich der Festlegung von Materialfestigkeiten könnte man meiner Ansicht nach auch die konservative Annahme für Bauteile nach 1945 mit C24 für Holz und S235 für Stahl explizit vorschlagen. Gebrauchtes Vollholz sollte nach den visuellen Kriterien der DIN 4074 beurteilt werden. Vorhandene Bohrungen, Durchbrüche usw. wären dabei aufzunehmen und dann bei der Bemessung entsprechend zu berücksichtigen. Damit ist aber ein hoher Aufwand verbunden, da jedes wiederzuverwendende Bauteil entsprechend gesichtet und dokumentiert werden muss.

Dürfen wir Sie im Laufe des Forschungsprojektes weiter als Experte zu Rate ziehen?	Ja
Dürfen wir die Ergebnisse dieses Interviews in den Forschungsbericht einfließen lassen?	Ja
Würden Sie sich bereit erklären einen Entwurf des Leitfadens kritisch zu begutachten?	Ja
Welches Format bevorzugen Sie für mögliche weitere Treffen: Online oder Präsenz?	Online ¹⁾

¹⁾ Ein Treffen in Präsenz nur, wenn mehrere Experten in einer Runde zusammenkommen würden.

Abschließender Rat von Herrn Mohr: Die Wiederverwendung funktioniert in der Praxis nur, wenn das ganze Prozedere wirtschaftlich bleibt. Eine Rolle spielen hier vor allem der finanzielle und zeitliche Mehraufwand.

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Protokoll

Forschungsprojekt: <i>Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus</i>	
Thema: Experteninterview	
Teilnehmer: Christoph Ehrenlechner (TUM) Prof. Dipl.-Ing. (FH) Florian Scharmacher, M.Sc.	
Ort, Datum: München, 04.07.2023	
Beginn: 16:45 Uhr	Ende: 17:30 Uhr

Top Thema

01 Kurzvorstellung der Teilnehmer

Christoph Ehrenlechner (kurz: CE)

- 2014-2016 Ausbildung Zimmerer, Holzbau Koch GmbH
- 2016-2020 Studium Bauingenieurwesen B.Eng., Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Werkstudent Brückenbau, Haumann & Fuchs Ingenieure AG
- 2020 Projekt Ingenieur Hoch- und Industriebau, bulicek+ingenieure gmbh
- 2020-2022 Studium Bauingenieurwesen M.Sc., Technische Universität München
Werkstudent Industrie- und Spezialtiefbau, bulicek+ingenieure gmbh
- Seit 2023 Wissenschaftlicher Mitarbeiter Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Prof. Winter
Lehrstuhl für Metallbau, Prof. Mensinger

Florian Scharmacher (kurz: FS)

- geschäftsführender Partner ib-scharmacher
- Beratender Ingenieur (BaylKa-Bau und VBI)
- Professor an der OTH Regensburg
- Von der Industrie- und Handelskammer öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Holzbau und Holzschutz
- Zertifizierter Tragwerksplaner in der Denkmalpflege
- (weiteres siehe Vita unter: https://www.ib-scharmacher.de/ueber_uns/vita-florian-scharmacher/)

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

02 Präsentation des Forschungsprojektes

CE: PowerPoint-Kurzvorstellung

FS: Anmerkung, man sollte den geplanten „Leitfaden“ besser als „Grundlagenblatt“ bezeichnen, da hiermit nicht das gesamte Thema zur Wiederverwendung von Bauprodukten inhaltlich erfasst und abgeschlossen wird.

03 Gibt es bereits eine persönliche Erfahrung/Bezug zum Thema Wiederverwendung?

FS: Mit der Wiederverwendung von Altholz in historischen Bauwerken.

04 Welche Bedenken haben Sie bei einer Wiederverwendung von Holz- ~~und/oder~~ Stahlbauteilen?

FS: Bedenken zur Bestimmung von Material- und Festigkeitskennwerten gebrauchter Holzbauteile und eine mögliche Schadstoffbelastung. Besonders die Nachweisbarkeit von Schadstoffen in Zusammenhang mit Haftung, Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie den damit verbundenen Kosten ist bedenklich.

05 Was müsste für Sie geklärt werden, damit Sie gebrauchte Holz- ~~und/oder~~ Stahlbauteile in ein Bauwerk einplanen würden?

FS: Vor allem müsste geklärt werden ob die gebrauchten Holzbauteile mit Schadstoffen belastet sind. Bei mit Schadstoffen belastete Bauteile sehe ich eine Wiederverwendung kritisch. Außerdem müssten die Leistungseigenschaften, wie Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte, bestimmt werden.

06 Welche „Form“ der Wiederverwendung halten Sie für praktikabel? (Stichwort Form und Funktion)

FS: Das ist eine Einzelfallentscheidung, in Abhängigkeit des Zustandes des jeweiligen Bauteils zur Wiederverwendung. Dabei ist eine Abstimmung zwischen dem „Geber-“ und „Empfängerbauwerk“ erforderlich.

07 Anfrage in Ihrem Ingenieurbüro für eine Tragwerksplanung mit gebrauchten Holz- ~~und/oder~~ Stahlbauteilen: Wie würden Sie bei der Bemessung vorgehen?

FS: Für gebrauchtes Schnittholz ist zuerst eine visuelle Sortierung nach DIN 4074 durchzuführen und damit eine Festigkeitsklasse zu bestimmen. Mit den dementsprechenden Festigkeitskennwerten würde ich anschließend eine Bemessung nach Eurocode 5 durchführen. Schwieriger ist z. B. die Bestimmung von Material- und Festigkeitskennwerten von Leimbändern, aufgrund der Klebefuge und unterschiedlicher Qualität der einzelnen Lamellen.

08 ~~Alternativ: Prüfauftrag zur Prüfung statischer Berechnungen mit gebrauchten Holz- und/oder Stahlbauteilen: Worauf richten Sie ihr kritisches Auge besonders bei einer Statik mit gebrauchten Bauteilen? Welche Herangehensweisen/Annahmen würden Sie akzeptieren?~~

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau

Karlsruher Institut für Technologie
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau



Top Thema

- 09 **Bestandsaufnahme zur Wiederverwendung: Welche Informationen halten Sie für besonders wichtig, um die Wiederverwendbarkeit von tragenden Bauteilen einschätzen zu können?**
FS: Für gebrauchte Bauteile aus Vollholz sind Bestandsunterlagen (falls vorhanden), Risstiefe, Holzfeuchte, strukturelle Schädigung (Insekten, Pilze und Bruch) und Schadstoffe zu untersuchen. Besonders Schadstoffe können eine Wiederverwendung ausschließen und dessen Nachweis ist aufwändig und teuer.
- 10 **~~Alternativ~~ Techniken bei der Bestandsaufnahme von Ingenieurbauwerken - Techniken bei der Bestandsaufnahme zur Ermöglichung einer längeren Standdauer vs. eines Ausbaus des Bauteils mit folgender Wiederverwendung: Gibt es Unterschiede in der Herangehensweise? Sind zusätzliche Aspekte zu berücksichtigen bzw. Untersuchungen erforderlich?**
FS: Mit Fokus auf die Wiederverwendung sind vertieft die Materialkennwerte zu untersuchen (z. B. E-Modul). Welche Festigkeiten sind unter Berücksichtigung von Nutzungs-/Belastungshistorie noch vorhanden.
- 11 **Bauzustände beim selektiven Rückbau: Halten Sie eine statische Nachrechnung durch einen Bauingenieur im Rahmen einer Rückbauplanung für erforderlich?**
FS: Ist vom jeweiligen Bauwerk und dessen Tragwerk abhängig. Je nach Komplexität ist ggf. eine Rückbauplanung inkl. Rückbaustatik erforderlich. Dafür fallen dann zusätzliche Kosten an, die man sich in der Praxis sicherlich sparen möchte bzw. wer trägt diese zusätzlichen Kosten dann.
- 12 **Wer ist für die Beurteilung der Materialeigenschaften zuständig? Wer ist Ihrer Meinung nach qualifiziert die Festigkeiten von gebrauchten Holz- ~~und/oder Stahl~~bauteilen zu beurteilen/prüfen: Zimmerermeister/~~Metallbaumeister~~ und/oder Bauingenieur?**
FS: Weder Zimmerermeister noch Bauingenieur, denn im üblichen Tätigkeitsbereich hat keiner dieser Erfahrung mit der Prüfung von gebrauchtem Holz. Dafür bedarf es eines Sachkundigen mit entsprechender Qualifizierung!
- 13 **Wie würden Sie die (unbekannten) Einflüsse aus der Nutzung bei der Bewertung von gebrauchten Bauteilen berücksichtigen?**
FS: Wenn nichts bekannt ist, dann sollte eine Wiederverwendung ausgeschlossen sein. Wie möchte man die Leistungseigenschaften eines Bauteils zur Wiederverwendung bestimmen, wenn man dessen bisherige Beanspruchung nicht berücksichtigen kann.
- 14 **Welche (konservativen) Festigkeiten können für gebrauchte Holz- ~~und Stahl~~bauteile angenommen werden?**
FS: Mindestens C16 und ggf. C24 bei entsprechender Holzqualität! Dabei stellt sich die Frage, wie eine „entsprechende Qualität“ des Holzes definiert ist.
- 15 **Welche k_{mod} - bzw. k_{def} -Beiwerte würden Sie bei einer erneuten Bemessung der gebrauchten Holzbauteile anwenden?**
FS: Wenn die Belastungshistorie nicht bekannt ist, sind die aktuell geltenden Beiwerte des Eurocode 5 ggf. zu optimistisch (verbleibende Dauerstandfestigkeit).

Technische Universität München
 TUM School of Engineering and Design
 Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion | Lehrstuhl für Metallbau



Karlsruher Institut für Technologie
 Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
 Holzbau und Baukonstruktion | Stahl- und Leichtbau

Top Thema

- 16 Halten Sie modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte bei einer Bemessung von gebrauchten Bauteilen für sinnvoll?**

FS: Ja, um damit die Unsicherheiten der Materialhistorie zu erfassen. Praktikabel sind diese bei der Bemessung innerhalb zusammenhängender Bauteile (z. B. Holzbalkenlage) anzusetzen.

- 17 Welche Inhalte sollten sich in einem Leitfaden zur Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen wiederfinden, um damit in der Praxis arbeiten zu können?**

FS: Im Grunde wie in den PowerPoint-Folien (02) vorgestellt aber besonders für den Holzbau sollte auf den Umgang mit Querschnittsschwächungen (Löcher, Durchbrüche usw.) und der Bestimmung von Material- und Festigkeitskennwerten eingegangen werden.

FS: Ich würde für dieses geplante Dokument die Bezeichnung „Grundlagenblatt“ stimmiger als „Leitfaden“ finden.

Dürfen wir Sie im Laufe des Forschungsprojektes weiter als Experte zu Rate ziehen?	Ja
Dürfen wir die Ergebnisse dieses Interviews in den Forschungsbericht einfließen lassen?	Ja
Würden Sie sich bereit erklären einen Entwurf des Leitfadens kritisch zu begutachten?	Ggf.
Welches Format bevorzugen Sie für mögliche weitere Treffen: Online oder Präsenz?	Online

FS: Vorschlag für eine weitere Expertenfrage: „Halten Sie dieses Konzept der Wiederverwendung in nächster Zeit für praxisrelevant und umsetzbar?“

Anhang VI: Protokolle der Interviews – Teil KIT

Interview-Fragebogen/Protokoll

Forschungsprojekt: Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus	
Teilnehmer: LAD: Sabine Kuban, Andreas Stiene; KIT: Judith Herrmann, Matthias Frese	
Ort, Datum: Esslingen, 10.08.2023	
Beginn: 13:30 Uhr	Ende: 16:00 Uhr

Hinweise:

- Fragen und Anregungen, die außerhalb des Erfahrungsbereichs liegen, können übergangen werden, vage beantwortet bzw. als Vermutung gekennzeichnet kommentiert werden
- „Wieder- und Weiterverwendung“ wird nachstehend nur als „Wiederverwendung“ bezeichnet
- Holzbauteile aus einem Rückbau/Abbruch werden nachstehend als gebrauchte (Holz)Bauteile bezeichnet
- Das Interview/der Fragebogen betrifft nur den Bereich Holzbau
- Sicherlich wird es auch Fragen geben, für die in der einschlägigen Literatur bereits Antworten zu finden sind.
Da es uns auch um den Diskurs im Zusammenhang mit der Wiederverwendung geht, mögen solche Fragen als Anregung zum Diskurs verstanden werden.

Top Thema

01	<p>Kurzvorstellung der Beteiligten</p> <p>Anmerkung Hr. Stiene: Es gibt auch Experten zur Denkmalpflege „Metall“ im Haus, z. B. Julia Tauber</p> <p>Fr. Kuban: Macht auf die angedachte „Umbauordnung“, ähnlich einer Bauordnung aufmerksam</p>
02	<p>Präsentation des Forschungsprojekts und Bezug zur Denkmalpflege</p> <p>Im Bauwesen vollzieht sich ein Paradigmenwechsel. Nachhaltigkeit und Klimaschutz verlangen dem Bausektor eine neue Form der Ressourceneffizienz ab, die sich zukünftig durch ein zirkuläres Wirtschaften verwirklichen lässt. Eine auf das Bauwesen übertragene Kreislaufwirtschaft bedeutet, dass Wachstum in der Bauwirtschaft vom Verbrauch der Ressourcen größtmöglich entkoppelt wird. Die lange Zeit als erstrebenswert geltende Ressourceneffizienz wird damit ergänzt durch eine jetzt umzusetzende Ressourcenschonung. Hierzu sind u. a. zwei Kriterien zu erfüllen: Gebäude und ihre Bauteile müssen zum einen wesentlich länger als bislang genutzt werden. Zum anderen müssen Bauteile nach dem Erreichen der Lebensdauer verlustarm einer Wiederverwendung zugeführt werden. Hierzu fehlen derzeit jedoch technische Grundlagen für eine strukturierte und mengenmäßig bedeutsame Umsetzung.</p> <p>Das Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen BW initiierte im vergangenen Jahr daher ein Forschungsprojekt, in dem solche Grundlagen auch für bestimmte Bauprodukte des Holzbaus zu erarbeiten sind.</p> <p>Es zielt primär auf folgende vor einer etwaigen Wiederverwendung durchzuführenden Maßnahmen ab: Bauteiluntersuchung, -bewertung, -instandsetzung und schließlich -reinigung. Im Mittelpunkt stehen zunächst OSB-Platten, Spanplatten und Bauteile aus Nadelschnittholz und Brettschichtholz. Offene Fragen betreffen zu erwartende</p>

Top Thema

	<p>Bauteilmaße, Festigkeitsklassen und die Zeit- und nutzungsbedingten Veränderungen von physikalischen und mechanischen Eigenschaften.</p> <p>Das nachhaltige Entscheiden, das bewahrende Handeln und substanzschonende Arbeiten in der Denkmalpflege (d. h. die Haltung in der Denkmalpflege) weist eine Wesensverwandtschaft mit der Kreislaufwirtschaft auf. Durch bspw. reine oder additive Reparaturen von schadhafte Bauteilen wird deren Lebensdauer verlängert und so ein sparsamer Umgang mit Ressourcen praktiziert.</p> <p>Aus den Erfahrungen in der Denkmalpflege erhoffen wir uns Impulse für die Lösung von Problemen und das Schaffen von technischen Grundlagen für eine Wiederverwendung von Holzbauteilen.</p>
--	--

03	Fragen
A1	<p>Eingangsfrage: Haben Sie bereits Erfahrungen mit dem Thema Wiederverwendung gemacht?</p> <p>St.: Ja, natürlich. Fast auf jeder Baustelle. Bspw. Ellwangen, barocker Dachstuhl, ganzer Windverband aus Spolien*</p> <p>*Zweit- oder drittverwendete Hölzer; sie geben gelegentlich Auskunft über die vorherige Konstruktion; eher Balken mit großen Querschnitten (herausgeschnittene Zerrbalken), teilweise auch Deckenbretter, da Bretter schwer herzustellen waren; das Gros sind aber konstruktive Hölzer; Zapfen, Ausklinkungen etc. sind vorhanden und von Interesse, da daran gelegentlich die Geschichte des Vorgängerdachstuhls gelesen werden kann; Verwendung von Spolien sind Normalität.</p> <p>Stiftskirche in Tübingen: Holz aus Gewölbeumbau wurde evtl. wiederverkauft.</p>
B	Allgemeines und Wiederverwendung in der Denkmalpflege
B1	<p>Wie schätzen Sie gegenwärtig die Bedeutung (allgemein oder mengenmäßig) von gebrauchten Holzbauteilen bei denkmalgeschützten Gebäuden ein?</p> <p>St.: Im Altbau: ja – in der Denkmalpflege: nein.</p> <p>Ku.: Zimmermannsmäßige Ertüchtigungen usw. werden mit neuem Holz durchgeführt. Klare Linie in der Denkmalpflege: Es werden keine Spolien verbaut, damit altes Holz von neuem sichtbar getrennt ist. Es geht um Authentizität. Es gibt weitere Anforderungen an die Ertüchtigungen, bspw. muss das neue Holz sägerau, ungehobelt etc. sein.</p> <p>Wie häufig kommen Anfragen?</p> <p>Keine, da der Verbau von Spolien in der Denkmalpflege unerwünscht ist.</p> <p>Wäre das ein potentieller Markt, also nicht nur ein Nischenmarkt, für die Wiederverwendung?</p> <p>Für die Denkmalpflege nicht, für den Altbau schon. Wobei auch ein Umdenken in der Denkmalpflege nicht ausgeschlossen werden kann. Allerdings eher Dacheindeckung und nicht den Holzbau betreffend.</p>
B2	<p>Es gibt mittlerweile etliche gewerbliche Baustoffhändler, die mit alten Baumaterialien aus Abbrüchen und dem selektiven Rückbau handeln:</p> <p>Welche (tragenden) Holzbauteile werden aktuell gehandelt und wiederverwendet?</p> <p>Fenster, Türen, Ausstattung eben. Weniger Balken und Latten</p> <p>St.: In den 1980ern standardmäßig Altholzlager in der Zimmerei gehabt.</p>

	<p>Wo kommen diese später ein weiteres Mal zum Einsatz? Nutzung für Reparatur und Kleinbauten (untergeordnete Bauten) wie Schuppen, Pergolen usw.</p>
B3	<p>Wie wird bei der Wiederverwendung gebrauchter Bauteile bezüglich Beschaffung, Tragfähigkeit/Statik und Einbau allgemein bzw. grundsätzlich vorgegangen? Lösbare Verbindungen des traditionellen Holzbaus sind von Vorteil. Nur geschädigte Hölzer werden ersetzt oder additiv verstärkt. Je älter die Bauteile, desto weniger soll ersetzt werden, da schützenswerter. Betrifft die Denkmalpflege grundsätzlich nicht, da keine Spolien eingesetzt werden. In 30 Jahren Berufstätigkeit in der Denkmalpflege nie erlebt. Die Holzmenge, die für Reparaturen verwendet wird, ist meist relativ gering. Der Aufwand für die Prüfung des Altholzes würde sich nicht lohnen. Ku.: Wenn Bestandsschutz in der Bevölkerung Anklang findet, könnte damit mehr bewegt werden. Treten dabei Probleme auf? k.A. Wenn ja, welche Probleme sind das (z. B. Lieferengpässe, Vorbehalte, Holzschutzmittel, nicht lösbare Verbindungen, Rückbau, Rückstände von Farben, Metalle oder Fremdkörper im Holz...)? k.A.</p>
B4	<p>Gab es historisch gesehen Zeiten, in denen mehr als heute wiederverwendet wurde? Ja, früher war es üblich. Etwa bis Anfang des 20. Jahrhunderts. In Not- und Kriegszeiten natürlich umso mehr. Kriegsbedingte Zerstörung ist die Voraussetzung für Wiederaufbau. Mit Spolien wurde meist nicht gehandelt, sondern sie wurden für den Neubau an gleicher Stelle wiederverwendet. Je nach Zeit und Region wurde intensiv wiederverwendet (Überfälle). Wenn ja, was war damals anders? Krieg, finanzielle Not; Für statische Ertüchtigungen wurde Neumaterial verwendet. Nur Untergeordnetes mit Spolien ausgeführt. Authentizität war damals nicht gefordert. Ku.: Denkmalpflege ist ein Konzept, das von der Gesellschaft hervorgebracht wurde mit dem Ziel, zu bewahren und zu schützen. Deshalb wird es heutzutage eben nicht wie in der damaligen Zeit gemacht, in der es üblich war, das Vorhandene wieder- oder weiterzuverwenden. St.: In der Denkmalpflege bleibt es eigentlich beim Bestand. Querschnitte etc. bleiben die Gleichen. Es wird nur ersetzt. Frühere Spolien wurden z. B. eher zur Vergrößerung eines Dachwerkes oder für zusätzliche Konstruktionen usw. gedacht.</p>
B5	<p>Sind Ihnen im Zuge einer Wiederverwendung Vorgehensweisen bei statischen Berechnungen, bei der Bemessung und aus der bautechnischen Prüfung bekannt? Wenn ja: Was waren im Sinne einer erfolgreichen Wiederverwendung positive/günstige Vorgehensweisen? Was waren im Falle des Scheiterns die hemmenden Aspekte? Diese Antworten betreffen die vorangehenden Fragen nicht direkt. Allgemein wurden Teile wiederverwendet für: - 18./19. Jh.: Windverbände, Kopfstreben... an Traufen wurde ständig repariert (stumpfe Stöße mit Metallblättern). - Im 20. Jh.: untergeordnete Bauwerke.</p>

B6	<p>Hier geht es um Methoden und Techniken bei der Bestandsaufnahme von Bauwerken/Bauteilen zum Zwecke einer späteren Wiederverwendung.</p> <p>Welche Informationen halten Sie für besonders wichtig, um die Wiederverwendbarkeit von tragenden gebrauchten Bauteilen einschätzen zu können?</p> <p>Diese Antwort betrifft die vorangehende Frage nicht direkt. Gelegentlich kommt es vor, dass Dachstühle aufgegeben werden mussten, weil sie zu stark mit Holzschutzmitteln belastet waren.</p> <p>Wichtig sind Kenntnisse über Holzart, Querschnitte und Feuchte.</p> <p>Hinweis: Freilichtmuseen, deren Bauwerke nach Translozierung entstanden. Hier könnten Ansprechpartnerinnen und -partner zu finden sein. Es gibt zu bedenken, dass in solchen Fällen keine Anforderungen an Wärme- und Brandschutz bestehen.</p> <p>Siehe auch C9.</p>
B7	<p>Wer ist in der Regel später für die Beurteilung der Materialeigenschaften zuständig? Bauleitung</p> <p>Wie pragmatisch wird dabei gelegentlich vorgegangen?</p> <p>Wenn das Material augenscheinlich in Ordnung ist (z. B. keine Fraßgänge), dann ist nicht unbedingt eine Widerstandsbohrung notwendig. Es kommt aber auch darauf an, wann die Beurteilung stattfindet (im eingebauten Zustand / nach dem Ausbau).</p> <p>Wer könnte Ihrer Meinung nach ebenfalls dafür geeignet sein, die Festigkeiten von gebrauchten Holzbauteilen einzuschätzen/zu beurteilen/zu prüfen (Zimmerermeister, Bauingenieurin)?</p> <p>Holzsachverständiger, Zimmerer.</p>
B8	<p>Wie würden Sie unbekannte Einflüsse aus der Nutzung, die sich u. U. in nicht sichtbaren Schäden niederschlagen, bei der Bewertung von gebrauchten Bauteilen grundsätzlich berücksichtigen?</p> <p>Ausmaß der Fäule. Allerdings sieht man beim Holz die Schäden meist an der Verformung (Kriechen). Im Gegensatz zum Betonstahl.</p> <p>Welche Festigkeiten können Ihrer Meinung nach für gebrauchte Holzbauteile angenommen werden?</p> <p>S10 bzw. C24 wird i.d.R. angenommen. In statischen Berechnungen bereits gesehen.</p> <p>Welche k_{mod}- bzw. k_{def}-Beiwerte würden Sie bei einer erneuten Bemessung der gebrauchten Holzbauteile anwenden?</p> <p>Es besteht noch Uneinigkeit, ob es sinnvoll wäre, nochmals zwischen altem und neuem Holz zu unterscheiden. Pragmatismus scheint angebracht zu sein. Man muss Erfahrungen sammeln. (Alt)Holz als gewachsener Rohstoff verhält sich nicht anders als neues.</p>
B9	<p>Es geht um die wirtschaftliche und baukulturelle Stärkung der Wiederverwendung von gebrauchten Holzbauteilen:</p> <p>Was müsste normativ geändert werden?</p> <p>Umbauordnung; Landesbauordnung im Falle eines Denkmalabbruchs → das Material sollte möglichst wiederverwendet werden.</p> <p>In der Denkmalpflege gibt es bereits größere Hürden vor dem Abbruch: Wirtschaftlichkeitsberechnung (Instandsetzung ist nicht wirtschaftlich bzw. wirtschaftlich nicht tragbar) und mind. 1 Jahr lang versuchen, zu verkaufen (Inserat auf spezieller Website) und Abbruchdokumentation (Dokumentation für die Wissenschaft, was vorhanden war).</p> <p>Welche Regularien müssten gelockert werden (Deregulierung)?</p>

	<p>Anmerkung Fr.: Gewisse Gebäude müssen keiner bautechnischen Prüfung unterzogen werden. Eigenverantwortung stärken → Analogien für die Wiederverwendung entwickeln.</p> <p>St. & Ku.: Auflagen in der Denkmalpflege bedeuten Zuschüsse.</p> <p>Fr.: Warum nicht auch das Gleiche für die Wiederverwendung: Zuschüsse, wenn bestimmte Regularien erfüllt werden. Anreize schaffen für die Wiederverwendung.</p> <p>Welche Vorurteile und Vorbehalte müssten abgebaut oder überwunden werden?</p> <p>Abbau und Überwindung durch: Werbung für Denkmalpflege – ergo Diskurs anregen in der Bevölkerung. Denkmalpflege ist nachhaltig! Genauso die Wiederverwendung. Bürger schützen Denkmale. Jugendbauhütte (https://www.denkmalschutz.de/denkmale-erleben/jugendbauhuetten.html).</p>
C	Erkenntnisse aus der Denkmalpflege für zukünftige Fragestellungen
C1	<p>Welche Holzbauteile aus <u>historischen Gebäuden</u> bieten Potenzial für die Wiederverwendung?</p> <p>Unterscheiden Sie nach qualitativen und quantitativen Gesichtspunkten.</p> <p>Bieten auf jeden Fall Potential, solange es sich nicht um Denkmäler handelt und keine Holzschutzmittel eingesetzt wurden. Keine Einschränkungen was Qualität und Quantität betrifft. Die Qualität ist meist eher besser bei alten Bauteilen, da es sich um Vollholz handelt und nicht um „Spanplatten“ o.Ä. Theoretisch kann alles wiederverwendet werden und sei es nur für die Gartenlaube. Vergleich mit alten Möbeln - diese konnten über Generationen hinweg verwendet werden.</p>
C2	<p>Welche Holzbauteile aus <u>modernen abbruchreifen Gebäuden</u> (Baujahr nach 1945 bis spätestens 1980) bieten Potenzial für die Wiederverwendung?</p> <p>Nach 1945 grundsätzlich: vermehrter Einbau von Metallteilen ins Holz. Schwerer bearbeitbar, nicht lösbar. Es ist also mit Störstoffen zu rechnen. Holzbauteile wurden auch mit Bitumen verklebt (Verbundstoffe).</p> <p>1945-1980: Gerade in dieser Zeit wurde viel ausprobiert: Teer, Bitumen, Klebstoffe, Isolierstoffe, Asbest, bituminöse Holzfaserplatten/Kork... Einschätzung: Vorsicht mit Wiederverwendung der Baustoffe aus dieser Zeit.</p>
C3	<p>Wie schätzen Sie die Wiederverwendbarkeit von Holzbauteilen aus Gebäuden verschiedener Epochen ein (historische Fachwerkhäuser, Gründerjahre, Jahrhundertwende, vor dem 2. Weltkrieg, Nachkriegszeit, bis Gegenwart)?</p> <p>Keine Einschränkung außer durch Schadstoffe, Verleimung und Verklebung. Teilweise wurde mit kleineren Querschnitten gearbeitet. Bei der Ausstattung sind Anstriche ein stark limitierender Faktor (Chemie).</p> <p>Jede Zeit hat ihre eigenen Produkte mit eigenen Einschränkungen. Das ist insbesondere ab der Industrialisierung bzw. ab dem 20. Jh. der Fall.</p> <p>Fachwerkhäuser: Sowohl Holz als auch Ausfachung der Wände und Decken können wiederverwendet werden. Als kritisch können sich die Nachbehandlungen bzw. Sanierungsfehler erweisen.</p> <p>Gründerzeit: Massivdecken kamen auf. Holzverwendung ging zurück.</p>
C4	<p>Welche Bauteile, für die aktuell neues Holz verwendet wird, könnten in Zukunft mit möglichst wenig Aufwand durch gebrauchte Bauteile ersetzt werden?</p> <p>Konstruktive Holzbauteile, die später nicht mehr sichtbar sind (durch Verkleidung oder Verputz) könnten durch Spolien ersetzt werden.</p>

	<p>Im Prinzip muss für die Wiederverwendung alles geprüft werden. Man kann nicht davon ausgehen, dass konstruktives Holz unbehandelt ist. Und dann muss auch dafür gesorgt werden, dass die Zertifikate dem richtigen Holz zugeordnet werden. Vorsorge- und Fürsorgepflicht des Staats (weißer Feuerschutzanstrich aus dem ersten Weltkrieg, teergetränkte Eisenbahnschwellen).</p>
C5	<p>Was können wir aus früheren Bauweisen/Bauarten lernen, um jetzt/zukünftig die Wiederverwendung zu befördern/bedeutsam zu machen?</p> <p>Altreparaturen wurden ohne DIN gemacht. Unbefangenes Arbeiten nach dem Prinzip Trial-and-Error. Man bedenke die Reparierbarkeit, die bei heutigen Massenprodukten nicht mehr ohne Weiteres gegeben ist.</p> <p>Anmerkung Fr.: alte Tugenden wiederbeleben, um dem Wert(e)verlust vorzubeugen. „Was nichts kostet, ist nichts wert“.</p> <p>Reversibilität: Nur so verbauen, dass man es wieder auseinanderbauen kann. Es muss bedacht werden, dass Vollgewindeschrauben in Holzverbindungen nicht lösbar sind = Widerspruch zur Reversibilität. Einmal repariert und danach verloren. Die Demontierbarkeit muss gegeben sein.</p>
C6	<p>Mut, Erfahrung, handwerkliches Können (der Baumeister) und Vertrauen der Auftraggeber waren in der Regel die Basis, auf der das Bauen vor der Epoche der Aufklärung und auch noch danach stattfand:</p> <p>Inwiefern ließe sich das wieder aktivieren, um Entscheidungen und das Handeln der Beteiligten autonomer zu gestalten?</p> <p>Stärkere Verantwortung für Handwerkerinnen und Handwerker. Ausbildung hochhalten, protegieren und dafür werben. Neuer Stellenwert für das Handwerk. Wer ist in unserer Gesellschaft noch Handwerker (Rhetorische Frage)? Mit den Handwerkerinnen und Handwerkern kann die Wiederverwendung umgesetzt werden.</p>
C7	<p>Welche Inhalte sollten sich in einem technischen Leitfaden zur Wiederverwendung von Holzbauteilen wiederfinden, um ein zirkuläres Wirtschaften in der Baupraxis zu befördern?</p> <p>Oberflächenbehandlung. Bei altem Holz will man die Patina, d. h. die charakteristischen Verwitterungserscheinungen (Vergrauung, Verfärbung, Auswaschung, reliefartige Maserung...).</p>
C8	<p>Welches andere Konzept im Vergleich mit einer Börse für historische Baustoffe halten Sie für umsetzbar?</p> <p>Wichtiger Punkt: Provenienznachweis. Ideal wäre Regionalität und Herkunftsnachweis (keine langen Transportwege). Ein werbewirksames Beispiel könnte lauten: „Stammt original aus Gengenbach“.</p> <p>Falls das jemals in der Denkmalpflege umgesetzt wird, sollte die Spolie als Erkennungsmerkmal z. B. ein „Brandzeichen“ erhalten.</p> <p>(Früher verbaute Spolien erkannte man nur an den Ausblattungen, Zapfen- und Nagellöchern).</p>
C9	<p>Wenn Bauteile vor der Wiederverwendung gelagert werden, wie müssten sie kategorisiert sein, damit sie möglichst reibungslos wiedereingesetzt werden könnten?</p> <p>Sortierung nach Gewerk (Holzbau, Steinbau, gemischt, Verdecke, Wand, Dach) und Funktion (Strebe, Ständer, Sturz).</p> <p>Was müsste dabei festgehalten werden (frühere Beanspruchung, Zustand, Maße, Holzfeuchte)?</p> <p>Frühere Beanspruchung kann man nicht genau wissen. Nur die letzte Beanspruchung kann angegeben werden.</p>

	<p>Label/Marke entwickeln, die noch während der Standzeit in Bauteile eingebracht wird, um Biografie des Holzes transparent zu machen bzw. festzuhalten.</p> <p>System entwickeln: Wie werden Bauteile während der Bauaufnahme benannt?</p>
C10	<p>Welche Forschungsfragen und Probleme sind Ihrer Meinung nach noch zu beantworten bzw. zu klären, bevor man gebrauchte Holzbauteile erneut als tragende Bauteile verwendet?</p> <p>Pilotstudien/Praxisbeispiele können zeigen, was sich bewährt und welche nicht angedachten Probleme auftreten. Nach anschließender Reflexionsphase Leitfaden erstellen.</p> <p>Rotor, Firma in Belgien (https://www.bauwelt.de/themen/betrifft/Architektur-im-Rueckwaertsgang-Recycling-Wiederverwendung-von-Baumaterialien-Rotor-3189877.html).</p> <p>Was gab es schon in der Vergangenheit: Welche Phasen gab es schon früher und was wurde damals bereits entwickelt. V.a. 20. Jh.: Wie ist man in den Städten mit Wiederverwertung umgegangen? Beispiel: Belgische Rathausfassaden.</p> <p>Wo sind Ihrer Meinung nach Hemmnisse?</p> <p>Ist es überhaupt ein Forschungsthema oder muss realpolitisch drangegangen werden? „Anpackthema“, d. h. man braucht anpackende Leute...</p> <p>Wenn ja, wie können sie abgebaut werden?</p> <p>Veränderung des Bewusstseins, Pragmatismus.</p> <p>Anmerkung Fr.: Manche Menschen sprechen fallweise von einer neuen Baukultur, die wir brauchen.</p>
D	Fallbeispiele
	<p>Angenommen, ein sanierungsbedürftiges denkmalgeschütztes Gebäude mit Fachwerkkonstruktion soll instandgesetzt werden:</p>
D1	<p>An welchen Stellen könnten gebrauchte Holzbauteile grundsätzlich eingesetzt werden bzw. wiederverwendet werden?</p> <p>k.A.</p>
D2	<p>Inwieweit werden gebrauchte Hölzer bei der Sanierung in der Denkmalpflege tatsächlich verwendet?</p> <p>S.o. Gar nicht. Eine Verfälschung der Baugeschichte ist nicht gewollt.</p> <p>Was sind die Vor- und Nachteile einer solchen Verwendung?</p> <p>Nachteile: Verfälschung.</p> <p>Momentan ist es ein Nischenmarkt. Wenn regionale Kreislaufbetriebe gegeben sind und die Produkte der Kreislaufwirtschaft günstiger werden, könnte es interessant werden (siehe Brandzeichen). Zusätzlich Provenienznachweis.</p> <p>Für den (nicht denkmalgeschützten) Bestand kein Problem.</p>
D3	<p>Vorausgesetzt, es werden gebrauchte Bauteile eingesetzt (vgl. B3):</p> <p>Wie gestaltet sich konkret die Beschaffung der Materialien?</p> <p>k.A.</p> <p>Gibt es dabei technische Probleme und Hemmnisse (Reinigung, Verträglichkeit, Holzschutzmittel, Wirtschaftlichkeit)?</p> <p>k.A.</p>

	Angenommen, ein altes Gebäude aus Holz wird abgerissen:
D4	Wie wird gegenwärtig mit dem anfallenden Holz umgegangen? Sortierung und Entsorgung durch Abbruchunternehmen. Pauschal Altholz IV. Welche Verwertungen finden statt (thermisch, stofflich...)? k.A. Wie bedeutsam ist die stoffliche Verwertung gegenüber der Entsorgung als Altholz II-IV? k.A.

Interview-Fragebogen/Protokoll

Forschungsprojekt: Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus – Masterarbeit Felix Bisinger	
Teilnehmer: Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft; KIT: Felix Bisinger	
Ort, Datum: k.A., 2023	
Beginn: -	Ende: -

Hinweise:

- „Wieder- und Weiterverwendung“ wird nachstehend nur als „Wiederverwendung“ bezeichnet
- Holzbauteile aus einem Rückbau/Abbruch werden nachstehend als gebrauchte (Holz)Bauteile bezeichnet
- Das Interview wurde redaktionell überarbeitet

Top Thema

A	Allgemeines
A1	Beschreiben Sie kurz, welche Aufgaben das Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft übernimmt.
	Das Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft ist zuständig für interne Dienstleistungen wie die Bereitstellung und Unterhaltung von Gebäuden, Räumen und Flächen an alle städtischen Ämter und Einrichtungen. Der Gebäudebestand der Stadt Karlsruhe umfasst circa 1000 Gebäude: Kindergärten, Schulen, Sportstätten, Mehrzweckhallen und Verwaltungsgebäude.
A2	Haben Sie Erfahrungen mit Projekten, in denen wiederverwendete Bauteile eingesetzt wurden?
	Bisher noch nicht
A3	Was sind Ihrer Erfahrung nach die wesentlichen Gründe dafür, dass die Wiederverwendung von Bauteilen im Holzbau noch nicht gängige Praxis ist?
	Das Grundwissen, die fehlende Organisationsstruktur und Zwischenlager.
A4	Wie würden Sie antworten bzw. vorgehen, wenn die Stadt Karlsruhe nun ein Projekt umsetzen möchte, in dem wiederverwendete Bauteile eingebaut werden sollen?
	Das finden wir super.
A5	Gibt es von der Stadt Karlsruhe aus Bestrebungen in Bauprojekten (Sanierungs- oder Neubauprojekte) wiederverwendete Baustoffe oder Bauteile zu verwenden?
	Bisher noch nicht.
B	Rechtliches
B1	Welche rechtlichen Grundlagen gilt es für die Wiederverwendung von Holzbauteilen zu beachten?

Top Thema

	-
B2	Im Kreislaufwirtschaftsgesetz wurde eine neue 5- stufige Kategorisierung eingeführt, die die Wiederverwendung gegenüber Recycling oder anderer stofflicher Verwendung priorisiert. Hat dies bei Ihnen dafür gesorgt, sich mehr mit dem Thema Wiederverwendung auseinanderzusetzen?
	-
B3	Gibt es einen Bauteilkatalog für die Bestandsgebäude der Stadt Karlsruhe?
	Nein, bisher noch nicht.
C	Bestandsaufnahme
C1	Wie gehen Sie bei der Bestandsaufnahme Ihrer Gebäude vor?
	-
C2	Gibt es bereits Ideen, um mögliche Gebäude/ Bauteile/ Baustoffe zu identifizieren, die wiederverwendet werden könnten?
	Bisher gibt es noch keine konkreten Ideen, wir sind jedoch offen für neue Kooperationen.
D	Rückbau
D1	Gibt es Ideen für den (selektiven) Rückbau Ihrer Bestandsimmobilien mit dem Ziel, Bauteile zu gewinnen und diese wiederzuverwenden?
	Ideen gibt es vereinzelt, jedoch keine konkreten Pläne.
E	Wiederverwendung
E1	Was sind Ihrer Meinung nach die größten Hindernisse für den Einsatz von wiederverwendeten Holzprodukten?
	Bisher haben wir keine Kapazitäten bzw. Finanzmittel für Organisation + Lager
E2	Wo sehen Sie die größten Potentiale für die Wiederverwendung von Holzbauteilen? (Tragende Bauteile?, OSB oder Spanplatten? etc.)
	Grundsätzlich sind Holzbauteile, also Platten mit löslicher Verbindung, sowie Holzbalken relativ leicht aufzuarbeiten und damit wiederzuverwenden. Das Problem sind eher die nicht löslichen Verbindungen, die den Rückbau erheblich erschweren. Wenn das Holz in „gutem Zustand“ ist, lässt es sich vermutlich problemlos wieder einsetzen. Witterungsschäden oder Schädlinge wie Pilzbefall müssen dabei selbstverständlich ausgeschlossen werden.
E3	Wo sehen Sie die größten Potentiale für die Weiterverwendung von Holzbauteilen?
	-

Top Thema

E4	Welche normativen oder gesetzlichen Regelungen müssten sich ändern, damit die Wiederverwendung von Holzbauteilen oder Konstruktionen attraktiver wird?
	-
E5	Vor dem Hintergrund immer knapper werdender Ressourcen und damit auch einer Kostensteigerung für Baustoffe, setzen Sie sich mit der Wiederverwendung von Bauteilen auseinander? (<input type="checkbox"/> Stichwort Urban Mining)
	Bisher gibt es noch keine Überlegungen
E6	Was könnten Sie tun, wenn Sie die Wiederverwendung von Bauteilen vorantreiben wollen?
	Das Thema im Amt ansprechen und ggf. eine Projektgruppe anregen.
F	Klassierungssystem Im Rahmen dieser Abschlussarbeit wird ein Klassierungssystem für die Sortierung von Gebrauchtholz / gebrauchten Holzbauteilen nach deren Eignung für eine Wiederverwendung entwickelt.
F1	Welche Aussage bzw. Antwort würden Sie von diesem System erwarten, damit Sie es einsetzen würden?
	Eine Idee könnte sein, dass man Lieferketten/-wege von der Abbruchstelle zum Lager sichtbar macht. Das System könnte auch aufzeigen, dass das klassifizierte Holz von vorherigen Beschichtungen wie z. B. Holzschutzmitteln befreit bzw. auf Rückstände untersucht wurde.
F2	Wie könnte ein solches System Ihrer Meinung nach aussehen und könnte es die Altholzkategorien ergänzen?
	Bei den Altholzkategorien gibt es bereits die Kategorie „Sekundärrohstoff“, die natürlich in weitere Klassen aufgeteilt werden könnte.
F3	Welche Kriterien oder Aspekte von Bauteilen sind für ein solches System Ihrer Meinung nach relevant?
	Kriterien könnten beispielsweise Größe und Zustand beurteilen.
G	Sonstige Anmerkungen
	Weil wir im HGW noch keine Bauteile, bzw. Holzbauteile wiederverwenden, sind unsere Antworten sehr rudimentär. Bei uns wird zur Zeit der Schwerpunkt auf recycelten Beton gelegt.

Interview-Fragebogen/Protokoll

Forschungsprojekt: Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus – Masterarbeit Felix Bisinger	
Teilnehmer: Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter; KIT: Felix Bisinger	
Ort, Datum: k.A., 2023	
Beginn: -	Ende: -

Hinweise:

- „Wieder- und Weiterverwendung“ wird nachstehend nur als „Wiederverwendung“ bezeichnet
- Holzbauteile aus einem Rückbau/Abbruch werden nachstehend als gebrauchte (Holz)Bauteile bezeichnet
- Das Interview wurde redaktionell überarbeitet
- AltholzV = Altholzverordnung

Top Thema

A	Allgemeines
A1	Welche Aufgaben hat der Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter?
	<p>Der Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter e.V. (BAV) vertritt die fachlichen, wirtschaftlichen und technischen Interessen von derzeit 108 Unternehmen, die Altholz aufbereiten, stofflich und energetisch verwerten. Diese Vertretung richtet sich an politische Institutionen, erfolgt aber auch medial und zivilgesellschaftlich. Darüber hinaus besteht unsere Aufgabe darin, sowohl Fachwissen über die Branche zu sammeln, aufzubereiten und weiterzugeben als auch die Branche untereinander und extern zu vernetzen. Unsere Mitgliedsunternehmen repräsentieren mehr als 80 Prozent der Altholzmenge in Deutschland.</p> <p>Hintergrund:</p> <p>In Deutschland gibt es aktuell ca. 74 größere Anlagen ab 10.000 Tonnen pro Jahr, die Altholz energetisch verwerten. Es ist anzunehmen, dass in der Bundesrepublik jährlich 7 Millionen Tonnen Altholz in die energetische Verwertung gehen, was mehr als 80 Prozent des nationalen Altholzaufkommens entspricht. Die gesamte installierte elektrische Leistung liegt bei etwa 800 MWel. Dies entspricht der Leistung eines großen Kohlekraftwerks.</p> <p>Die relevante Größe bei der stofflichen Verwertung von Altholz ist die Verwendung von Recyclingholz-Hackschnitzeln in der Holzwerkstoffindustrie. In der Holzwerkstoffindustrie kommt Altholz fast ausschließlich zur Herstellung von Spanplatten zum Einsatz. Es kann davon ausgegangen werden, dass in der Bundesrepublik jährlich 1,4 Millionen Tonnen Altholz in die Produktion dieser Platten gehen. Dies entspricht etwas weniger als 20 Prozent des deutschen Altholzaufkommens.</p>
A2	Was sind die Ziele des Bundesverbands der Altholzaufbereiter und -verwerter?
	<p>Unser Ziel ist es, die Nutzung von Altholz zu fördern.</p> <p>Altholzaufbereiter und -verwerter füllen vielschichtige Funktionen aus. Sie dienen nicht nur der Entsorgung von Abfall, sondern ihre professionelle Verwertungsstruktur stellt zudem sicher, dass Holzabfälle zu einem wertvollen Roh- und Brennstoff aufbereitet und</p>

Top Thema

	<p>anschließend einer hochwertigen stofflichen oder energetischen Verwertung zugeführt werden. Dadurch leistet die Branche mitunter einen wichtigen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft.</p> <p>Altholzkraftwerke bieten darüber hinaus Grundlastfähigkeit unter den Erneuerbaren und stellen nicht nur effizient Strom, sondern auch Wärme bereit. Diese Wärme kann zum Beispiel zur Beheizung von Gebäuden oder Bereitstellung von Prozesswärme genutzt werden. Damit sind Altholzanlagen für die Strom- und die – noch deutlicher zu entwickelnde – Wärmewende wichtig, da sie zur Reduktion von CO₂-Emissionen beitragen. Relevanz haben sie darüber hinaus für die energetische Versorgungssicherheit, vor allem auch regional.</p> <p>Die Altholzbranche leistet, kurz zusammengefasst, einen wichtigen Beitrag zu den energie-, klima-, umwelt- und abfallpolitischen Zielen der EU und Bundesregierung.</p> <p>Gesetze und Normen:</p> <p>Im Kreislaufwirtschaftsgesetz wurde eine 5- stufige Abfallhierarchie eingeführt, die die Vorbereitung zur Wiederverwendung gegenüber Recycling oder anderer stofflicher Verwendung oder Verwertung priorisiert. Die AltholzV beschreibt nur stoffliche oder energetische Verwertung als Möglichkeit zur Nutzung von Altholz.</p> <p>Neben der AltholzV, die sich auf Holz bezieht, das bereits den Abfallstatus erreicht hat, gibt es keine weiteren Regelungen, wie Holz wieder- oder weiterverwendet werden kann.</p>
B	Wiederverwendung
B1	Wäre es ihrer Meinung nach sinnvoll, auch in der AltholzV Anpassungen vorzunehmen, um qualitativ hochwertige Alt- oder Gebrauchthölzer für die Wiederverwendung oder Wiederverwertung freizugeben?
	<p>Im Diskussionsentwurf zur Novellierung der Altholzverordnung, der in der ersten Jahreshälfte 2020 in Umlauf gebracht wurde, wurde in § 2 „Begriffsbestimmungen“, Nr. 10 „stoffliche Verwertung von Altholz“, Buchstabe a) der Passus „Vorbereitung zur Wiederverwendung durch Prüfen, Reinigen und Reparieren“ aufgenommen.</p> <p>Besonders im Sperrmüllbereich sehen wir mit Blick auf Holzmöbel ein großes Potenzial für eine Vorbereitung zur Wiederverwendung. Auch bestimmte Bauteile aus dem Bauabbruchbereich könnten sich anbieten, wie zum Beispiel Dachbalken.</p> <p>Wie in dem Abschlussbericht des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2020 zur Novellierung der AltholzV vorgeschlagen wird, könnte entsprechend der „[Grundsatz] der Vorbereitung zur Wiederverwendung für Teilfraktionen des Sperrmülls z. B. für Möbel aus Holz oder aus dem selektiven Rückbau“ (S. 83) in die AltholzV aufgenommen werden. Ob dieser Grundsatz allerdings Anwendung findet, sollte von der wirtschaftlichen Zumutbarkeit und technischen Umsetzungsmöglichkeit abhängig gemacht werden können.</p> <p>Sobald das Altholz als vorzerkleinerter Abfall bei unseren Mitgliedsunternehmen eingeht, ist eine Wiederverwendung praktisch unmöglich. Es muss daher bereits bei der Sperrmüllsammlung, auf Wertstoffhöfen oder von Abbruchunternehmen aussortiert und getrennt bereitgestellt und wiederverwendet werden.</p>
B2	Welche Möglichkeiten für weitere normative oder gesetzliche Regelungen sehen Sie, die die Wiederverwendung von Holzbauteilen fördern würde?
	Diese Frage liegt nicht im primären Kompetenzbereich des BAV e.V. Entsprechend können wir leider keine Einschätzung abgeben.
B3	Welche Hindernisse sehen Sie Ihrer Erfahrung nach für den Einsatz von wiederverwendeten Bauteilen oder Konstruktionen aus Holz?

Top Thema

	<p>Auch diese Frage liegt nicht im primären Kompetenzbereich des BAV e.V.</p> <p>Hindernisse für die Wiederverwendung im Bauabbruchbereich könnten jedoch unter anderem Schadstoffe sein, wie bereits verbotene Kohlenwasserstoffe. Eine Wiederverwendung von mit Holzschutzmitteln behandeltem Altholz erscheint aus Umwelt- und Gesundheitsgründen ausgeschlossen, vor allem wenn das Holz mit bereits verbotenen Stoffen, wie zum Beispiel Pentachlorphenol, behandelt wurde. Für solches A IV-Altholz ist die energetische Verwertung in entsprechend genehmigten Kraftwerken deutlich sinnvoller. Neben der Belastung mit bestimmten Schadstoffen ist mitunter auch die Praktikabilität des Ausbaus von bestimmten Bauteilen bzw. Konstruktionen relevant, wie es auch der genannte Bericht des Umweltbundesamtes nahelegt. Im Bauabbruchbereich macht nur ein gezielter Ausbau von in brauchbarem Zustand befindlichen Teilen wirtschaftlich und technisch Sinn. Ähnliches gilt für Holzmöbel. Auch deren Wiederverwendung ist nur sinnvoll, wenn sie sich in einem geeigneten Zustand befinden, sprich eine Wiederverwendung keinen großen Eingriff in ihre Substanz erfordert. Der technische und wirtschaftliche Aufwand einer Wiederverwendung ist stets dem der stofflichen und energetischen Verwertung gegenüberzustellen.</p>
B4	<p>Bei welchen Bauteilen oder Konstruktionen sehen Sie das größte Potential für den Einsatz von wiederverwendetem Holz?</p>
	<p>Gegebenenfalls für Konstruktionshölzer, wie zum Beispiel Dachbalken, aber wir haben für die Beantwortung dieser Frage leider keine entsprechende Expertise.</p>
B5	<p>Bei welchen Bauteilen oder Konstruktionen sehen Sie das größte Potential für die Gewinnung von Bauteilen für die Wiederverwendung?</p>
	<p>Wie bereits ausgeführt und der Bericht des Umweltbundesamtes darlegt, besteht besonders bei Teilfraktionen des Sperrmülls ein großes Wiederverwendungspotenzial. Siedlungsabfälle, insbesondere Sperrmüll, stellen zusammen mit dem Verpackungs-, Bau- und Abbruchbereich die mengenmäßig relevanteste Herkunftsquelle von Altholz dar. Auch bestimmte Bauteile aus dem Bauabbruchbereich könnten sich anbieten.</p>
B6	<p>Welche Rahmenbedingungen müssten sich für Ihre Mitgliedsunternehmen in der Verwertung und dem Recycling von Altholz ändern, damit neben der Verwertung auch die Wiederverwendung attraktiv werden würde?</p>
	<p>Die der Altholzindustrie vorgelagerte Erfassung und Trennung muss gestärkt werden. Auf den Aufbereitungshöfen sehen wir das Potenzial für die Separierung und Bereitstellung als gering an, da Altholz hier meist in vorzerkleinerter Form als Abfall angeliefert wird.</p>
B7	<p>Auf Ihrer Internetseite schreiben Sie, dass die stoffliche Nutzung von Holz einen wichtigen Beitrag zum Klima- und Umweltschutz leistet. Gibt es vor diesem Hintergrund von Ihrer Seite den Wunsch, die Wiederverwendung von Holzbauteilen zu fördern? Wenn ja, warum? Wenn nein, warum nicht?</p>
	<p>Der BAV e.V. befürwortet die Umsetzung der 5-stufigen Abfallhierarchie und die darin vorgesehene Förderung der Wiederverwendung von Holzprodukten. Gleichzeitig kann damit ein weiterer positiver Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden. Allerdings muss darauf geachtet werden, dass die wiederverwendeten Holzelemente von hoher Qualität und frei von Schadstoffen sind. Der Schutz von Mensch und Umwelt hat oberste Priorität.</p>

Top Thema

B8	Gibt es vor diesem Hintergrund unter Ihren Mitgliedern eine Nachfrage nach dem Thema der Wiederverwendung von Holzbauteilen? Wenn ja, seit wann und von Mitgliedern mit welchem Arbeitsbereich?
	Eine entsprechende Nachfrage von Seiten unserer Mitglieder ist uns nicht bekannt. Das Thema könnte allerdings an Relevanz gewinnen, sobald die Novellierung der AltholzV wieder voranschreitet. Ein Referentenentwurf, der ursprünglich für Ende 2020 angekündigt wurde, ist allerdings bis heute nicht veröffentlicht worden. Wann dieser veröffentlicht wird, können wir zum jetzigen Zeitpunkt leider nicht abschätzen.
C	Klassierungssystem Im Rahmen dieser Abschlussarbeit wird ein Klassierungssystem für die Sortierung von Gebrauchtholz / gebrauchten Holzbauteilen nach deren Eignung für eine Wiederverwendung entwickelt.
C1	Wie könnte ein solches System Ihrer Meinung nach aussehen und könnte es die Altholzkategorien ergänzen?
	Bzgl. dieser Frage können wir leider keine Einschätzung abgeben bzw. keinen Vorschlag unterbreiten.
C2	Welche Kriterien oder Aspekte von Bauteilen sind für ein solches System Ihrer Meinung nach relevant?
	Auch hierzu können wir leider keine Einschätzung abgeben.
C3	Welche Resonanz bei Ihren Mitgliedern würden Sie Ihrer Erfahrung nach zu einem solchen System erwarten?
	Zu dieser Frage können wir Ihnen leider ebenfalls keine Einschätzung mitteilen.
D	Sonstige Anmerkungen
	Neben den bereits genannten Quellen, könnte die folgende Quelle für Sie von Interesse sein: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_93_2015_wiederverwertung_von_bauteilen_0.pdf .

Interview-Fragebogen/Protokoll

Forschungsprojekt: Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus – Masterarbeit Felix Bisinger	
Teilnehmer: Derix GmbH; KIT: Felix Bisinger	
Ort, Datum: k.A., 2023	
Beginn: -	Ende: -

Hinweise:

- „Wieder- und Weiterverwendung“ wird nachstehend nur als „Wiederverwendung“ bezeichnet
- Holzbauteile aus einem Rückbau/Abbruch werden nachstehend als gebrauchte (Holz)Bauteile bezeichnet
- Das Interview wurde redaktionell überarbeitet

Top Thema

A	Allgemeines
A1	Welche Leistungen bieten Sie an?
	Derix ist ein Hersteller von Brettschichtholz- und Brettspertholzbauteilen. Zusätzlich wird Derix häufig für eine Beratung zu den Einsatzmöglichkeiten von ihren Holzprodukten, der Kreislaufwirtschaft und der Wiederverwendung ihrer Produkte angefragt.
B	Wiederverwendung
B1	Sehen Sie gerade einen Trend hin zur Wiederverwendung von Bauteilen im Holzbau?
	Der Holzbau ist aktuell stark nachgefragt, da immer mehr Leute sich mit der Frage beschäftigen, wie man möglichst nachhaltig baut.
B2	Was sind aktuell die größten Hindernisse für die Verwendung von Holzbauteilen?
	Viele stehen der erneuten Nutzung von Holzbauteilen kritisch gegenüber. Dabei werden Fragen vor allem zu den Themen Brandschutz, Bewitterung, der möglichen Spannweiten und Holz in Nassbereichen gestellt.
B3	Haben Sie bereits Erfahrung in der Wiederverwendung von Bauteilen?
	Aktuell noch keine Erfahrung, in der Holzbauteile direkt wiederverwendet wurden. Aber Derix hat eine Rücknahmeverpflichtung für ihre Produkte eingeführt.
C	Kreislaufwirtschaft
C1	Haben Sie bereits Erfahrung mit Kreislaufgerechten Gebäuden aus Holz?
	Derix hat an dem Projekt „The Cradle“ mitgewirkt. Bei dem Gebäude ist auf eine Rückbaubarkeit geachtet wurden. Dazu wurde eine Außenstruktur aus Holzbauteilen, die nur auf Druck belastet werden, entworfen. Die Bauteile sind untereinander mit

Top Thema

	<p>Formstücke aus BauBuche verbunden. Außerdem wurden leicht rückbaubare Brettsperrholzdecken verwendet.</p> <p>Um eine erneute Verwendung von Bauteilen zu vereinfachen sollte versucht werden möglichst viele gleiche Bauteile, mit dem gleichen Querschnitt zu verwenden. Dadurch können diese leicht ausgetauscht oder an anderer Stelle genutzt werden.</p>
C2	Was bedeutet die Rücknahmeverpflichtung?
	<p>Die Rücknahmeverpflichtung beschreibt, dass Derix sich dazu verpflichtet ihre Produkte nach dem Ende ihrer Nutzungsphase zurückzunehmen. Der Hintergrund für diese Verpflichtung ist das Ziel in Zukunft Bauteile wiederzuverwenden. Gleichzeitig bietet dies eine ergänzende Rohstoffquelle für die Herstellung von neuen Produkten. Die Rücknahmeverpflichtung ist einseitig auf der Seite von Derix und tritt dann ein, wenn der Kunde das Produkt nicht mehr benötigt. Über diesen Weg kann ein Kreislauf entstehen in dem gleichteilige und gleichförmige Bauteile, wie sie im Ingenieurholzbau häufig eingesetzt werden, wiederverwendet werden. Verbundbauteile, wie Holz-Beton-Verbundbauteile sind von der Rücknahme ausgeschlossen. Im Anschluss an die Rücknahme müssen die Bauteile in der Regel beprobt, aufbereitet und neu zugelassen werden.</p> <p>In diesem Zuge wäre es sinnvoll eine flächendeckende Vernetzung und Infrastruktur aufzubauen, damit Bauteile direkt vor Ort zurückgenommen und für eine weitere Verwendung vorbereitet werden. So können weite Transportwege vermieden werden.</p>
C3	Wie kann eine Neuzulassung aussehen und welche Untersuchungen sind dafür notwendig?
	<p>Die erneute Zulassung der Bauteile wird wie ein Sanierungsfall behandelt. Für diesen Fall ist Derix auch versichert. Bei allen Bauteilen muss geprüft werden, ob eine Probenentnahme notwendig ist. Es wäre wünschenswert, dass es für diese Form der Untersuchung gesetzliche oder normative Vorschriften gibt, die eine Zertifizierung der gebrauchten Bauteile erleichtert. Der Aufwand für eine erneute Zertifizierung ist aktuell sehr groß und bindet dementsprechend viele Personalkapazitäten. Mit feststehenden Regelungen könnte in Zukunft eine erneute Bauteilprüfung auch maschinell erfolgen. Optische Einbußen bei ehemaligen Bestandsbauteilen sind akzeptabel, allerdings kann keine verminderte Tragfähigkeit akzeptiert werden.</p>
C4	Wie verläuft der Rückbau der Produkte von Derix?
	<p>Wenn lösbare Verbindungen bestehen können die Bauteile einfach zurückgebaut werden. Bei großen Bauteilen, wie beispielsweise Brettschichtholzträgern, kann es auch sinnvoll sein die Bauteile einfach kurz nach der Verbindung abzutrennen, wenn diese nicht oder schwer lösbar ist. Dies ist kein Downcycling, sondern einfach eine andere Verwendung des Bauteils.</p>
C5	Welche zusätzlichen Maßnahmen für die Etablierung eines Rohstoff- oder Bauteilkreislaufes führt Derix ein?
	<p>Derix hat eine Schnittstelle mit der Firma Madaster eingerichtet, damit die verbauten Bauteile auch digital hinterlegt sind. Ziel ist es, dass in Zukunft alle Informationen über die Bauteile verfügbar sind, so dass eine erneute Verwendung vereinfacht wird.</p>

Interview-Fragebogen/Protokoll

Forschungsprojekt: Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus – Masterarbeit Felix Bisinger	
Teilnehmer: Holzbau Leineweber; KIT: Felix Bisinger	
Ort, Datum: k.A., 2023	
Beginn: -	Ende: -

Hinweise:

- „Wieder- und Weiterverwendung“ wird nachstehend nur als „Wiederverwendung“ bezeichnet
- Holzbauteile aus einem Rückbau/Abbruch werden nachstehend als gebrauchte (Holz)Bauteile bezeichnet
- Das Interview wurde redaktionell überarbeitet

Top Thema

A	Allgemeines
A1	Welche Leistungen bieten Sie an?
	Klassische Zimmerarbeiten, Dachstuhl, Fassadenverkleidung, Gauben, Dachfenster, Balkon- und Terrassenbeläge, Carport, Pergola, Gartenhütten/Schuppen, Zäune, Aufstockungen und Anbauten in Holzrahmenbauweise, Dach- und Speicherbodendämmung.
A2	Für welche Leistungen werden sie am häufigsten beauftragt?
	Dachfenster, Aufstockungen und Anbauten.
A3	Inwiefern hat sich die Auftragslage in den letzten Jahren verändert?
	Sie hat seit 2019 kontinuierlich zugenommen und verlagert sich zunehmend auf Sanierung, vor allem energetische Sanierung.
A4	Was sind Ihrer Erfahrung nach die wesentlichen Gründe dafür, dass die Wiederverwendung von Bauteilen im Holzbau noch nicht gängige Praxis ist?
	Benötigtes Holz ist nicht verfügbar. Häufig ist Altholz mit Farben oder anderen Mitteln behandelt, von Insekten und/oder Pilzen befallen oder enthält Metallreste (Schrauben, Beschläge, Nägel) die das Recycling laut Altholzverordnung verbieten. Eine Identifikation dieser Stoffe und die Trennung vom noch verwendbaren Holz ist sehr aufwändig und teuer. Da ist der Neukauf wirtschaftlich sinnvoller.
B	Schäden und Schadstoffe
B1	Welche Schadstoffe treten Ihrer Erfahrung nach typischerweise bei Holzkonstruktionen auf?
	Chemische Behandlung gegen Schimmel, Pilze und Insekten. Lacke und Farben. Alte Holzschutzmittel enthalten Lindan und DDT aber auch Xyladecor und Xylamon, Pentachlorphenol, hochgiftige Tributylzinnverbindungen (TBT) und Chlornaphthaline,

Top Thema

	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Arsen, Quecksilber, Bor oder Chrom.
B2	Was können Sie Ihrer Erfahrung nach zu typischen Schadstoffen abhängig vom Baujahr sagen?
	<p>Die unter B1 aufgezählte Schadstoffe finden sich vor allem in Hölzern, die vor mehr als 25 Jahren verarbeitet wurden. Danach greift eine Verordnung, dass zumindest in Innenräumen nur noch schadstoffarmes Holz verwendet werden darf. In den letzten 10 Jahren ist das Verbraucherbewusstsein für schadstofffreies Holz stark gestiegen und es wird daher immer häufiger nachgefragt, wie und womit Holz behandelt wurde.</p> <p>Bis 2012 war für tragende Holzteile noch die Behandlung mit einem chemischen Holzschutzmittel vorgeschrieben, um die tragenden Teile (und damit die Statik des gesamten Gebäudes) sicher vor Zerstörungen durch Pilze und Insekten (z. B. Hausschwamm, Kellerschwamm, Hausbock, Holzwurm) zu schützen. Inzwischen schreibt die DIN 68800 auch für statisch tragendes Holz keine chemischen Schutzmittel mehr vor und empfiehlt sogar, in Innenräumen möglichst komplett darauf zu verzichten. Stattdessen soll der konstruktive Holzschutz im Vordergrund stehen, der Feuchte- oder Zersetzungsschutz also durch bauliche Maßnahmen erreicht werden. Konkret bedeutet das, beim Bauen nur gut durchgetrocknetes Holz widerstandsfähiger Arten zu verwenden. Alternativen zum gewachsenen Holz sind dabei Balken- und Brettschichtholz, die durch technische Trocknung auch sehr gut vor dem „Nacharbeiten“, also dem Verziehen, Schrumpfen oder Verwinden geschützt sind.</p>
B3	Welche Schäden treten ihrer Erfahrung nach typischerweise bei Holzbauteilen auf?
	<p>An erster Stelle stehen sicherlich die Feuchteschäden, in deren Folge Schimmel, Pilz- und sogar Insektenbefall häufig auftreten. Dabei kann der Feuchtschaden durch einen Wassereintritt von außen entstehen (Undichtigkeit, mangelnde Raumbelüftung, Rohrbruch, mangelhaft eingebaute Dampfsperre, Fugen in der Konstruktion).</p> <p>Das nächste sind Risse im Holz. Diese entstehen z. B. durch den Einbau von Holz, das im Vergleich zu seiner späteren Umgebungsfeuchte zu nass eingebaut wurde. Wenn es mit der Zeit trocknet, nimmt die Masse ab und durch diese Verkleinerung des Querschnittes entstehen Risse im Holz, die auch die Stabilität eines Bauteils erheblich einschränken können. Das passiert häufig, wenn das Holz während des Transportes oder der Lagerung nicht ausreichend vor Feuchtigkeit geschützt wird.</p>
B4	Was können Sie Ihrer Erfahrung nach zu typischen Schäden je nach Gebäudealter sagen?
	Je älter ein Gebäude, desto seltener sind Dach und Fassade gedämmt. Das begünstigt den Feuchtigkeitseintritt und die Bildung von Kondenswasser. Gebäude, die in den 60er und 70er Jahren errichtet wurden, weisen oft eine mangelhafte Bausubstanz auf (billig gebaut). Hier gibt es zahlreiche Kältebrücken und damit Schimmelbildung.
C	Rückbau
C1	Welche Arbeitsschritte befolgen Sie beim Rückbau von Holzkonstruktionen?
	Zuerst wird die Konstruktion begutachtet und evtl. vorhandene Schadstoffe identifiziert (Stichwort Asbest). Dann erfolgt die Planung, die im Wesentlichen ein umgekehrter Aufbau ist. Die Arbeitsschritte werden also rückwärts ausgeführt. Direkt beim Rückbau werden die Bauteile möglichst schon nach ihrem Material und ihrer Sortenreinheit getrennt

Top Thema

C2	Welche Werkzeuge werden beim Rückbau von Holzkonstruktionen eingesetzt?
	Zangen, Hammer, Sägen
C3	Welche Verbindungen / Verbindungsmittel in Holzkonstruktionen erfordern nur einen geringen Arbeitsaufwand im Rückbau?
	Eigentlich alle klassischen Zimmermannsverbindungen. Diese kommen ursprünglich komplett ohne Schrauben und Nägel aus. Leider ist es in der Praxis meist erforderlich, diese Verbindungen mit Schrauben und Nägeln zu verstärken, um die erforderliche Festigkeit zu erreichen bzw. die Anforderungen an Statik und Stabilität zu erfüllen. Die Haftung als Bauunternehmer lässt einen da eher „auf Nummer sicher“ gehen.
C4	Welche Verbindungen / Verbindungsmittel bei Holzkonstruktionen erfordern im Rückbau einen besonders hohen Arbeitsaufwand?
	Alle geleimten, geschraubten und genagelten Verbindungen. Die Entfernung ist zeitaufwändig und nur händisch zu leisten.
C5	Was sind die typischen Schwierigkeiten beim Rückbau von Holzkonstruktionen?
	Der hohe Aufwand. Einfach Einreißen kann schnell und durch günstigeres Personal erledigt werden. Für den sachgerechten Rückbau benötigt es Fachpersonal und Zeit. Solange das Aufbereiten mehr kostet als neues Holz zu kaufen, wird das aus wirtschaftlichen Gründen nicht erfolgen.
C6	Was passiert üblicherweise mit Bauteilen, die rückgebaut wurden?
	Die meisten Unternehmen entsorgen diese als Abfall. Wir haben uns eine Häckselanlage angeschafft und häckseln die Holzabfälle klein, pressen sie zu Pellets und beheizen damit Werkstatt, Lagerhalle, Büro und Wohnhaus. In seltenen Fällen werden Teile gelagert. Das sind dann z. B. sehr alte Balken, die bei einer Sanierung im Fachwerkbau als Ersatz dienen können.
C7	Haben Sie bereits Holzbauteile ausgebaut, um diese später einem weiteren Nutzen zuzuführen?
	Ja, Fachwerkbalken
C7.1	Wenn ja, welchem Nutzen wurden diese Holzbauteile zugeführt?
	Erneuerung schadhafter Balken im Fachwerk.
D	Reparaturen
D1	Welche Kriterien sind entscheidend, um zwischen dem Austausch eines Bauteils oder der Reparatur eines Bauteils im Bestand zu entscheiden?
	Meistens der Preis. Bei verbauten Holzbalken versuchen wir immer eine Reparatur und erneuern nur die beschädigten Teilstücke, soweit das statisch vertretbar ist. Der Kunde gibt aber mit seiner Preisentscheidung die Marschrichtung vor.
D2	Was sind typische Techniken in der Reparatur von Holzbauteilen?

Top Thema

	Ausstemmen schadhafter Holzteile, Heraussägen von Teilstücken, Einsetzen von neuen Holzstücken, Verpressen
E	Wiederverwendung von Holzbauteilen
E1	Haben Sie bereits ausgebaute Bauteile schon mal zum ursprünglichen Zweck wiederverwendet oder zu einem anderen Zweck weiterverwendet?
	Ja, beides.
E1.1	Wenn ja, welche Erfahrungen haben Sie dabei gemacht?
	Das ist eine gute nachhaltige Lösung, die aber nur möglich ist, wenn der Kunde mitspielt. Als Handwerker benötigt man ausreichend geeignete Lagerfläche, um das Holz feuchtegeschützt zu lagern.
E1.2	Wenn nein, warum nicht?
	Die Holzart war für das Projekt nicht geeignet oder der Kunde wünschte es nicht. Um die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit eines Gebäudes zu garantieren, werden diese statisch und bauphysikalisch bemessen. Dabei sind Eigenschaften, wie beispielsweise die Festigkeit, die wesentliche Grundlage, welche ein Statiker für die Bemessung heranzieht. Bei neuen Holzbauteilen werden diese vom Hersteller angegeben.
E2	Wie wird sichergestellt, dass ein bereits genutztes Bauteil die aus statischer und bauphysikalischer Sicht erforderlichen Eigenschaften erfüllt?
	Das kann nur durch erneute bauphysikalische Bewertung sichergestellt werden, die bei Neuholz vor dem Verkauf vorgenommen und durch den Ausweis entsprechender Klassifizierung nachgewiesen wird. Will ich sichergehen, kommt dieser Nachweis und die damit einhergehenden Kosten, noch dazu. Während bei Neuholz der Handel diese Kosten trägt, sind sie bei der Verwendung von Altholz vom Handwerker zu tragen.
E3	Wie wird bei tragenden Bauteilen hinsichtlich der Statik vorgegangen, wenn diese wiederverwendet werden?
	Auch hier muss wie bei Pkt. E2 vorgegangen werden.
E4	Welche rechtlichen Grundlagen gilt es für die Wiederverwendung von Holzbauteilen zu beachten?
	Alle Bauvorschriften, die auch für Neuholz gelten, sind einzuhalten. Damit müssen die erforderlichen statischen und bauphysikalischen Nachweise für wiederverwendete Holzbauteile erneut erbracht werden. Des Weiteren muss die Altholzverordnung eingehalten werden.
E5	Welche Bauteile aus Holz eignen sich Ihrer Erfahrung nach am besten für die Wiederverwendung?
	Bisher nur große alte Balken, die in denkmalgeschützten Häusern verbaut werden können und keine Traglast haben.
F	Bestandsaufnahme

Top Thema

	Im Rahmen dieser Masterarbeit wird ein Verfahren der Bestandsaufnahme zur schnellen, pragmatischen und zielsicheren Einschätzung der in einem Gebäude vorhandenen wieder- und weiterverwendbaren Bauteile erarbeitet
F1	In welchen Arbeitsschritten gehen Sie bei der Bestandsaufnahme eines Gebäudes bzw. einer Holzkonstruktion vor? Werden nur einzelne Bauteile repräsentativ für die gesamte Konstruktion betrachtet? Was sind typische Schwachstellen, die genauer untersucht werden?
	Zuerst werden die tragenden Teile begutachtet, danach alle Verbindungen und Querstreben. Es gilt das Prinzip, wo die größte Last liegt, gibt es die größten möglichen Beschädigungen. Danach werden alle Beginn- und Endstücke begutachtet, da hier meist Fäuleschäden ihren Anfang nehmen. Sind Feuchtschäden bekannt, wird gezielt an den Stellen des Wasserzutritts gesucht. Bei einer Holzkonstruktion muss zumindest das Gesamtbild, also ob sich irgendwelche Schiefelagen/Verbiegungen sehen lassen, betrachtet werden. Letztlich kommt man aber um eine detaillierte Einzelbetrachtung nicht herum, da Schädlinge, Pilze und Schimmel punktuell auftreten können.
F2	Welche Geräte oder Werkzeuge setzen Sie üblicherweise zusätzlich zur visuellen Bestandsaufnahme ein?
	Wasserwaage, Stecheisen, Schraubendreher, Augen und Nase
F3	Wenn Sie einer Holzkonstruktion Bauteile entnommen haben, erfolgt anschließend eine genauere Untersuchung, um deren weiteren Verwendungszweck festzulegen?
	Nur in seltenen Fällen.
F3.1	Wenn ja, wie gehen Sie dabei vor und welche Verwendungszwecke kommen für Sie in Frage?
	Weiterverwendung nur in Einzelfällen und nur für Bauteile aus Holzarten/-alter, die schwer zu kaufen sind.
F3.2	Wenn nein, warum werden die Bauteile nicht weiter beurteilt und was passiert anschließend mit den Bauteilen?
	Wie oben geschildert, ist die Beurteilung, die bauphysikalische Klassifizierung und die sachgerechte Lagerung mit hohem Aufwand verbunden. Wenn der Kunde dafür mehr bezahlen muss als für Neuholz, wird er sich fast immer für das Neuholz entscheiden. Daher wird mit den Holzabfällen wie unter C6 beschrieben verfahren.
G	Klassierung von Holzbauteilen Im Rahmen dieser Abschlussarbeit wird ein Klassierungssystem für die Sortierung von Gebrauchtholz / gebrauchten Holzbauteilen nach deren Eignung für eine Wieder- oder Weiterverwendung entwickelt.
G1	Wie könnte Ihrer Meinung nach ein solches System aussehen und wie könnte es die Altholzkategorien ergänzen?
	Tiefere Unterscheidung danach, wie leicht sich das Holz von einem Kontaminationsstoff trennen lässt. Es sollte aber auch Regelungen für den statischen und bauphysikalischen Nachweis enthalten.

Top Thema

G2	Welche Kriterien oder Aspekte von Bauteilen sind für ein solches System Ihrer Meinung nach relevant?
	Wir haben uns mit diesem Thema noch nicht tiefergehend beschäftigt
H	Sonstige Anmerkungen
	In unserer täglichen Arbeit kommen leicht wiederverwendbare Holzbauteile kaum vor. Überwiegend sanieren wir. Das heißt, das abzubauende Material ist marode und kann nicht weiterverwendet werden. Ein weiterer großer Aufgabenzweig ist der Bereich Aus-/Umbau und Aufstockung/Anbau. Auch hier fällt in der Regel kein Altholz an. Dies kommt eigentlich nur vor, wenn ein Dachstuhl komplett neu aufgebaut wird, z. B. bei einer Erhöhung des Kniestocks oder Änderung der Dachform.

Interview-Fragebogen/Protokoll

Forschungsprojekt: Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus – Masterarbeit Felix Bisinger	
Teilnehmer: Münzner Bau; KIT: Felix Bisinger	
Ort, Datum: k.A., 2023	
Beginn: -	Ende: -

Hinweise:

- „Wieder- und Weiterverwendung“ wird nachstehend nur als „Wiederverwendung“ bezeichnet
- Holzbauteile aus einem Rückbau/Abbruch werden nachstehend als gebrauchte (Holz)Bauteile bezeichnet
- Das Interview wurde redaktionell überarbeitet

Top Thema

A	Allgemeines
A1	Welche Leistungen bieten Sie an?
	Abbrucharbeiten, Entkernungsarbeiten, Erdarbeiten, Bauschuttrecycling, Pflaster- und Entwässerungsarbeiten
A2	Gibt es Ihrer Erfahrung nach eine Nachfrage nach selektivem Rückbau mit dem Ziel der Wiederverwendung von Bauteilen?
	Diese gibt es in sehr geringem Umfang. Meist handelt es sich um „historische“ Bauteile wie alte Eichenbalken oder handbehauene Natursteine (Bruchsteine).
A3	Gebäude welcher Baualtersstufe werden jetzt und in den nächsten Jahren Ihrer Einschätzung nach am häufigsten abgerissen bzw. rückgebaut?
	Gebäude aus den Jahren 1950 – 1980. Hauptsächlich Mehrfamilienhäuser, Einfamilienhäuser, Ökonomiegebäude und Scheunen.
A3.1	Was sind die Gründe dafür?
	Feuchteschäden, schlechte Wärme- und Schalldämmung, nicht mehr zeitgemäße Grundrisse, teilweise schadstoffhaltige Baustoffe (z. B. Asbest) und Platzbedarf für Neubauten
A3.2	Welche Bauweisen sind dafür charakteristisch? Welche Bauteile (aus Holz) finden sich am häufigsten wieder?
	Einfache Bauweise aus Hohlblock, Fertigdecken aus Stahlbetonbinder mit eingelegten Hohlblocksteinen und Überbeton, Holzbalken in Decken, Sparren und Pfetten, Kehlgebälk im Dachstuhl, seltener Fachwerkbalken
A4	Vor dem Hintergrund der steigenden Ressourcenknappheit und den damit steigenden Preisen für Baustoffe:

Top Thema

A4.1	Gibt es Ihrer Erfahrung nach eine steigende Nachfrage nach dem Recycling von Baustoffen?
	Recycling von nicht schadstoffhaltigen Baustoffen ist der Standard. Oft wird die Möglichkeit zum Recycling durch Grenzwerte für diverse Schadstoffe unmöglich. Alle konstruktiven Holzbauteile sind per Definition als A IV Holz (Abbruchholz) und damit als gefährlicher Abfall zu entsorgen. Deshalb scheidet eine Wiederverwendung aus.
A4.2	Gibt es Ihrer Erfahrung nach eine steigende Nachfrage nach der Wiederverwendung von Bauteilen?
	Nein, es handelt sich meist nur um Liebhabersachen
A4.3	Nach welchen Baustoffen gibt es die höchste Nachfrage?
	Behauene Natursteine (Bruchsteine, Sandsteine) meist für Trockenmauern und Einfassungen, selten Holzbalken, da diese wegen der Schadstoffthematik problematisch sind.
A4.4	Hat sich der Umgang mit Ressourcen Ihrer Erfahrung nach in den letzten Jahren verändert? Wenn ja, wie?
	Gesetzliche Vorschriften wie z. B. die Energieeinsparverordnung führen zu einem erheblichen Mehreinsatz von Dämmmaterialien in den Gebäuden. Dadurch hat sich der Verbrauch an Ressourcen eher erhöht. Im Bereich von mineralischen Baustoffen (vor allem Beton) hat sich der Einsatz von Recyclingstoffen als Alternative zum Naturschotter erhöht.
B	Kreislaufwirtschaft
B1	Gibt es einen Ansatz zur Kreislaufwirtschaft bei Münzner Bau?
	Ja, wir versuchen möglichst viele Materialien aus dem Rückbau zu verwerten/recyclen.
B2	Was passiert üblicherweise mit Holzabfällen beim Abbruch?
	Holz aus dem Innenbereich (Holz A II-III) wird der Holzindustrie zugeführt z. B. für Spanplatten etc. Holz A IV (gefährlicher Abfall) wird thermisch verwertet, also überwiegend im Müllheizkraftwerk verbrannt.
B3	Welche Maßnahmen ergreifen Sie zur Einführung oder Etablierung einer Kreislaufwirtschaft?
	Strikte Trennung der verschiedenen Materialien beim Rückbau und wo immer möglich Zuführung zum Recycling.
B4	Was sind Ihrer Erfahrung nach die größten Hindernisse für den Aufbau einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft?
	Sehr strenge Vorgaben an die Produktqualität des recycelten Materials und in vielen Fällen eine übertriebene Schadstoffbetrachtung und -einstufung, insbesondere auch beim Thema Asbest.
B5	Im Kreislaufwirtschaftsgesetz wurde eine neue 5- stufige Kategorisierung eingeführt, die die Wiederverwendung gegenüber Recycling oder anderer stofflicher Verwendung priorisiert.

Top Thema

	Hat dies bei Ihnen dafür gesorgt, dass die Nachfrage für die Wiederverwendung gestiegen ist?
	Nein, die meisten Kunden möchten die „alten“ Materialien loswerden, eine direkte Wiederverwendung findet so gut wie nicht statt.
C	Bestandsaufnahme von Gebäuden Im Rahmen dieser Masterarbeit wird ein Verfahren der Bestandsaufnahme zur schnellen, pragmatischen und zielsicheren Einschätzung der in einem Gebäude vorhandenen wieder- und weiterverwendbaren Bauteile erarbeitet.
C1	Wie gehen Sie bei der Bestandsaufnahme eines Gebäudes vor, dass zurückgebaut oder abgerissen werden soll?
	Aufnahme der verbauten Baumaterialien und Mengen, Aufnahme von Schadstoffen und der zugehörigen Mengen.
C2	Welche Eigenschaften von Bauteilen untersuchen Sie bei der Bestandsaufnahme bzw. benötigen Sie, um ein Abbruchvorhaben zu planen?
	Insbesondere die Art der mineralischen Baustoffe (Beton, Ziegel, Bims, Ytong, KS-Steine), das Vorhandensein von Dämmungen (KMF = Künstliche Mineralfaser) und Asbest, gegebenenfalls Schadstoffanalysen bei verschiedenen Materialien wie Parkettkleber (PAK) und sonstige schwarze Anstriche.
C3	Wie beurteilen Sie die Tragfähigkeit von Konstruktionen im Bestand? Welche Eigenschaften werden untersucht? Welche Schwierigkeiten gibt es bei der Beurteilung im Bestand?
	Die Tragfähigkeit ist bei zum Abbruch stehenden Gebäuden so zu berücksichtigen, dass während der Abbrucharbeiten keine einsturzgefährdeten Zustände entstehen. Es ist darauf zu achten, dass keine Bauteile/Decken durch Bauschutt überlastet werden. Müssen zu erhaltende Bauteile mit Maschinen überfahren werden, so muss deren Tragfähigkeit vorab geprüft werden. Die Beurteilung ist oft direkt nicht möglich, da Bauteile geöffnet oder freigelegt werden müssen, um die statischen Zusammenhänge zu erkennen.
C4	Könnte man diese Beurteilung auch auf die zukünftige Nutzung von Bauteilen übertragen?
	Die Erkenntnisse könnten zur Beurteilung für eine zukünftige Nutzung herangezogen werden. Schadstoffhaltige Materialien schließen eine zukünftige Nutzung aus.
C5	Weiterhin wird in dieser Abschlussarbeit ein Klassierungssystem für die Sortierung von Gebrauchtholz / gebrauchten Holzbauteilen nach deren Eignung für eine Wieder- oder Weiterverwendung entwickelt. Welche Aussage bzw. Antwort würden Sie von diesem System erwarten, damit Sie es einsetzen würden?
	Nach den derzeitigen gesetzlichen Vorschriften wäre eine Wiederverwendung nur für Holzbauteile der Kategorie A II-III möglich. Die Marktpreise für die gebrauchten Holzbauteile müssten die Kosten für den sensiblen Ausbau, Handling, Zwischenlagerung und Transport decken. Grundsätzlich müsste überhaupt ein Markt existieren, der eine entsprechende Nachfrage generiert.

Top Thema

C6	Wo würde ein solches Klassierungssystem Anwendung finden?
	Auf allen Baustellen im Rückbau.
C7	Wie könnte ein solches System Ihrer Meinung nach aussehen und könnte es die Altholzkategorien ergänzen?
	Wie erwähnt müssten die Hölzer schadstofffrei sein (A II-III Holz). Es sollte große Altholzzentren geben, die in der Lage sind, eine entsprechende Kategorisierung und Lagerung durchzuführen, und wo Interessenten das entsprechende Material kaufen können.
C8	Welche Aspekte sollten in diesem System Ihrer Meinung nach unbedingt vertreten sein?
	Die Preise sollten wettbewerbsfähig zu „Neu“-Materialien sein. Da dies aufgrund der hohen Kosten für den Ausbau und Umschlag kaum möglich sein wird, müssten „Straf“-Steuern auf Neuprodukte erhoben werden.
D	Rückbautechnik & Demontage
D1	Welchen Unterschied im Hinblick auf Personal, Zeit und Kosten gibt es bei der Demontage von Bauteilen, gegenüber anderen Verfahren im Abbruch?
	Maschinelle Verfahren sind in Bezug auf Personaleinsatz, Zeit und Kosten günstiger als manuelle Verfahren. Manueller Ausbau ist aufgrund der aktuellen Lohnkosten und der Verfügbarkeit von geeignetem Personal sehr teuer.
D2	Werden abgerissene Materialien von Ihnen direkt gelagert, entsorgt oder recycelt?
	Die anfallenden Materialien werden, wenn möglich direkt an die entsprechenden Verwertungs- und Entsorgungsstellen transportiert. Es gibt diverse Entsorgungseinrichtungen, die sammeln, sortieren, umschlagen und die Materialien dann den finalen Entsorgungsstellen zuführen.
D3	Könnten Ihrer Erfahrung nach Bauteile oder Baustoffe, die selektiv abgerissen oder demontiert wurden, nochmals verwendet werden?
	Prinzipiell ja, oft stehen aber die Kosten dagegen. Auch der Zeitgeist ändert sich. Wer möchte heute noch Glasbausteine oder ockerfarbene/olivgrüne Sanitärgegenstände?
D4	Welche Faktoren beeinflussen den Aufwand, der für einen Rückbau aufgewendet werden muss?
	Zugänglichkeit mit Maschinen, Art und Diversität der verbauten Materialien, Anteil an Handarbeit und die Entfernung zu den jeweiligen Entsorgungs- und Verwertungsstellen
D5	Welche Faktoren sind entscheidend für die Demontage eines Bauteils?
	Das Vorhandensein einer direkten Nachfrage und die kostendeckende Vergütung des Ausbaus. Eine Zwischenlagerung auf „gut Glück“, dass sich eine Nachfrage ergibt, scheidet aus Gründen des Kostenrisikos aus.
D6	Ist die sortenreine Trennung der Baumaterialien im Abriss gängige Praxis?

Top Thema

	Ja, siehe Ausführungen oben. Aber die Materialien werden dabei üblicherweise beschädigt, z. B. Holzdielenböden, Balken, etc. Ein beschädigungsfreier Ausbau bindet Lohnstunden und kostet deutlich mehr.
D7	Welche Eigenschaften, Verbindungen und Bauweisen sollten bei der Planung eines Gebäudes berücksichtigt werden, um die Rückbaubarkeit zu verbessern?
	Verbindungen, die sich mechanisch lösen lassen.
D8	Welche Besonderheiten gibt es beim Rückbau von Holzkonstruktionen oder Holzbauteilen gegenüber anderen Baumaterialien zu beachten?
	Jeder Baustoff hat materialbedingt entsprechende Rückbautechniken. Holz kann man mit Kettensägen bearbeiten, Beton wird mit Hydraulikhammer gestemmt etc.
E	Wiederverwendung von Bauteilen
E1	Gibt es bereits einen Markt für Bauteile / Tragwerke / Konstruktionen, den Sie bedienen?
	Es gibt bereits verschiedene Baustofflager, die einen derartigen Markt bedienen. Insbesondere für historische Baustoffe wie alte Rollläden, Fensterflügel, Sandsteingewände, Stahlstützen, Stahlträger etc. Wir bedienen diese Märkte nicht, da der Zeitaufwand zur Abklärung ob Interesse an bestimmten Materialien besteht und die Preisfindung für die einzelnen Materialien zu zeitaufwändig und damit meist nicht kostendeckend ist.
E2	Wenn es diesen Markt noch nicht gibt, wären Sie daran interessiert einen Markt für wiederverwendete Stoffe zu bedienen?
	Ja, wenn es der Wirtschaftlichkeit des Unternehmens nicht entgegensteht, d. h. wenn die erzielbaren Preise sämtliche Kosten decken.
E3	Was sind Ihrer Erfahrung nach die größten Hindernisse für die Wiederverwendung von Bauteilen?
	Hohe Lohnkosten beim Ausbau und gesetzliche Vorschriften bezüglich Schadstoffe (A IV-Holz) und kaum Nachfrage
E4	Welche Dinge müssten sich Ihrer Erfahrung nach ändern, damit die Wiederverwendung von Bauteilen attraktiver wird?
	Neue Bauteile müssten ein Vielfaches von den gebrauchten Bauteilen kosten, damit die Handling-, Umschlag- und Lagerkosten für gebrauchte Bauteile wettbewerbsfähig werden.

Interview-Fragebogen/Protokoll

Forschungsprojekt: Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus – Masterarbeit Felix Bisinger	
Teilnehmer: Schwörer Haus; KIT: Felix Bisinger	
Ort, Datum: k.A., 2023	
Beginn: -	Ende: -

Hinweise:

- „Wieder- und Weiterverwendung“ wird nachstehend nur als „Wiederverwendung“ bezeichnet
- Das Interview wurde redaktionell überarbeitet

Top Thema

A	Allgemeines
A1	Welche Leistungen bieten Sie an? Fertighäuser in Holztafelbauweise und Herstellung von Holzprodukten wie Brettschichtholz oder KVH. 2/3 des produzierten Holzes wird verkauft und 1/3 des Holzes wird in der eigenen Fertigung der Holzhäuser verwendet.
A2	Wie sieht die Produktionskette für die Holzbauteile bei SchwörerHaus aus? SchwörerHaus hat einen eigenen Kreislauf in der Produktion eingeführt, bei dem alle Holzabfälle aus der Holzproduktion in einem Biomasseheizkraftwerk in Energie umgewandelt werden. Diese Energie und Wärme werden in der Produktion genutzt, um beispielsweise das Holz technisch zu trocknen. Des Weiteren werden hochwertige Holzspäne auch verkauft, da es sich um einen wertvollen Rohstoff handelt. Der Produktionskreislauf wird auch auf der Internetseite dargestellt und erläutert (https://www.schworerhaus.de/ihre-vorteile/nachhaltig-bauen/)
B	Rückbau
B1	Haben Sie bereits Produkte zurückgebaut und wiederverwendet? Die Firma SchwörerHaus besitzt ca. 50 Musterhäuser in Deutschland, die nach 15-20 Jahren zurückgebaut werden. Tritt dieser Fall ein, so werden diese nach dem Rückbau an anderer Stelle wiederaufgebaut. Dieses Vorgehen wurde bereits durchgeführt und es konnte gezeigt werden, dass die Demontage und der anschließende Wiederaufbau von Fertighäusern funktioniert. In diesem Zuge ist auch das Projekt Rural Mining in Zusammenarbeit mit der Hochschule München zu erwähnen, bei dem untersucht wurde, inwiefern Fertighäuser recycelbar und rückbaubar sind. Es gibt auch ein Modernisierungsteam bei SchwörerHaus, die Fertighäuser umbauen und beispielsweise Räume vergrößern oder umstrukturieren, wenn sich die Nutzung ändert.
B2	Wie läuft der Rückbau der Musterhäuser ab?

Top Thema

	<p>Rückbau: Haus wird entkernt, Estrich muss entfernt werden. Die Wände, Decken und Dachteile können entgegen der Montagereihenfolge demontiert werden. Die Module sind untereinander mit Schrauben befestigt, die manuell gelöst werden können. Die Module können mit einem Kran bewegt und verladen werden und dann an einen neuen Platz transportiert werden.</p>
B3	<p>Welche Erkenntnisse konnten Sie aus dem Rückbau der Musterhäuser gewinnen?</p>
	<p>Der Rückbau der Musterhäuser führte dazu, dass der Zustand der Fertighäuser nach 15-20 Jahren beurteilt werden konnte. Es zeigte sich, dass keinerlei energetische Aufwertung des Fertighauses notwendig war, da dies immer noch den energetischen Standards entspricht.</p> <p>Einzelne Fertighäuser sind nie gleich aufgebaut. Aus diesem Grund macht es nur Sinn, das ganze Haus als Ganzes wieder zu verwenden.</p> <p>Das Gebäude musste komplett neu statisch nachgewiesen werden, da die Zulassung nach dem Rückbau entfällt. Häuser werden anders als beispielsweise Autos behandelt: Autos können abgemeldet und angemeldet werden. Der Fall eines versetzten Hauses kommt nicht oft vor und erfordert immer wieder eine neue Baubewilligung.</p> <p>Allerdings konnte man auf vorliegende alte Pläne zurückgreifen, die Informationen über die verbauten Bauteile enthielten. Deshalb wurden die Bauteile vor allem auf Schäden untersucht und im Anschluss statisch bewertet. Eine Schwierigkeit bei zusammengesetzten Bauteilelemente, wie beispielsweise einem Wandelement in Holztafelbauweise, ist, dass teilweise die Zulassungen für einzelne Komponenten nach einer gewissen Zeit auslaufen. So müssten theoretisch Stahlwinkel, die nicht mehr zugelassen sind, ausgetauscht werden.</p>
B4	<p>Gibt es weitere Ideen für die Wiederverwendung / Wiederverwertung von Holzbauteilen bei SchwörerHaus?</p>
	<p>Ideen ja aber aktuell ist die Umsetzung jedoch schwierig, weil zum einen viel Altholz schadstoffbelastet ist und zum anderen großer Aufwand damit verbunden ist.</p>
C	<p>Wiederverwendung von (Holz-)bauteilen</p>
C1	<p>Gibt es Ideen für den (selektiven) Rückbau Ihrer Produkte mit dem Ziel, diese wiederzuverwenden?</p>
	<p>Es gibt ein Rückbaukonzept für die Fertighäuser. Die Wiederverwendung einzelner Elemente macht keinen Sinn, da diese auch Anschlüsse für Strom und Wasser beinhalten und dementsprechend auf einen bestimmten Zweck angepasst sind. Aber einzelne Bestandteile der Elemente, wie beispielsweise die Fenster könnten leicht wiederverwendet werden.</p>
C2	<p>Welche Verbindungsmittel werden bei SchwörerHaus für die Verbindung der Bauteile eingesetzt?</p>
	<p>Bei den Holztafelementen werden Holzwerkstoffplatten mit Klammern befestigt. Diese Verbindungsmittel sind nicht zerstörungsfrei lösbar.</p> <p>Zwischen den einzelnen Elementen werden Schrauben als Verbindungsmittel eingesetzt.</p>
C3	<p>Wäre es für Sie denkbar, wiederverwendete Bauteile bei der Planung eines Fertighauses einzusetzen?</p>

Top Thema

	Denkbar und praktisch umsetzbar, aber aktuell spielt das noch keine Rolle. Vor allem aufgrund der Schadstoffgefährdung von altem Holz.
C4	Was sind Ihrer Meinung nach die größten Hindernisse für den Einsatz von wiederverwendeten Holzprodukten?
	Schadstoffe und Kosten für Zertifizierung, Rückbau etc.
C5	Welche normativen oder gesetzlichen Regelungen müssten sich ändern, damit die Wiederverwendung von Holzbauteilen oder Konstruktionen attraktiver wird?
	<p>Bauabfälle und zurückgebaute Bauteile sollten nicht direkt als Abfall deklariert werden. Es sollte vor der Einstufung zum Abfall noch eine weitere Stufe geben, die eine zusätzliche Beurteilung zulässt. Bauabfälle können auch Wertstoffe sein und beispielsweise als Sekundärrohstoffe eingesetzt werden.</p> <p>Zusätzlich sollte man darauf achten die hochwertigen Hackschnitzel, beispielsweise von technisch getrocknetem Holz, im Kreislauf zu erhalten und für die Produktion von Holzwerkstoffen einzusetzen. Kontaminiertes Holz sollte durch energetische Verwertung aus dem Kreislauf entfernt werden.</p>
C6	Wie schätzen Sie die Möglichkeit ein, in Zukunft mehr Bauteile wiederverwenden zu können?
	Durch technische Trocknung von Holz gehen Eiweiße kaputt, was dazu führt das kein Interesse von Schädlingen am Holz mehr besteht. Die technische Trocknung von Holz bei SchwörerHaus wurde bereits 1996 eingeführt. Holzbauteile von davor sind oft chemisch belastet. Das muss erstmal entsorgt werden. In der Zukunft sollten mehr Bauteile für eine Wieder-verwendung verfügbar sein, die nicht belastet sind.

Interview-Fragebogen/Protokoll

Forschungsprojekt: Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus – Masterarbeit Christoph Eh	
Teilnehmer: JaKo Baudenkmalpflege GmbH: Herr Schäle; KIT: Herr Eh	
Ort, Datum: k.A., 2023	
Beginn: -	Ende: -

Hinweise:

- „Wieder- und Weiterverwendung“ wird nachstehend nur als „Wiederverwendung“ bezeichnet
- Das Interview wurde redaktionell überarbeitet

Top Thema

A	<p>Allgemeines</p> <p>Die JaKo Baudenkmalpflege GmbH wurde im Jahr 1890 als konventioneller Zimmermannsbetrieb gegründet und hat seitdem eine kontinuierliche Entwicklung durchlaufen. Das mittelständische Unternehmen mit derzeit über 160 Mitarbeitern hat sich auf die Verlagerung (sog. Translozierung) ganzer Gebäude spezialisiert.</p> <p>In Deutschland gehört es zu den wenigen Unternehmen, die praktische Erfahrung im Bereich der Wiederverwendung von Gebäuden aufweisen können. [01] Dies bildet den Hintergrund für das vorliegende Interview mit Herrn Schäle. Seit nunmehr sechs Jahren leitet Herr Schäle die Abteilung für Translozierung. Vor seiner aktuellen Position absolvierte er eine Zimmermannsausbildung und studierte anschließend Bauingenieurwesen und Projektmanagement an der Hochschule in Biberach an der Riß.</p>
B	Interview
01	C.Eh: Guten Tag Herr Schäle.
	<p>Guten Tag Herr Eh. Bevor wir starten, würde ich gerne ein Kommentar zu dem von Ihnen zugesendeten Fragenkatalog abgeben. Das Wort „grundsätzlich“, welches dabei öfters auftauchte, kann man im Zusammenhang mit Translozierungsvorgänge nicht verwenden. Wir behandeln die Gebäude individuell und grundsätzliche Aussagen über den Aufwand und den Wiedernutzungsgrad von Hölzern translozierter Gebäude kann man so nicht treffen. Es sind zuerst Schadensaufnahmen nötig, um das Ausmaß der Schäden festzustellen, welches wiederum ganz von den individuellen Gebäuden abhängen.</p>
02	C.Eh: Das habe ich mir fast gedacht. Meine erste Frage wäre, wie alt die Gebäude in etwa sind, die Sie translozieren. Wie groß ist da die Spannweite, sprich was war das jüngste Gebäude was transloziert wurde und was war das Ältteste?
	<p>P.Schäle: Das ist natürlich eine gute Frage, bei der Translozierung sind's sehr unterschiedliche Objekte, also hauptsächlich sind's ja die Freilichtmuseen hier in Deutschland, bei denen wir ein Gebäude umsetzen, welche sich in den 70er/80er-Jahren so richtig aufgebaut haben in Deutschland. Dort war die Grundgebäudestruktur Bauernhöfe und Bauernhäuser aus dem 16./17./18. Jahrhundert. Die letzten 20 Jahren hat sich das so auf das 19. Jahrhundert ausgeweitet und jetzt, die letzten 5,6,7 Jahre, seit ich jetzt auch so stark mitinvolviert bin, kamen dann auch die Gebäude aus der</p>

Top Thema

	<p>Nachkriegszeit, sprich den 50'er/60'er-Jahren, hinzu. Das war das Modernste, das für ein Freilichtmuseum umgesetzt wurde. Zwischendrin gab es auch mal einen Brunnen, der war sicher jünger. Ebenso gab es im Deutschen Museum mal ein Tunnelnachbau, der war auch aus der jüngeren Vergangenheit. Aber den Großteil bilden die Bauernhäuser aus dem 17. Jahrhundert, 18. Jahrhundert.</p>
03	<p>C.Eh: Für meine Forschungsarbeit sind in erster Linie die Gebäude der 60'er bis 80'er-Jahre interessant, welche nun ihre geplante Nutzungsdauer erreicht haben. D. h. es handelt sich um recht junge Gebäude.</p> <p>Was waren bei speziell diesen Gebäuden, aber natürlich auch allgemein bei allen anderen, bezüglich des Holzbaus die größten Probleme bei der Translozierung in Bezug auf die Demontage? Was sehen Sie da kritisch?</p>
	<p>P.Schäle: Kritisch sind eigentlich immer die Trennstellen. Ab einer bestimmten Gebäudegröße muss ich das Gebäude ja auftrennen und in transportable Elemente zerlegen, wozu Schnittstellen gebildet werden müssen.</p> <p>In Bezug auf Holz sind die Fachwerkhäuser schon von ihrer Grundstruktur her besser aufzuteilen, weil sich einfache Zapfen mit Zapfenlöchern vorliegen habe. Zimmermannstechnische Verbindungen lassen sich sehr gut lösen. Die Fachwerkhäuser sind aber zusätzlich ja auch verputzt und ausgemauert, d. h. am Putz und am Mauerwerk entstehen die größeren Beschädigungen als am Holz. Somit handelt es sich eher um die Oberflächen und die Mauerwerksbestandteile, die ich in dem Trennschnitt öffnen muss.</p> <p>Bei massiven Gebäuden, die ich mit einer großen Säge aufsägen muss, entstehen größere Schäden im Trennbereich. Holzgebäude sind in dieser Hinsicht somit besser. Aber, wenn es die Gebäudegröße und die Struktur zulässt, versuchen wir es größtmöglich umzusetzen. Das heißt, manchmal können ganze Gebäudestücke umgesetzt werden, was natürlich die geringsten Schäden mit sich führt.</p>
04	<p>C.Eh: Bleiben wir beim Holzbau. Das heißt Holzverbindungen werden versucht, möglichst schadensfrei zu demontieren oder ist dann eher das Vorgehen, dass man irgendwo einen Sägeschnitt macht und diesen später durch geeignete Maßnahmen wieder zusammengefügt?</p>
	<p>P.Schäle: Nein, es wird schon drauf geachtet, dass man an den örtlichen Verbindungsstellen auch so fachmännisch auseinandertrennt, wie es vorher zusammengebaut wurde. Da ich aber alles in umgekehrter Reihenfolge zur Errichtung durch den Zimmermann damals machen muss, kommt zwangsläufig der Punkt da „beißt sich die Katze dann in den Schwanz“ und man muss einen Trennschnitt setzen. Aber ich sag mal 90% der Verbindung kann man trennen, wie sie zusammengefügt wurden.</p> <p>Außerdem gab es damals noch keine Metallverbindungen oder Stahlverbindungen oder irgendwelche Schrauben, sondern da war ja alles mit Holznägeln oder wirklich nur Zapfen, die ineinandergesteckt wurden. Das heißt mit einem Hebeisen oder anderen Werkzeugen lässt sich das eigentlich gut auftrennen.</p>
05	<p>C.Eh: Das bringt mich zu meiner nächsten Frage, wie würden Sie den Aufwand einschätzen, mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit? Sehen Sie in diesem Vorgehen flächendeckendes Potential als Standardvorgehen für Gebäude, die sonst abgerissen werden oder eignet sich das nur für individuelle, besondere Gebäude?</p>
	<p>P.Schäle: Translozierung ist grundsätzlich sehr kostenintensiv, deswegen sind auch die Freilichtmuseen hauptsächlich unsere Auftraggeber, da die natürlich gewisse Fördermöglichkeiten vom Staat bekommen oder von anderen Förderprogrammen</p>

Top Thema

	<p>profitieren. Für private Bauherren würden die Kosten, die eines Neubaus sehr stark übersteigen.</p> <p>Das kommt daher, dass wenn ich ein Gebäude transloziere, baue ich es ab und errichte es im Anschluss in unserer Restaurierungshalle oder in einem anderen Gelände im Maßstab 1:1 wieder. Dort finden dann Restaurierungsmaßnahmen statt, woraufhin das Gebäude nochmals abgebaut und am endgültigen Standort mit der neuen fundamentierten Gründung final aufgebaut wird. Es handelt sich somit um einen langen Prozess, welcher sich mit Mobilkränen und den nötigen Transportfahrzeugen nicht immer ganz so einfach gestalten lässt.</p>
06	<p>C.Eh: Sie sprechen von Restaurationsmaßnahmen. Mit wie vielen Verlusten ist denn bei so einer Translozierung zu rechnen? Wie viel von dem eingesetzten Holz lässt sich anschließend wieder 1:1 wiederverwenden? Kann man das pauschal sagen oder abschätzen? Speziell in Bezug auf die jüngeren Gebäude?</p>
	<p>P.Schäle: Bei den jüngeren Gebäuden ist es leider so, dass da nicht mehr so viel Holz verbaut wurde. Das waren eher Tankstellen oder Stahlhäuser bzw. Quellehäuser aus dem Katalog mit irgendeinem Verbundmaterial. Wenn ich auf die etwas älteren Gebäude schau, dann kann man schon einen sehr großen Anteil an Holz reaktivieren. Aber das ist sehr individuell zu betrachten und wird von Faktoren wie Holzschädlingen etc. beeinflusst, sodass ich ab und zu statisch dazu gezwungen bin Hölzer zu wechseln. Das muss von Gebäude zu Gebäude betrachtet werden. Es gibt Gebäude, da kann ich alles, 1:1 so lassen und es gibt andere, da muss man 50% von den Hölzern austauschen, weil's leider so beschädigt war.</p>
07	<p>C.Eh: Das bedeutet jeder Translozierung geht eine Schadensanalyse voraus. Wie geht die Beurteilung der Tragfähigkeit dabei von statten, wird das Gebäude komplett neu bemessen und was muss dabei beachtet werden?</p>
	<p>P.Schäle: Ja, ganz am Anfang wird eine Bestandsaufnahme vom Gebäude gemacht. Meistens gibt es keine Planunterlagen, das heißt, wir machen ein 3-D-Aufmaß und erstellen Planunterlagen. Mit den Planunterlagen gehen wir dann durch das Gebäude und machen eine Schadenskartierung, wie Sie das schon angesprochen haben. Damit legen wir die Grundlage zur Beurteilung der Hölzer bezüglich der Statik. Anhand dessen können wir ermitteln, welche Bauteile getauscht werden müssen und welche sich eventuell auch mit Beschädigung erhalten lassen.</p> <p>Es wird grundsätzlich immer versucht so viel von den Originalhölzern zu erhalten wie nur geht. Zusätzlich muss natürlich beachtet werden, dass ich mit der Umnutzung zum Museum neue Belastungen generiere, wenn beispielsweise eine Gruppe mit 30 Leuten bei einer Führung an einem Punkt stehen bleibt. Aber meistens war es früher so, dass die Gebäude mit ihren Holzquerschnitten etwas überdimensioniert waren, von dem her können die schon Einiges.</p>
08	<p>C.Eh: Eine letzte Frage hätte ich noch zum Thema Holzschutz. In älteren Gebäuden ist dies zwar kein so präsent Thema, aber haben Sie schon Erfahrung mit chemisch belasteten Bauteilen bzw. Bauwerken gesammelt? Wenn ja, wie sind Sie damit umgegangen?</p>
	<p>P.Schäle: Also die sind meistens für die Translozierung dann nicht geeignet. Deswegen kommt das eigentlich kaum vor in der Translozierung. Vorab werden in der Regel Schadstoffmessungen durchgeführt und sollte die Belastung zu hoch sein, kann ich solche Gebäude im Originalzustand nicht für Besucher zugänglich machen. Deshalb fallen sie aus dem Raster. In anderen Gebäuden wie beispielsweise Kirchendachstühlen, wo es ja oft auch eine chemische Schädlingsbekämpfung gab, kann das Holz aufgrund der Unzugänglichkeit für Personenverkehr dagegen original</p>

Top Thema

	erhalten bleiben. Techniker oder sonstige Leute, die doch mal hinauf müssen, tragen dann eben entsprechende Schutzkleidung.
09	C.Eh: Sehr gut, vielen Dank, das war's von meiner Seite.
C	Literaturverweise
[01]	Internetdokument: JaKo Baudenkmalpflege GmbH Website: 1980 bis heute - die lange Geschichte von JaKo. URL: https://www.jako-baudenkmalpflege.de/ueber-130-jahre .

Interview-Fragebogen/Protokoll

Forschungsprojekt: Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus – Masterarbeit Christoph Eh	
Teilnehmer: Sägewerk Streit: Herr M. Eh; KIT: Herr C. Eh	
Ort, Datum: k.A., 2023	
Beginn: -	Ende: -

Hinweise:

- „Wieder- und Weiterverwendung“ wird nachstehend nur als „Wiederverwendung“ bezeichnet
- Das Interview wurde redaktionell überarbeitet

Top Thema

A	<p>Allgemeines</p> <p>Das Sägewerk Streit zählt mit seinem jährlichen Rundholzeinschnitt von 370.000 m³ zu den 20 größten Sägewerken in Deutschland und ist das größte im Schwarzwald. Die Gründung des Sägewerks erfolgte im Jahr 1865, und seit 1983 befindet es sich an seinem gegenwärtigen Standort in Hausach.</p> <p>Herr M. Eh, als Diplomforstwirt/Forstassessor, fungiert als Ansprechpartner für die Rundholzabteilung und Betriebsführungen und steht als Interviewpartner zur Verfügung. Seit 1991 ist er Leiter des Rundholzeinkaufs und trägt somit die Verantwortung dafür, dass der tägliche Bedarf von 50-55 LKW Rundholz sichergestellt ist. [01]</p>
B	Interview
01	<p>C.Eh: Herr Eh, meine erste Frage wäre, wieviel Schnittholz produziert das Sägewerk STREIT jährlich?</p> <p>M.Eh: Wir produzieren jährlich ca. 210.000 m³ Fichten- bzw. Tannenschnittholz.</p>
02	<p>C.Eh: Wie viel des produzierten Schnittholzes wird schätzungsweise im Bausektor verwendet?</p> <p>M.Eh: Rund 90 % unserer Produktion geht in die Bauwirtschaft, entweder als direkt verbautes Schnittholz wie Sparren, Dielen, Bohlen, Latten usw. oder als Rohware für Ingenieurholzsortimente wie beispielsweise KVH, BSH, CLT. Die restlichen 10 % gehen in die Möbel- oder Verpackungsindustrie, als Beispiel kann ich hier die Palettenherstellung nennen.</p>
03	<p>C.Eh: Wie wird der Preis für das produzierte Schnittholz bestimmt, was sind da die Einflussfaktoren?</p> <p>M.Eh: Diese Frage lässt sich nicht in wenigen Sätzen beantworten. Grundsätzlich wird der Preis vom Verhältnis von angebotener und nachgefragter Schnittholzmenge in den verschiedenen europäischen bzw. mittlerweile auch global geprägten Märkten bestimmt.</p> <p>Wesentlich begrenzender Faktor für das Aufkommen/Produktion an Schnittholz ist die verfügbare Menge an Rundholz. Diese ist i.d.R. durch eine europaweit ähnliche Forstgesetzgebung in einer gewissen Höhe begrenzt. Das bedeutet, grundsätzlich darf</p>

Top Thema

	<p>jeder Waldbesitzer nur so viel Rundholz einschlagen bzw. dem Markt zur Verfügung stellen, wie nachhaltig in seinem Wald zuwächst. Das bezeichnet man dann als den nachhaltig verfügbaren Hiebsatz, der bei den Baumarten Fichte und Tanne in Mitteleuropa in etwa bei rund 10 Festmeter / Hektar Fichtenfläche / Jahr liegt.</p> <p>Entsprechend „stabil“ ist das Aufkommen und damit der Preis für Schnittholz in normalen Zeiten. So hatten wir nach der Wirtschaftskrise 2008/09 (Lehmann Brothers) bis zum Jahr 2018 ein über Jahre vergleichsweise stabiles Schnittholzpreisniveau, da das Aufkommen an Rundholz durch Kalamitäten, wie Sturm oder Käferbefall, nicht so hoch war, als dass es nicht im Hiebsatz hätte aufgefangen werden können. Gleichzeitig war die Baukonjunktur im Europäischen Raum durch ein gutes Investitionsklima mit extrem niedrigen Zinsen und der allgemein sehr geringen Inflationsrate weitestgehend stabil bzw. günstig.</p> <p>Mit welchen radikalen Amplituden und in welcher geringen zeitlichen Abständen eine Änderung der Schnittholzpreise erfolgen kann, zeigt jedoch das Marktgeschehen ab 2018 bis heute. Zunächst erhöhte sich durch Sturm „Frederike“ im Frühjahr und auch den darauffolgenden Sommern durch die anhaltende Hitze bzw. Trockenheit das Aufkommen an Rundholz durch Kalamitäten in Mitteldeutschland gewaltig und lag in den Folgejahren jeweils deutlich über den Hiebsatz. Verbunden damit war ein Preisverfall für Rundholz.</p> <p>Zum gleichen Zeitpunkt herrschte in den USA, dem weltweit größten Schnittholzmarkt, ein extremer Nachfrageüberhang. Zunächst hatten TRUMPs „America first“ Politik die kanadischen Schnittholzimporte durch Einfuhrzölle wesentlich verteuert bzw. reduziert. Kurz danach sorgte das milliarden schwere Konjunkturprogramm seines Nachfolgers BIDEN für einen Bauboom, da seit der Immobilienkrise 2008/09 in den USA im Wohnungsbau ein Stau herrschte.</p> <p>Beides führte dazu, dass mitteleuropäisches Schnittholz in den USA konkurrenzfähig war und europäische Sägewerke aufgrund der guten Preise ihre Mengen dort absetzten. Binnen kürzester Zeit herrschte eine regelrechte Mangelsituation an Schnittholz im europäischen Bausektor und die Schnittholzpreise explodierten förmlich bis auf das Fünffache. Durch Panik bedingte Mehrfach-Bestellungen und eine übertriebene Lagerhaltung wurde der Effekt noch verstärkt, um dann nach wenigen Wochen wieder zusammen zu brechen.</p> <p>Zwischenzeitlich bestimm(t)en die Corona Krise, der Ukrainekrieg, die Energiekrise und auch die damit zusammenhängenden Flüchtlingsströme, das Weltgeschehen. Das hat natürlich auch seine Auswirkungen auf die Bauwirtschaft. Trotz Mangel an Wohnraum in der BRD – nachhaltig sollten ca. 250 Tsd. Wohnungen jährlich gebaut werden - haben wir derzeit eine schlechte Baukonjunktur, verbunden mit einer extrem geringen Nachfrage nach Schnittholz und entsprechend rückläufigen Preisen auf ein Niveau von 2018.</p>
04	<p>C.Eh: Wenn wir jetzt von der Preisentwicklung in Richtung Schnittholzentwicklung übergehen, wie läuft die Herstellung von Schnittholz ab? Was sind die einzelnen Prozessschritte bis aus Rundholz Schnittholz entsteht?</p>
	<p>M.Eh: Nach Ankunft des Rundholzes wird dies zunächst mittels Laser bzw. Infrarotmesssysteme vermessen wobei sowohl Volumen und Form des entsprechenden Stammes erfasst werden. Danach erfolgt in Abhängigkeit von Form und Qualität eine entsprechende Zuordnung zu den zu erzeugenden Schnittholzdimensionen, anhand unserer Auftragslage, mittels digitaler Einteilung. Dabei wird durch optimale Volumen-/Qualität Ausbeute das Ziel einer maximalen Wertschöpfung verfolgt. Danach wird das Rundholz in mehreren Arbeitsschritten auf der Sägelinie mit Fräsen bzw. Kreissägen gespant bzw. gesägt, bis die Zieldimension erreicht wurde. Anschließend erfolgt eine Qualitätsüberprüfung die Sortierung des Schnittholzes nach Dimensionen bzw. Kundenaufträgen und es wird verladen bzw. getrocknet und/oder der Weiterverarbeitung zugeführt</p>

Top Thema

05	C.Eh: Sie haben die Sortierung angesprochen, wann und wie erfolgt die Festigkeitsbestimmung des Schnittholzes?
	M.Eh: Eine Festigkeitsortierung erfolgt derzeit (noch) nicht maschinell, sondern nur okular durch geschulte Mitarbeiter bzw. mit technischer Unterstützung durch das „Wood eye“. Dabei wird Schnittholz entsprechend den Schnittholznormen DIN 4074 für die Schnittklassen S10 bis S24 überprüft bzw. eingeteilt. Teilweise werden auch zusätzlich kundenspezifische Sortierungswünsche berücksichtigt.
06	C.Eh: Erfolgt in diesem Zuge auf die Bestimmung von möglichen Holzpilzen und Insekten?
	M.Eh: Allgemein wird beim Kauf darauf geachtet, kein pilzbefallenes Rundholz zu kaufen. Eine Ausnahme bildet vom Bläuepilz im Splint geringfügig befallenes Holz in den Sommermonaten. Ähnliches gilt für den Insektenbefall von rindenbrütenden Insekten, wie den Buchdrucker, die nicht in den Holzkörper eindringen. Befallenes Rundholz wird mit dem Ziel einer Verwendung im geringer wertigen (z. B. Nicht Sicht) Bereich gekauft. Von Holzbrütenden Insekten, wie dem Fichtenbock, der Holzwespe oder den Werftkäfern, befallenes Rundholz wird nicht gekauft. Gelegentlich im Beifang mitgekauft Holz wandert in den „Ausschuss“ und wird entweder als solcher verkauft oder für die Erzeugung von Unterlagen Hölzern verwendet.
07	C.Eh: Nun ist es ja möglich, dass sich Fremdkörper wie Metall oder ähnliches im bzw. am Stamm befinden, wie wird damit umgegangen?
	M.Eh: Die Rundhölzer werden vor dem Eingang in die Produktion über ein Gummiband durch ein Metallsuchgerät geführt (Elektromagnet). Dabei wird metallhaltiges Holz aussortiert.
08	C.Eh: Was passiert mit dem betroffenen Holz?
	M.Eh: Metallhaltiges Holz wird nicht eingeschnitten, sondern in der Regel der thermischen Verwertung in einem unserer Heizwerke zugeführt. Gelegentlich gibt man diese Hölzer auch in den Lohnschnitt zu kleineren Gattersägewerken, welche entweder mittels händisch geführten Metallsuchgeräten das Rundholz abscannen und metallhaltige Teile ausschneiden oder auf Risiko einschneiden, unter Inkaufnahme von Beschädigungen der Sägeblätter.
09	C.Eh: Was sind die gängigen Schnittholzlängen, die sie dabei produzieren?
	M.Eh: Überwiegend kaufen wir Langholz, also Stämme mit einer Länge zwischen 10 m und 19 m Länge ein. Daraus optimieren wir Schnittholz von 3m bis max. 11m Länge. Rund 60% der Schnitthölzer haben Längen zwischen 4m und 6m und rund 30% Längen zwischen 6m und 8m. Je nach Kundenwunsch produzieren wir in individuellen Längenschritten (z. B. 30 cm Teilung) und unterscheiden uns damit von den meisten anderen großen Sägewerken, die Rundholz in Fixlängen von 4m, 4,5m oder 5m Länge einkaufen und einschneiden.
10	C.Eh: Wäre es vorstellbar Holz aus dem Bestand, welches Fremdkörper, Holzschutzmittel, Querschnitts-schwächungen etc. enthält ab einem gewissen Punkt in die Prozesskette zu integrieren und aufzubereiten?

Top Thema

	<p>M.Eh: Die Integration unbehandelter, also mit Fremdkörpern, Holzschutzmittel oder Querschnittsschwächungen behafteten Hölzern in die bestehende Prozesskette ist nicht vorstellbar.</p> <p>Die Integration behandelter, also von Fremdkörpern, Holzschutzmittel befreiten Hölzern oder Hölzern mit geringen Querschnittsschwächungen ist grundsätzlich denkbar. So könnte man große Schnittholzdimensionen in Abhängigkeit der Holzstruktur und Qualität zu geringen Schnittholzdimensionen einschneiden. Wir produzieren derzeit im Sägewerk aus Rundholz große Kantlinge, welche in der Weiterverarbeitung mit feinblättrigen Kreissägen zu Leisten bzw. Latten aufgetrennt werden. Diese Kantlinge haben wir - je nach Marktlage - auch schon zugekauft.</p> <p>Entscheidende Fragen sind, wie erfolgt diese Aufbereitung, welche Kosten sind damit verbunden und wie ist dabei der ökologische Fußabdruck. Es macht wenig Sinn, den umweltfreundlichen Rohstoff Holz, durch den Einsatz umweltschädlicher Methoden erst wieder umweltfreundlich zu machen</p>
11	<p>C.Eh: Was müsste Ihrer Ansicht nach passieren, damit wiederverwendete Holzbauteile konkurrenzfähig mit frischem Schnittholz werden?</p>
	<p>M.Eh: Es müsste zunächst eine große Nachfrage nach Holz als Baustoff entstehen. Davon kann grundsätzlich ausgegangen werden, denn Holzbau mit diesem ökologisch wertvollen Baustoff ist im Vormarsch. Dann müsste die nachhaltig verfügbare Rundholzmenge den Bedarf der Sägewerke zur Erzeugung von Schnittholz nicht mehr decken können. Auch das ist grundsätzlich vorstellbar, zumal in Mitteleuropa die Vorräte an Fichtenholz in den letzten 5 Jahren aufgrund der durch die trockenen Sommer verheerenden Käferholzanfälle um bis zu 50% reduziert wurden. Der fortschreitende Klimawandel wird den Fichten in Mitteleuropa weiter zusetzen, was zunächst das Aufkommen an Fichten evtl. erhöht, aber mittelfristig die ausreichende Versorgung der Sägewerke in Frage stellt. Dazu kommen die Auswirkungen des seit ca. 50 Jahren anhaltenden Umbaus der Wälder zu laubholzreichen Wäldern, gekoppelt mit zunehmenden Restriktionen im Wald bzw. Stilllegungen durch den Naturschutz. Das war auch Thema der diesjährigen internationalen Schnittholzkonferenz in Wien. Die mittelfristig ausreichende Versorgung der europäischen Holzindustrie ist eine ihrer drängenden Fragen. Der Vorsitzende des Österreichischen Sägewerkverbandes sieht deshalb auch eine Chance für die Wiederverwendung von schon verbautem Schnittholz</p> <p>Gleichzeitig bestehen aber noch erhebliche ungenutzte Reserven an Holz im Borealen Nadelwaldgürtel. Aktuell fehlen 8,5 Mio. Kubikmeter an Schnittholz in Mitteleuropa aus der GUS durch das europäisch / amerikanische Embargo. Der Transport von Schnittholz ist zudem in weiten Teilen noch zu billig. Aktuell kostet der Transport vom Schnittholz per Container nach China gerade etwa 12 Euro/Kubikmeter.</p> <p>Insofern lässt sich diese Frage abschließend für mich nicht eindeutig beantworten</p>
	<p>C.Eh: Sehr gut, vielen Dank, das war's von meiner Seite.</p>
C	<p>Literaturverweise</p>
[01]	<p>Internetdokument: Sägewerk-Streit Website: Das Unternehmen. URL: https://www.saegewerk-streit.de/unternehmen/</p>

Interview-Fragebogen/Protokoll

Forschungsprojekt: Vorbereitung der Wiederverwendung von bestimmten Bauprodukten des Holz- und Stahlbaus – Masterarbeit Christoph Eh	
Teilnehmer: Veolia Umweltservice Süd GmbH & Co. KG; Herr P. Jahn; KIT: Herr Ch. Eh	
Ort, Datum: k.A., 2023	
Beginn: -	Ende: -

Hinweise:

- „Wieder- und Weiterverwendung“ wird nachstehend nur als „Wiederverwendung“ bezeichnet
- Das Interview wurde redaktionell überarbeitet

Top Thema

A	<p>Allgemeines</p> <p>Die Veolia Deutschland GmbH, mit 9500 Mitarbeitern und 250 Standorten, zählt zu den führenden Umweltunternehmen in Deutschland. Ihre Tätigkeitsfelder umfassen Entsorgung, Energie und Wasser, wobei die Altholzentsorgung, insbesondere unter der Leitung von Herrn Pascal Jahn, dem Niederlassungsleiter der Niederlassung Kraftwerke, im Fokus dieser Arbeit steht. Herr Jahn hat freundlicherweise seine Bereitschaft signalisiert, Fragen im Zusammenhang mit der Aufbereitung und Entsorgung von Altholz zu beantworten [1]</p>
B	<p>Interview</p> <p>C.Eh: Guten Tag Herr Jahn, Bevor wir starten, wäre es schön, wenn Sie kurz etwas über sich erzählen könnten.</p> <p>P.Jahn: Guten Tag Herr Eh. Mein Name ist Pascal Jahn, und ich arbeite als Niederlassungsleiter der Niederlassung Kraftwerke bei der Veolia Umweltservice Süd GmbH & Co. KG. Wir betreiben zwei Altholzkraftwerke, eines in Großeidingen, dass Althölzer der Kategorien A1 bis A3 verwertet und eine Jahreskapazität von etwa 35.000 Tonnen hat. Das zweite Kraftwerk befindet sich in Sachsendorf bei Bamberg, und hier verwerten wir jährlich etwa 55 bis 60.000 Tonnen Altholz der Klassen A1 bis A4. Das bedeutet, dass auch gefährliche Altholzabfälle hier verbrannt werden dürfen. Zusätzlich betreibt Veolia Süd etwa 30 bis 35 Abfallwirtschaftsbetriebe, in denen teilweise dieses Altholz direkt vom Endkunden gesammelt wird. Anschließend wird es entweder zu uns transportiert oder im Bereich der stofflichen Verwertung behandelt. Es ist jedoch wichtig anzumerken, dass wir derzeit keine Anlage zur Aufbereitung von Altholz für die stoffliche Verwertung betreiben. Aktuell liegt unser Fokus auf der thermischen Verwertung. Mittelfristig könnten jedoch voraussichtlich Veränderungen in dieser Ausrichtung erfolgen.</p>
01	<p>C.Eh: Das bringt mich auch schon zu meiner ersten Frage, Sie erwähnten, dass die Verbraucher das Holz sammeln und Sie es abholen, d. h. die Firma Veolia bietet selbst keine Abbrüche oder Demontageservices an?</p> <p>P.Jahn: Genau, genau! Also, wir stellen Container beim Kunden bereit, sowohl Absetz- als auch Abrollcontainer. Es kommt vor, dass Abbruch- und Demontagefirmen beauftragt werden, allerdings nicht von Veolia, sondern direkt vom Endkunden. Das Altholz gelangt dann maximal über das Abbruchunternehmen zu uns. Bei uns sind</p>

Top Thema

	Abbruchunternehmen eher Lieferanten; wir selbst führen in der Regel keinen Abbruch- oder Demontageservice durch.
02	C.Eh: Wie sind von ihrer Seite aus die Ansprüche an diese Unternehmen, was wird von Ihnen verlangt?
	<p>P.Jahn: Genau, also die Hauptanforderungen liegen vor allem darin, dass das Altholz nach den Altholzkategorien getrennt wird. Oft ist es so, und einige Ihrer Fragen zielen ja auch darauf ab, dass Altholz vor allem der Kategorie A4 separat gesammelt wird. Dies erfolgt, da es als gefährlicher Abfall eingestuft wurde/wird und in Bezug auf die Fragen zur Entsorgung rechtlich getrennt gehalten werden muss. Oftmals sind Analysen erforderlich, um festzustellen, ob das Altholz in der entsprechenden Endverwertungsanlage verwertet werden kann.</p> <p>Darüber hinaus wird Altholz der Klasse A1 häufig separat gehalten, beispielsweise Einweg oder Mehrwegpaletten. Diese können aufgrund ihrer Sortenreinheit entweder direkt als Paletten wiederverwertet werden oder, wenn sie beschädigt oder nicht mehr reparabel sind, als Inputmaterial zur stofflichen Verwertung dienen, sprich zur Herstellung von Holzfaserplatten oder OSB-Platten. Das bedeutet, man trennt im Idealfall in die Kategorien A1, A4 und A2-A3-Holz, welche oft eine Mischung bildet, da es häufig nicht erkennbar ist, ob das Material halogenorganisch beschichtet ist oder nicht. Ich weiß nicht, in wie Sie sich mit der Altholzverordnung auseinandergesetzt haben um die Kategorien einzustufen zu können oder zu wissen, was sich dahinter verbirgt ansonsten könnt' ich dazu auch noch etwas erzählen.</p>
03	C.Eh: Ja, gerne. Also, ich kenne die Altholzkategorien und weiß, welche Arten von Altholz in welche Kategorie fallen. Allerdings ist mir nicht ganz klar, wie genau die Sortierung dieser Altholzkategorien erfolgt.
	<p>P.Jahn: Zur Altholzkategorie A1 zählt mechanisches Naturholz, also naturbelassenes Holz, das maximal mechanisch behandelt wurde. Das bedeutet, beispielsweise eine Palette, die aus naturbelassenem Vollholz besteht und weder gestrichen, lackiert noch anderweitig beschichtet ist, würde als A1-Holz klassifiziert.</p> <p>A2-Holz hingegen bezeichnet beschichtetes, lackiertes oder gestrichenes Holz, unabhängig davon, ob es sich um Vollholz, Faserplatten- oder Spanplattenholz handelt. A3-Holz weist die gleichen Eigenschaften wie A2-Holz auf, jedoch ist es halogenorganisch beschichtet. Das bedeutet, wenn sich ein PVC-Umleimer oder eine PVC-Beschichtung darauf befindet, wird das Holz der Kategorie A3 zugeordnet.</p> <p>Die Kategorie A4 umfasst Holz, das mit Holzschutzmitteln behandelt wurde, zum Beispiel Spielgeräte, Jägerzäune, Bahnschwellen oder Leitungsmasten.</p>
04	C.Eh: Das bedeutet die Vorsortierung findet bereits auf der Baustelle statt und wird durch das Abbruchunternehmen durchgeführt?
	<p>P.Jahn: Bestenfalls ja. Es kommt teilweise vor oder kann vorkommen, dass sämtliche Altholzkategorien in einem Container gesammelt werden. In solchen Fällen erfolgt die Einstufung immer auf Basis der höchsten Altholzkategorie. Es ist durchaus möglich, dass in einer Altholzlieferung, die als A2 oder A3 bezeichnet ist, tatsächlich ein hoher Anteil an A1-Holz enthalten ist. Ebenso kann es im Rahmen einer A4-Holzlieferung vorkommen, dass auch Althölzer einer höheren Kategorie darin enthalten sind, da immer nach der höchsten Kategorie eingestuft wird.</p>
05	C.Eh: Wird bei Ihnen im Werk nochmals eine Sortierung vorgenommen oder vertrauen Sie vollkommen den Abbruchunternehmen?

Top Thema

	<p>P.Jahn: Also, was die thermische Verwertung betrifft, sowohl im Kraftwerk als auch in unserem Betrieb, betrachten wir das Ganze mal getrennt. Im Kraftwerk findet keine Trennung mehr statt. Dort halten wir zwar reine A1-Holzlieferungen getrennt, weil wir dieses Holz zu Anfeuerungszwecken nutzen dürfen. Wenn das Kraftwerk gestartet wird, darf mit naturbelassenem Holz angefeuert werden. Abfallholz der Kategorien A2 bis A4 darf erst ab der Überschreitung einer bestimmten Mindestverbrennungstemperatur hinzugefügt werden, aufgrund der Schadstoffbelastung, welche bei höheren Temperaturen aufgeknackt wird. So schaffen wir hier mit A1 eine Anfeuerungsmöglichkeit.</p> <p>In den Sammelbetrieben ist es allerdings so, dass hauptsächlich nur Paletten entnommen werden und A1-/A2-Holz getrennt erfasst wird. Hier und da findet auch eine Sortierung in Richtung A1 bis A2 statt, wenn die Kapazitäten vorhanden sind, weil dies für die stoffliche Verwertung geeignet wäre. Die Altholzverordnung sieht vor, dass A1- und A2-Holz stofflich verwertet werden darf. Allerdings bezieht sich stoffliche Verwertung in unserem Kontext und im abfallwirtschaftlichen Kontext allgemein meistens auf die Spanplattenherstellung. Das bedeutet, dass man beispielsweise einen Vollholzbalken aus einem Altholzsortiment entnimmt, um diesen letztlich wieder als Vollholzbalken auf den Markt zu bringen, findet nicht statt oder ist mir zumindest nicht bekannt. Das hat mehrere Hintergründe, sowohl technische als auch abfallrechtliche.</p>
06	<p>C.Eh: Können Sie die technischen und rechtlichen Hindernisse etwas genauer erläutern?</p>
	<p>P.Jahn: Die Trennung von Fremdkörpern wie Metallen basiert, sozusagen, auf dem Prinzip der Zerstörung. Bei uns im Kraftwerk ist es beispielsweise so: Wir haben eine relativ anspruchslöse Rostverbrennung, das heißt, wir setzen überwiegend Grobholz ein. Unsere Aufbereitung besteht lediglich aus einem Vorbrecher, der das Altholz auf eine Kantenlänge von etwa 0 bis 300 mm zerkleinert, sodass eine Korngröße von bis zu 30 cm übrigbleibt. Diese kann direkt der Verbrennung zugeführt werden. Das bedeutet, dass grobe Metallteile nach dem Verkleinerungsprozess mittels eines Überbandmagneten abgeschieden werden. Alles Weitere, das sich an FE oder NE-Material im Holz befindet, bleibt im Holz und durchläuft den Verbrennungsprozess. Es landet dann als Aluminiumschmelze in der Schlacke oder als Nagelschraubenbeschlag oder ähnliches in der Rost- und Kesselasche.</p> <p>In der stofflichen Aufbereitung sieht es so aus, dass einer groben Vorzerkleinerung noch eine Nachzerkleinerung nachgeschaltet ist. Diese zerlegt das Holz noch einmal, vielleicht auf eine Korngröße von 0 bis 100, 0 bis 70 mm, um die darin befindlichen Schrauben, Nägel oder auch Aluminiumbestandteile herauszulösen. Auf diese Weise können sie dann im Rahmen des Aufbereitungsprozesses nahezu komplett entfernt werden, da die Spanplattenhersteller oft bestimmte Qualitätsanforderungen an den Span stellen, der häufig auch frei von FE- und NE-Material sein sollte.</p> <p>Hinzu kommt, dass es schwierig ist, Holz oder grundsätzlich sämtliche Materialien, die man sich für das Recycling vorstellen kann, aus dem Abfallregime herauszulösen. Das bedeutet, dass Abfallströme, die einmal mit einem Abfallschlüssel versehen sind - es gibt etwa 800 Abfallschlüssel EU-weit, in die Abfälle kategorisiert werden - entsprechend schwer aus dem Abfallsystem entfernt werden können. Es steht auch im Kreislaufwirtschaftsgesetz, welche Eigenschaften vorliegen müssen, um Abfall wieder zu einem Produkt werden zu lassen. Dabei ist es schwierig, diese Eigenschaften nachzuweisen, um beispielsweise einen unversehrten Vollholzbalken aus einem Abfallsortiment zu nehmen und diesen wieder als Produkt auf den Markt zu bringen. Das sind im Wesentlichen die rechtlichen Vorgaben oder Hintergründe. Bei den technischen Gegebenheiten sieht es so aus, dass keine direkte Produktprüfung nach bestimmten technischen Standards erfolgt. Als Entsorgungsdienstleister würden wir niemals die Gewährleistung dafür übernehmen, dass, wenn ein Balken als Vollholz ankommt und ich diesen rechtlich in den Markt zurückbringen dürfte, das entsprechende Haus, was aus diesem Balken oder der Dachstuhl, der aus diesem</p>

Top Thema

	<p>Balken hergestellt wurde, irgendwann zusammenbricht. In der Nachweiskette wäre es sicherlich schwierig nachzuvollziehen, ob wir die Schuldigen gewesen wären oder ob der Balken vielleicht irgendwo angeknackst war. Das sind die hauptsächlichen Hürden.</p>
07	<p>C.Eh: Richtig. Demzufolge müsste ein Fachmann hinzugezogen werden, welcher das Holz begutachtet, und die Tragfähigkeit beurteilt.</p>
	<p>P.Jahn: Genau, es ist auch so, dass wir einen Großteil des Holzes, das wir thermisch verwerten, auch von Wettbewerbern oder Aufbereitern beziehen. Das bedeutet, diese Containerdienste verfügen über einen eigenen Zerkleinerer und liefern uns das Eingangsmaterial bereits als 0 bis 300er Span an, ohne dass wir die Möglichkeit haben, vorher einzuschreiten, um möglicherweise stofflich oder produkttechnisch nutzbares Altholz auszusortieren. Als Anregung wäre es vielleicht sinnvoll, wenn die Abscheidung von möglicherweise nutzbarem Vollholz direkt auf der Baustelle erfolgt. Das bedeutet, wenn ein alter Dachstuhl demontiert wird, sollten die Fachleute vor Ort, in Form der Handwerker, bewerten, ob das Ganze technisch nutzbar wäre. So könnte direkt auf der Baustelle eine Unterscheidung zwischen Abfallholz und möglicherweise nutzbarem Vollholz getroffen werden</p>
08	<p>C.Eh: Können Sie auf Basis ihrer bisherigen Berufserfahrung eine Prognose abgeben wie viel von dem angelieferten Holz sich theoretisch für eine Wieder- oder Weiterverwendung eignen würde? Oder würden sie so etwas komplett ausschließen?</p>
	<p>P.Jahn: Ja, also aus wirtschaftlicher Sicht wäre es sicherlich schwierig darzustellen, weil der Bearbeitungsaufwand vor Ort so hoch wäre und auch das Problem bestünde, dass sich beispielsweise ein Sparrennagel in dem Balken befindet, den man ohne Zerstörung nur schwer herauslösen könnte. Das ist einerseits ein technisch-wirtschaftlicher Grund. Zum anderen gehe ich ohnehin davon aus, dass, wenn ich hier auf den Hof schaue, der wiederverwertbare Anteil vielleicht im niedrigen einstelligen Prozentbereich liegen würde. Wenn man natürlich bis runter auf die einzelne Latte geht und sich vom Balken her in Richtung feineres Sortiment bewegt, dann wird der Anteil sicherlich höher, aber der Aufbereitungsaufwand entsprechend größer.</p>
09	<p>C.Eh: Sie sprechen das Thema Aufbereitung an, in den 60er und 70er Jahren war der Einsatz von umweltschädlichen Holzschutzmitteln ja extrem verbreitet, landet solches Holz dann automatisch in der Kategorie A4?</p>
	<p>P.Jahn: Genau, das würde zum Großteil in A4 landen, und hier greift auch die Altholzverordnung, die eine anderweitige Verwertung des Materials untersagt. In diesem Fall ist tatsächlich die thermische Verwertung vorgeschrieben. Entscheidende Fragen sind, wie erfolgt diese Aufbereitung, welche Kosten sind damit verbunden und wie ist dabei der ökologische Fußabdruck. Es macht wenig Sinn, den umweltfreundlichen Rohstoff Holz, durch den Einsatz umweltschädlicher Methoden erst wieder umweltfreundlich zu machen.</p>
10	<p>C.Eh: Das würde im Umkehrschluss bedeuten, dass das Holzschutzmittel entfernt werden müsste. Womit ein weiteres Problem der Aufbereitung auftauchen würde, da dies ja maschinell ohne Personenverkehr stattfinden müsste.</p>
	<p>P.Jahn: Genau, die maschinelle Entfernung müsste stattfinden, und dabei wäre zu beachten, dass gemäß dem Abfallrecht und der vierten Bundesimmissionsschutzverordnung (VI. BImSchV) die Behandlung ursprünglich gefährlicher Abfälle vorliegt, was genehmigungstechnisch und rechtlich sehr anspruchsvoll ist. Außerdem steigen die Anforderungen für solch ein Vorgehen stetig. Wirtschaftlich und technisch macht dies zum aktuellen Zeitpunkt wenig Sinn. Zusätzlich müsste noch nachgewiesen werden, dass das</p>

Top Thema

	<p>aufbereitete Produkt tatsächlich die technischen Kriterien für Steifigkeiten, Tragfestigkeiten und andere Parameter erfüllt, die für eine Bewertung im Bau erforderlich sind. Es wäre wahrscheinlich notwendig, jedes Produkt oder jedes Holzbauteil einzeln zu prüfen, da aufgrund der ursprünglichen Abfallqualität keine stichprobenartige Prüfung wie bei der Frischholzaufbereitung möglich wäre.</p>
11	<p>C.Eh: Genau, der Hauptinhalt meiner Arbeit liegt deshalb in der Einschätzung des Zustands des Holzes hinsichtlich seiner Tragfähigkeit. Bisher deutet alles darauf hin, dass Bestandsholz in dieser Hinsicht Potenzial hat. Die Frage, die sich nun natürlich stellt, ist, wie man solches Holz am besten aufbereitet. Aufgrund dieser Überlegungen lässt sich dann feststellen, ob es überhaupt sinnvoll ist, an diesem Ansatz festzuhalten, oder ob es besser wäre, doch wieder in Richtung Sanierung zu schauen.</p>
	<p>P.Jahn: Ja, das ist auch ein Thema, das mich persönlich betrifft. Zum Beispiel habe ich ein Haus saniert, und dabei ist der Dachstuhl aus den 80er-Jahren größtenteils erhalten geblieben, mit gelegentlichen Ergänzungen. Ich finde es zielführend, wenn sich die Politik verstärkt darauf ausrichtet, die Sanierung zu fördern. Das trägt meiner Meinung nach zu einer geringeren Abfallmenge bei und entspricht auch den gesellschaftlichen Wünschen. Es ist zu beachten, dass sich derzeit viel in der Politik tut, sowohl auf europäischer Ebene mit der RED III (Renewable Energy Directive III), die auf EU-Ebene verabschiedet wurde. Diese sieht eine verstärkte Kaskadennutzung von Althölzern vor. Dieses EU-Recht muss nun schrittweise in nationales Recht umgesetzt werden. Aktuell liegt ein Entwurf der Biomassestrategie der Bundesregierung vor, die ebenfalls eine verstärkte Kaskadennutzung vorsieht. Das ist aus meiner Sicht bereits ein bedeutender Schritt. Selbst wenn stofflich nutzbares Holz vorerst nur zu Span- oder USB-Platten verarbeitet wird, ist das mehr, als wenn es thermisch verwertet wird. Es zeigt, dass es politisch und wirtschaftlich Druck gibt, den Fokus auf die stoffliche Verwertung zu legen, was ökonomisch sinnvoller ist als die thermische Verwertung. Daher erwarte ich in nächster Zeit eine Umleitung von Holzströmen.</p>
12	<p>C.Eh: Wie sehen denn die Stoffströme aktuell aus, sprich wie viel des gesamten Altholzes wird stofflich weiterverwertet?</p>
	<p>P.Jahn: Laut Studien beträgt das jährliche Altholzaufkommen in Deutschland etwa 8 bis 10 Millionen Tonnen. Derzeit liegt der Input in die stoffliche Verwertung bei etwa 20 bis 30% davon, was noch Potenzial für eine Steigerung bietet. Allerdings müssen auch entsprechende stoffliche Verwertungskapazitäten, wie sie von Plattenherstellern benötigt werden, vorhanden sein. Konjunkturelle Einflüsse, insbesondere in der Bauwirtschaft, können zu Schwankungen führen, wodurch der Stoffstrom in Richtung thermischer Verwerter verschoben wird. Dies unterstreicht die anhaltende Relevanz der thermischen Verwertung, insbesondere für Altholz der Klasse A4. Langfristig wird jedoch jedes recycelte Holzprodukt, sei es in Form von Spanplatten oder Spänen, aufgrund von technischen Eigenschaften oder Schadstoffgehalten irgendwann wieder in die thermische Verwertung gelangen.</p>
	<p>C.Eh: Sehr gut, vielen Dank, das war's von meiner Seite.</p>
C	Literaturverweise
[01]	<p>Internetdokument: Veolia Deutschland Website: Das Unternehmen. url: https://www.veolia.de/ueber-uns/veolia-deutschland-unternehmen.</p>

