

Projekt „Landesstrategie zur Kreislaufwirtschaft“

Strategische Ansätze zur Kreislaufwirtschaft im Bausektor in Südtirol

Autoren und Autorin:

Matteo Rizzari, Riccardo Fraboni, Lara Crepaz, Giovanni Libardoni,
Christian Hoffmann u. Simon Pezzutto

Eurac Research
Institut für erneuerbare Energie
A.-Volta-Straße 13/A
39100 Bozen, Italien
T +39 0471 055 600
renewable.energy@eurac.edu
www.eurac.edu

Eurac Research
Institut für Regionalentwicklung
Drususallee 1,
39100 Bozen, Italien
T +39 0471 055 300
regional.development@eurac.edu
www.eurac.edu

DOI: <https://doi.org/10.57749/kz28-2214>

Autoren/Autorin: Matteo Rizzari, Riccardo Fraboni, Lara Crepaz, Giovanni Libardoni, Christian Hoffmann, Simon Pezzutto
Wissenschaftliche Koordination: Simon Pezzutto, Christian Hoffmann
Projektkoordination: Simon Pezzutto, Christian Hoffmann
Grafische Gestaltung: Eurac Research

© Eurac Research, 2025



Diese Publikation wird unter einer Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) verbreitet, die die Wiederverwendung, gemeinsame Nutzung, Änderung, Verbreitung und Reproduktion in jedem Medium oder Format erlaubt, vorausgesetzt, dass die Urheberschaft ordnungsgemäß anerkannt wird, ein Link zur Creative Commons-Lizenz angegeben wird und ein Hinweis darauf gegeben wird, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Diese Open-Access-Publikation kann einige urheberrechtlich geschützte Werke enthalten. In diesem Fall sind diese durch das Urheberrechtsgesetz geschützt, und dürfen ohne die Erlaubnis der jeweiligen Urheber/Rechteinhaber weder kopiert, verändert, wiederverwendet, von Dritten in einem anderen Medium weiterverbreitet noch anderweitig verwendet werden.

Inhalt

1. Einführung	6
2. Die Zielsetzungen	10
3. Das Potenzial der Kreislaufwirtschaft in Südtirol	11
4. Klassifizierung des gewählten Handlungsfeldes.....	15
5. Rechtlicher Rahmen zur Kreislaufwirtschaft	22
5.1 Strategien und Rechtsnormen für die Kreislaufwirtschaft: Europäische Union	22
Der rechtliche Rahmen der Europäischen Union.....	23
Der Bau- und Holzsektor	25
5.2 Strategien und Rechtsnormen zur Kreislaufwirtschaft: Italien	27
Italienische Nationale Strategie zur Kreislaufwirtschaft	27
Rechtlicher Rahmen für die Abfallwirtschaft	28
Rechtlicher Rahmen für den Bausektor	29
5.3 Strategien und Rechtsnormen zur Kreislaufwirtschaft: Autonome Provinz Bozen	30
Die Abfallwirtschaft	30
<i>Die Abfälle im Bausektor</i>	32
6. SWOT-Analyse	36
6.1 Holz.....	37
6.2 Beton	43
6.3 Ziegel	48
6.4 Mineralien	51
6.5 Glas.....	54
6.6 Dämmstoffe.....	57
6.7 Metalle	61
6.8 Fotovoltaikpaneele / Solarthermiepaneele.....	62
7. Maßnahmen	64
8. Key Performance Indikatoren für das Monitoring der Zirkularität von Baumaterialien	67

9. Best practices.....	71
10. Schlussfolgerung.....	73
11. Quellen	75

Abkürzungsverzeichnis

BIM	Building Information Modelling
C&D	Construction and Demolition – Bau und Abbruch
EK	Europäische Kommission
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
KW	Kreislaufwirtschaft
EFF	Everyday for Future
LCA	Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment)
LCC	Lebenszykluskostenrechnung (Life Cycle Costing)
PNRR	Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza - Nationaler Plan für Aufbau und Resilienz
EPR	Erweiterte Herstellerverantwortung (Extended Producer Responsibility)
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
EU	Europäische Union
MFA	Materialflussanalyse

1. Einführung

Angesichts der wachsenden globalen Besorgnis und Aufmerksamkeit über die Klimakrise gewinnen Strategien zur ökologischen Nachhaltigkeit erheblich an Relevanz. Diese sollen sowohl die Entwicklung von Wirtschaftssystemen unterstützen und gleichzeitig das gesellschaftliche Wohl gewährleisten. Die Verwirklichung eines derart komplexen Ziels erfordert die Beteiligung und Zusammenarbeit verschiedener Sektoren [1], Investitionen in innovative Technologien, nachhaltige Mobilität, Dekarbonisierung, Energieeffizienz sowie die Einführung neuer Umweltstandards. Ebenso bedeutsam ist der Fokus auf die effiziente Nutzung von Ressourcen und Materialien, die bei der Herstellung von Waren verwendet werden, da sie erhebliche Umweltkosten verursachen können. Diese entstehen sowohl durch Emissionen in den verschiedenen Verarbeitungsphasen (wie Transport, Verarbeitung, Montage usw.) als auch durch die dabei anfallenden Abfälle.

Die Reduzierung dieser Auswirkungen erfordert ein wirtschaftliches Modell, das über die lineare Nutzung von Produkten und Materialien hinausgeht, in dem die Lebenszeit eines Produktes einen Anfang (Gewinnung oder Entnahme aus der Umwelt) und ein Ende (Entsorgung) hat. Ein alternatives Modell zu diesem linearen Ansatz ist das Modell der Kreislaufwirtschaft (KW). Es zielt darauf ab, den Wert von Produkten, Materialien und Ressourcen so lange wie möglich zu erhalten und zu bewahren, und so die Abfallmenge erheblich zu reduzieren (oder sogar zu vermeiden) [2].

Die KW fördert die zirkuläre Nutzung von Ressourcen und setzt auf innovative Geschäftsmodelle. Dabei sollen die eingesetzten Ressourcen und Materialien möglichst lange bei gleichem Werterhalt genutzt und wiederverwendet werden, sodass ihr Verbrauch innerhalb der planetaren Grenzen bleibt. Um dieses Ziel zu erreichen, werden unter anderem Stoff- und Energiekreisläufe durch Recycling geschlossen.

Eine der bekanntesten Definitionen von KW stammt von der Ellen MacArthur Foundation: Sie beschreibt eine auf Wiederherstellung und Regeneration ausgerichtete Wirtschaft, die Komponenten, Produkte und Materialien mit maximalem Nutzen aufrechterhält [4]. Dabei stützt sich die KW auf nachhaltige Prozesse, die ein Netzwerk von Interaktionen und Wertaustausch umfassen [5]. Um das Konzept von KW genauer zu beschreiben, schlug die Ellen MacArthur Foundation ein Schmetterlingsdiagramm vor, das den kontinuierlichen Fluss von technischen und biologischen Materialien durch den „Wertekreis“ veranschaulicht. Das Diagramm in Abbildung 1 zeigt den biologischen Kreislauf auf der linken und den technischen Kreislauf auf der rechten Seite. Der technische Kreislauf ist durch mehrere Unterkreisläufe gekennzeichnet, die die Alternativen der Abfallbewirtschaftung darstellen: gemeinsame Nutzung, Wiederverwendung, Erneuerung/Wartung, Recycling. Der biologische Kreislauf stellt alle Ströme biologischer Materialien (wie Lebensmittel, Textilien und Kleidung) dar, die durch regenerative Kreisläufe wieder in natürliche Systeme zurückgeführt werden können. Dadurch wird das Naturkapital wiederhergestellt. Durch anaerobe Vergärung lassen sich beispielsweise Düngemittel gewinnen, die wieder in natürliche landwirtschaftliche Kreisläufe integriert werden können, ebenso wie Energie. Bei hochwertiger Kleidung hingegen können die Abfallmaterialien nach der Rückgewinnung der biologischen Rohstoffe für verschiedene Zwecke weiterverwendet werden: Reinigungstextilien, Tücher, Polstermaterial für Autositze oder Dämmstoffe.

Um dies zu erreichen, sind integrierte Maßnahmen in allen Phasen des Produktlebenszyklus notwendig. Besonders die frühen Phasen spielen eine zentrale Rolle für den Übergang zur KW: Eine Optimierung des Produktdesigns und zirkulär ausgerichteter Produktionsprozesse ist

entscheidend, um die Ressourceneffizienz zu erhöhen und ineffiziente Abfallbewirtschaftung zu vermeiden.

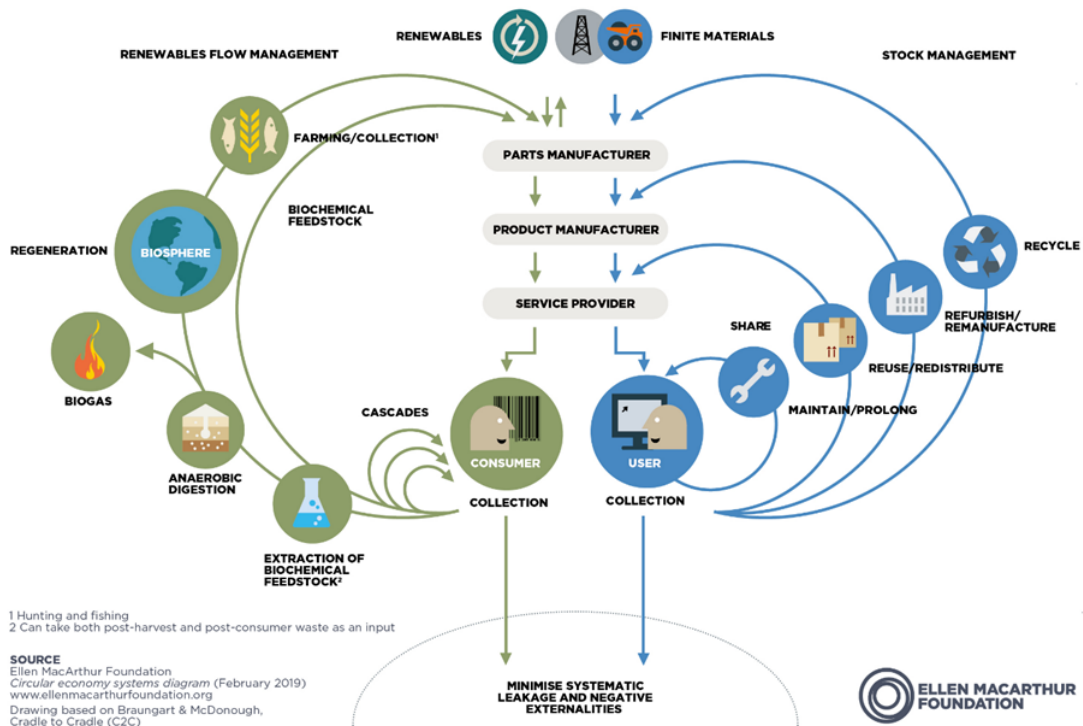


Abbildung 1: Schmetterlingsdiagramm der Ellen MacArthur Foundation [6]

Alle Strategien, die Materialströme verringern, verlangsamen oder deren Kreisläufe „schließen“, fördern eine stärker kreislaforientierte Wirtschaft. Diese Ansätze steigern die Effizienz, indem sie den Ressourceneinsatz minimieren. Das Ziel ist, trotz reduzierter Inputs den gleichen Output im Wirtschaftssystem zu erzielen – im Gegensatz zum Maximierungsansatz, der mehr Outputs bei gleichem Input generieren will. Strategien zur Senkung der Ressourceninputs sind im sogenannten „10-R“-Modell [7], [8], [9], [10] zusammengefasst:

- **Refuse (vermeiden):** keine überflüssigen Produkte kaufen oder herstellen, wenn sie nicht benötigt werden.
- **Rethink (umdenken):** das Entwerfen und Überdenken des gesamten Lebenszyklus von neuen Produkten, zum Beispiel bei denen Komponenten leichter zu trennen sind, oder das Nachdenken über alternative Nutzungsmöglichkeiten wie teilen oder leihen.
- **Reduce (reduzieren):** weniger natürliche Ressourcen nutzen, was zu einer geringeren Nachfrage nach Rohstoffen, einem geringeren Energieverbrauch und einer geringeren Abfallerzeugung führt.
- **Reuse (wiederverwenden):** Produkte im Wirtschaftskreislauf halten, indem denen, die sich in gutem Zustand befinden, ein „zweites Leben“ gegeben wird.
- **Repair (reparieren):** die Aufarbeitung eines Produkts oder der Ersatz beschädigter Teile.

- **Refurbish (aufbereiten):** Teile oder Sekundärkomponenten wieder in Umlauf bringen, beispielsweise durch die Verwendung von Bestandteilen aus Abfallprodukten als Ersatzteile.
- **Repurpose (umfunktionieren):** die Aufarbeitung oder Modernisierung von Produkten oder Komponenten, um sie in einen besseren Zustand zu bringen.
- **Remanufacture (wiederaufbereiten):** die Verwendung von Teilen oder Komponenten von Produkten (oder ganzen Produkten) für einen anderen als den ursprünglichen Zweck.
- **Recycle (recyclen):** Materialien aus ausrangierten Produkten oder Teilen werden gewonnen und verarbeitet, um neue Materialien von gleicher Qualität wie die ursprünglichen zu erzeugen. Dabei wird versucht, *Downcycling* zu vermeiden (also die Qualitätsminderung eines recycelten Materials) und, wenn möglich, *Upcycling* zu fördern (die Qualität und der Wert eines recycelten Materials oder Produkts werden erhöht).
- **Recover (rückgewinnen):** die Gewinnung von Energie aus nicht wiederverwertbaren Abfällen.

Neben diesen grundlegenden Strategien haben sich im Laufe der Jahre weitere Methoden, Konzepte und Geschäftsmodelle entwickelt, die zur Festigung der KW beigetragen haben. Ein Beispiel hierfür sind die Techniken der Lebenszyklusanalyse (LCA), die den gesamten Lebenszyklus von Produkten, Dienstleistungen und unter dem Aspekt ihrer Umweltauswirkungen analysieren. Auch die industrielle Symbiose, ein Verfahren zur gemeinsamen Nutzung von Know-how und Ressourcen sowie zur Optimierung des Einsatzes von Produkten und Materialien, trägt zur KW bei. Dieser Austausch von Ressourcen zwischen Unternehmen fördert die Wiederverwendung von Nebenprodukten eines industriellen Prozesses, die normalerweise als Abfall gelten würden, indem sie in anderen Prozessen als wertvolle Ressourcen genutzt werden [10]. Ein weiterer zentraler Aspekt der KW ist das Konzept der erweiterten Herstellerverantwortung (*Extended Producer Responsibility*). Dabei werden Herstellende dazu veranlasst, verantwortungsvoll zu produzieren und die Umweltauswirkungen des gesamten Lebenszyklus eines Produkts berücksichtigen, einschließlich der Nutzung und Entsorgung. Sie übernehmen somit die Verantwortung für die Behandlung und Entsorgung ihrer Produkte am Ende des Lebenszyklus [11], [12]. Weitere Geschäftsmodelle umfassen das „Produkt als Dienstleistung“, bei dem der Herstellende das Eigentum an einem Produkt (oder Material) behält und für dessen Wartung verantwortlich ist, während der Verbraucher es geleast oder gemietet werden kann, anstatt es zu kaufen. Ein ähnliches Modell ist die „Funktionsgarantie“, bei der sich Lieferant und Kunde/Kundin die Kosten für die Wartung eines Produkts teilen (*Performance Economy*) [13]. Bislang bestehen nach wie vor mehrere Hindernisse für eine umfassende Implementierung der KW. Dazu gehören unter anderem das Fehlen effektiver Anreize, um die Kosten für eine nachhaltigere Produktion nicht auf die Verbraucher/Verbraucherinnen abzuwälzen [10]. Zudem führt die Verlängerung des Lebenszyklus bestimmter Produkte, wie beispielsweise eines stark umweltschädlichen Fahrzeugs, nicht immer zu einer Reduktion der Umweltbelastung. Weitere Herausforderungen stellen übermäßige Bürokratie, rechtliche Barrieren sowie ein mangelndes Bewusstsein seitens öffentlicher und privater Akteure dar. Auf europäischer Ebene werden viele dieser Hindernisse durch gezielte Investitionen in grüne Technologien sowie durch die Entwicklung effizienter Kennzeichnungs-, Standardisierungs-, Zertifizierungs- und Regulierungsmechanismen adressiert, um die Transparenz hinsichtlich der Rückverfolgbarkeit und Nachhaltigkeit von Produktionsprozessen zu erhöhen [2].

Das Potenzial für eine umfassendere Implementierung der KW kann im zunehmend anerkannten Mehrwert regionaler und lokaler Lieferketten liegen. Dies kann zu einer verstärkten Unterstützung in Form von Sichtbarkeit sowie Investitionen in bewährte Verfahren und gute Praktiken führen. Diese Entwicklung bringt mehrere Vorteile mit sich, darunter eine höhere Transparenz und Widerstandsfähigkeit der Wertschöpfungsketten gegenüber globalen Warenströmen, eine verbesserte Sicherheit und Kontrolle sowie eine Stärkung der kulturellen Identität [14].

Als Reaktion auf die oben beschriebenen Bedürfnisse und Notwendigkeiten im Umgang mit endlichen Ressourcen, strebt das Land Südtirol die Ausarbeitung einer Kreislaufwirtschaftsstrategie an, um eine Vorreiterrolle für die Förderung zirkulärer Wirtschaftspraktiken einzunehmen. Diese Initiative zielt nicht nur darauf ab, Südtirol als „Hub“ der KW zu stärken, sondern auch eine solide Grundlage für die Umsetzung politischer Maßnahmen zu schaffen, die im Einklang mit den Grundsätzen und Leitlinien der KW stehen und das Engagement für ein gerechteres, effizienteres und umweltbewussteres Wirtschaftsmodell unterstreichen. Diese Strategie stellt dabei nicht nur ein isoliertes Ziel dar, sondern einen ehrgeizigen Schritt in Richtung einer nachhaltigen und umweltfreundlicheren Zukunft.

2. Die Zielsetzungen

Die Notwendigkeit für das Land Südtirol, eine Strategie für die KW zu entwickeln, resultiert aus dem wachsenden Bewusstsein über die Klimakrise und den damit verbundenen Herausforderungen, die tiefgreifende Veränderungen auf wirtschaftlicher und sozialer Ebene erfordern. Die Relevanz dieser Themen hat sich auf Programmebene durch eine Reihe von Landesstrategien gezeigt, deren Ziel es ist, für eine widerstandsfähige Provinz wie Südtirol eine transformative Vision zu schaffen, die eine Vorreiterrolle bei der ressourcenschonenden Bewirtschaftung im Einklang mit den Prinzipien nachhaltiger Entwicklung übernimmt. Südtirols Ausgangspunkt für einen zirkulären Übergang liegt daher bereits auf einem fortgeschrittenen Niveau, besonders wenn man den Wohlstand und die wirtschaftliche Entwicklung des Territoriums, das Umweltbewusstsein und das Ressourcenmanagement berücksichtigt. Zur Erreichung der gesetzten Klimaneutralität und der Nachhaltigkeitsziele sind jedoch weitere Anstrengungen notwendig, um den Verbrauch und die Produktion von Gütern zu reduzieren und die Ressourcenproduktivität zu steigern. Dieser Bericht unterstützt die Autonome Provinz Bozen bei der Entwicklung konkreter Leitlinien auf Basis der KW. Der Bausektor wurde aufgrund seiner wirtschaftlichen Bedeutung, der erheblichen Umweltauswirkungen hinsichtlich Emissionen und Materialverbrauch sowie seines Potenzials für Recycling, Wiederverwendung und Lebenszyklusverlängerung von Materialien als Schwerpunkt gewählt. Der erste Teil dieses Berichts analysiert den Status quo und ist wie folgt gegliedert: Kapitel 3 untersucht das Entwicklungspotenzial der KW in Südtirol, basierend auf den aktuellen Schlüsselstrategien der Provinz, wie dem Klimaplan 2040 und der *Smart Specialization Strategy* (RIS3); Kapitel 4 erläutert die Auswahl des priorisierten Handlungsfeldes; Kapitel 5 gibt einen Überblick über die rechtlichen Grundlagen der KW, einschließlich europäischer und nationaler Normen sowie der relevanten Vorschriften und Aktionspläne der Provinz. Der zweite Teil widmet sich der empirischen Phase, in der Daten zu verschiedenen Materialien gesammelt wurden, um die Maßnahmen zu entwickeln. Kapitel 6 enthält eine SWOT-Analyse (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*), das heißt eine Analyse der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken im Zusammenhang der bedeutendsten in der Bauindustrie verwendeten Materialien. Diese Analyse basiert auf Interviews und drei Workshops mit Beauftragten aus den wichtigsten Sektoren in Südtirol. Aus der SWOT-Analyse werden Potenziale abgeleitet, um identifizierte Probleme zu lösen oder zu verbessern. Die Ergebnisse dieser Phase bilden die Grundlage für die in Kapitel 7 vorgestellten Maßnahmen zur Umsetzung der KW und die in Kapitel 8 definierten *Key Performance Indicators* (KPIs). Abschließend werden in Kapitel 9 Beispiele für gute Kreislaufwirtschaftspraktiken in Südtirol aufgeführt.

3. Das Potenzial der Kreislaufwirtschaft in Südtirol

Die Kreislaufwirtschaft im Klimaplan 2040

In den letzten Jahren hat die Autonome Provinz Bozen verstärkt ökologische und soziale Nachhaltigkeitsziele verfolgt und sich für die Klimaneutralität durch die Umsetzung von EU- und nationalen Normen eingesetzt. Ein zentrales Merkmal der Provinzpolitik ist die Förderung der aktiven Beteiligung von Bürgern/Bürgerinnen, Unternehmen und lokalen Behörden, um eine nachhaltigere Zukunft zu gestalten. Ausdruck findet dies in der 2021 veröffentlichten Strategie „*Everyday for Future*“ (EFF), die auf den 17 UN-Zielen für nachhaltige Entwicklung basiert und konkrete Ansätze für die Bewältigung der ökologischen Herausforderungen der kommenden Jahrzehnte darlegt. Innerhalb dieser Strategie spielt die KW eine zentrale Rolle zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks in Südtirol, was auch im Klimaplan Südtirol 2040 verankert ist [15]. 2023 hat die Landesregierung mit dem Beschluss (Nr. 595 - Sitzung vom 30. Juni 2023 [16]) den Klimaplan auch politisch legitimiert und bildet eine der Säulen der Südtiroler Nachhaltigkeitsstrategie *Everyday for Future*. Viele weitere strategische Pläne, darunter der Landessozialplan 2030 [17], der Landesplan für nachhaltige Mobilität 2035 [18], das Landestourismusentwicklungskonzept 2030+ [19], die Waldagenda 2030 [20] oder das Strategiepapier LandWIRtschaft 2030 [21] tragen integrativ dem Klimaplan Südtirol 2040 bei. Der Klimaplan Südtirol 2040 dient als zentrales Instrument zur Reduktion der Treibhausgasemissionen, zur Förderung von Energieeffizienz und zur Entwicklung erneuerbarer Energien, um die Auswirkungen des Klimawandels zu bekämpfen. Eine partizipative Governance-Struktur unterstützt die Umsetzung: Ein „Klimabürgerrat“ repräsentiert die Bevölkerung und überwacht ab 2024 den Fortschritt der Maßnahmen, überprüft deren Vollständigkeit und entwickelt gegebenenfalls Vorschläge zur Optimierung. Die Digitalisierung und eine umfassende Kommunikationsstrategie sind wesentliche Elemente des Plans. Daten zum Umsetzungsstatus werden kontinuierlich auf der Plattform klimaland.bz aktualisiert und öffentlich zugänglich gemacht. Diese Plattform dient als wichtige Informationsquelle für alle Interessierten. Die Kommunikationsstrategie legt den Fokus auf die sozialen und wirtschaftlichen Vorteile des Klimaplanes und umfasst Sensibilisierungs- und Schulungskampagnen für Bürger/Bürgerinnen, Unternehmer/Unternehmerinnen und lokale Verwaltungsmitarbeitende.

KW wird in mehreren zentralen Abschnitten des Klimaplanes thematisiert, wobei der Bausektor im Hinblick auf spezifische Maßnahmen eine besondere Rolle einnimmt. So wird vorgeschlagen, bei öffentlichen Ausschreibungen für Infrastrukturprojekte einen verbindlichen Prozentsatz an recycelten Baumaterialien festzulegen, um die Umsetzung der KW im Bausektor zu fördern. Darüber hinaus sollen Bauprojekte zum Zeitpunkt der Genehmigung den Anteil an recycelten Produkten aus Abbruchmaterialien verbindlich angeben. Das beinhaltet auch die Überprüfung bestehender Normen und Vorschriften, um mögliche Hemmnisse für die Wiederverwendung recycelter Materialien abzubauen. Außerdem werden Anreize für das Bauen mit Holz durch Fördermittel der öffentlichen Hand (z.B. Gemeinden und Bezirksgemeinschaften) und Boni für bewährte Konstruktionen geschaffen. Der Klimaplan zielt darauf ab, öffentliche Gebäude bevorzugt mit natürlichen, erneuerbaren und lokal gewonnenen Baustoffen (unter Nachweis von Herkunft und Nachhaltigkeit) zu errichten. Bis 2030 soll der Anteil neuer öffentlicher Gebäude in Holzbauweise mindestens 30 Prozent erreichen. Auch für energetische Sanierungen bei Industrie-, Handwerks- und ähnlichen Gewerbegebäuden sind neue Standards vorgesehen: Neubauten und renovierte,

wärmegeämmte Flächen müssen dabei mindestens die Dämmstandards der Gebäudehülle eines Wohngebäudes der KlimaHaus Klasse C oder der Kategorie KlimaHaus R erfüllen [22]. Die Land- und Forstwirtschaft spielen im Klimaplan Südtirols eine weitere zentrale Rolle bei der Umsetzung der KW. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf dem Werkstoff Holz, das als Material von grundlegender Bedeutung zur langfristigen Bindung von Kohlenstoffdioxid (CO₂) beiträgt und CO₂-intensive Baumaterialien ersetzen kann. Daher sollten die Bemühungen verstärkt darauf abzielen, möglichst viele Phasen der stofflichen Nutzung von Holz (Kaskadennutzung) auszuschöpfen. Dazu ist eine umfassende Analyse der Holzströme und ihrer Rückverfolgbarkeit von der ersten stofflichen Verwendung bis hin zur energetischen Verwertung erforderlich. Auch die Bedeutung von Holz-Biomasse wird betont, insbesondere für die Fernwärmeversorgung, die Verbrennung in Privathaushalten und die Biogasproduktion. Bei der Holz-Biomasse muss zwischen Primärproduktion (aus lokal anfallendem Industrie- und Energieholz), Sekundärproduktion (aus Altholz und Reststoffen inländischen oder importierten Ursprungs) und direktem Biomasseimport (Hackschnitzel und Pellets) unterschieden werden. Die kaskadische Nutzung von Holz, also die schrittweise Wiederverwendung von Holz bis zur Verbrennung, wird in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen. Bei der Primärproduktion soll daher zur Einhaltung der Nachhaltigkeitskriterien bei der Holznutzung auf ein ökologisch wie ökonomisch nachhaltiges Maß geachtet werden. Dabei sollte die jährliche Nutzung in jedem Fall unter dem jährlichen Holzzuwachs liegen. Im Falle steigender Preise für Energie- und Industrieholz gilt es zu vermeiden, dass sägefähige Holzsortimente aus ökonomischen Erwägungen in die Zellstoff- oder Energieproduktion überführt werden. Darüber hinaus muss sichergestellt werden, dass importierte Biomasse zertifiziert ist und aus nachhaltiger Forstwirtschaft stammt. Zu diesem Zweck ist es notwendig, eine detaillierte Bilanz der Produktion, Nutzung, des Exports und Imports von Holz-Biomasse zu erstellen, um ein vollständiges Bild der Vielfältigkeit und Quantität der Holzströme zu erhalten. Eine solche Bilanzierung erfordert jedoch eine Aktualisierung der bestehenden Daten der Holzströme (aus dem Jahr 2012) sowie eine verstärkte Zusammenarbeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette zwischen Forstwirtschaft und Holzverarbeitender Industrie. Die KW ist zudem eng mit dem Thema Lebensmittelkonsum und der Landwirtschaft verbunden. Die Förderung von Initiativen zur Bekämpfung der Verschwendung von Lebensmitteln und anderen Produkten ist im Rahmen des Klimaplanes von zentraler Bedeutung. Ziel ist es, das Bewusstsein der Bevölkerung zu schärfen und gleichzeitig das notwendige Know-how zu vermitteln, um das System zwischen Produzenten/Produzentinnen und Verbrauchern/Verbraucherinnen nachhaltiger zu gestalten. Schließlich werden das Handwerk und der tertiäre Sektor in Initiativen eingebunden, die die Wiederverwendung von (gebrauchten) Konsumgütern und die Verlängerung der Nutzungsdauer (Reparatur, Upcycling) fördern. Dies schafft die logistischen Voraussetzungen für die Ausweitung kreislaufwirtschaftlicher Praktiken, insbesondere in Bezug auf die Aufwertung von Materialien und die Wiedereinbindung ganzer Produkte sowie deren Komponenten oder Rohstoffe. Eine zentrale Maßnahme in diesem Zusammenhang ist die Zulassung von nur solchen Anlagen oder Geräten, die den Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union entsprechen [23].

Die Kreislaufwirtschaft im Rahmen der Smart Specialization Strategy (RIS3)

Die Bemühungen des Landes Südtirol, ökologische und wirtschaftliche Nachhaltigkeit in einem Wachstums- und Innovationspfad zu vereinen, der auch KW berücksichtigt, flossen auch in die 2014 ausgearbeitete und 2020 überarbeitete Smart Specialisation Strategy (RIS3) ein. Diese Initiative zielt darauf ab, die nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung und die

Wettbewerbsfähigkeit Südtirols zu fördern, indem sie die Stärken und Potenziale der Region identifiziert und Ressourcen gezielt für Innovation und Wirtschaftswachstum bereitstellt. Die RIS3 identifiziert Schlüsselsektoren und Spezialisierungsbereiche, in denen Südtirol einen Wettbewerbsvorteil erzielen kann. Diese Sektoren basieren auf den vorhandenen Ressourcen, Kompetenzen und Fähigkeiten der Region sowie auf den Möglichkeiten für eine nachhaltige Entwicklung im globalen Kontext. Die ermittelten Bereiche sind: Automation and Digital, Food and Life Science, Green Technologies und Alpine Technologies. Für jeden Bereich wurden Indikatoren und Maßnahmen definiert, die in unterschiedlichen Zeiträumen umgesetzt und überwacht werden. Diese reichen von kurzfristigen (ca. 1 Jahr) bis langfristigen (4-7 Jahre) Maßnahmen, wobei für komplexere Bereiche auch flexiblere Zeitrahmen vorgesehen sind. Außerdem wurden vier Querschnittsfelder ermittelt, die einen wesentlichen Einfluss auf Innovation in allen RIS3 Sektoren haben: (i) Nachhaltigkeit, (ii) Digitalisierung, (iii) Kreativwirtschaft und (iv) Aus- und Weiterbildung. Auf diese Weise soll RIS3 die politische Entscheidungstragende dabei unterstützen, öffentliche und private Investitionen auf priorisierte Spezialisierungsbereiche zu konzentrieren, die Zusammenarbeit zwischen Unternehmen, Forschungseinrichtungen und lokalen Behörden zu fördern sowie Synergien zu schaffen und den Wissenstransfer zu unterstützen.

Die KW ist eine der Prioritäten im Spezialisierungsbereichs „Green Technologies“ der RIS3. Sie verfolgt strategische Ziele wie effizientes Materialmanagement, die Stärkung regionaler Produkte und Wertschöpfungsketten, die Anwendung von Lebenszyklusanalyse (LCA), resilientere Lieferketten sowie die Entwicklung standardisierter Bewertungskriterien für die Nachhaltigkeit von Produkten und Dienstleistungen. Das RIS3-Dokument [24] enthält fünf Maßnahmen, die speziell der Umsetzung der KW gewidmet sind. Jede dieser Maßnahmen ist an eine Reihe von beteiligten Akteuren, Projekten und laufenden Aktivitäten gekoppelt, die direkt oder indirekt die Umsetzung unterstützen. Die erste dieser fünf Maßnahmen trägt den Titel *„Aktivierung lokaler Kreisläufe durch regionale Wertschöpfungspartnerschaften zur Förderung der Direktvermarktung und Nahversorgung mit Lebensmitteln aus der Region“*. Ziel ist die Förderung eines nachhaltigen Wandels im Südtiroler Lebensmittelsystem. Im Fokus stehen die Unterstützung regionaler, nachhaltiger und fairer Produktionsprozesse sowie die Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Akteuren entlang der Wertschöpfungskette. Zudem sollen digitale Lösungen für Logistik und Rückverfolgbarkeit entwickelt werden. Innovative Marketing- und Kommunikationsstrategien sowie die Förderung von Wissen und Solidarität zwischen städtischen und ländlichen Gebieten sind ebenfalls Bestandteil der Maßnahme. Sie sieht eine Umverteilung des Mehrwerts innerhalb der Lieferkette vor und fördert Investitionen in lokale und nachhaltige Lebensmittelprodukte. Ziel ist es, faire Preise und Arbeitsbedingungen zu sichern und Verbraucher über die Vorteile nachhaltiger Produkte zu informieren. Digitale Lösungen für Marketing und Logistik sollen den Vertrieb regionaler Lebensmittel effizienter gestalten und gleichzeitig die Entwicklung ländlicher Gebiete durch digitale Konnektivität unterstützen. Die zweite Maßnahme betrifft die *„Gewährleistung von Business Modell Engineering Kompetenzzentrum generell bei neuen Technologien, um Technologietransfer bis zum Unternehmen sicherzustellen“*. Business Model Engineering konzentriert sich auf die Erstellung von Geschäftsmodellen, Entscheidungs- und Handlungsstrategien für Unternehmen und Institutionen, die an innovativen Projekten im Kontext der Digitalisierung und Nachhaltigkeit beteiligt sind. Durch die Bewertung technologischer, wirtschaftlicher und sozialer Wertschöpfungsketten und Trends sollen Unternehmen bei der Verwaltung komplexer Produktions- und Entscheidungsfindungssysteme durch fortschrittliche Technologien und Akteurs-Netzwerke unterstützt werden. Das Projekt fokussiert sich auf die Identifizierung von Geschäftsmodellen mittels des Ansatzes der „Front-End-Innovation“, um nachhaltige Dienstleistungen zu entwickeln, die auf den Prinzipien der KW basieren. Die dritte Maßnahme befasst sich mit dem *„Einsatz von Recycling-Materialien,*

u.a. Baustoff-Recycling, sowie der Beurteilung von Nachhaltigkeitsaspekten bei der Materialauswahl“. Ziel ist es, Abfallvermeidung, Wiederverwendung, Recycling und Verwertung gemäß der europäischen Abfallhierarchie zu fördern. Es soll die Auswahl und Nutzung von Materialien optimiert werden, mit einem Fokus auf nachhaltige, lokale bioökonomische Ressourcen, um die Abhängigkeit von nicht erneuerbaren Rohstoffen zu verringern. Die Strategie betrifft zentrale Sektoren wie Bau, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Energiewirtschaft und Abfallwirtschaft. Sie unterstützt wissenschaftliche Erkenntnisse, Instrumente und ISO-Normen zur KW. Zudem beinhaltet sie die Ausbildung und Sensibilisierung der Zivilgesellschaft. Der Einsatz digitaler Instrumente stärkt die Symbiose zwischen den Wirtschaftssektoren. Die vierte Maßnahme befasst sich mit der KW in der Land- und Forstwirtschaft – *„Circular Economy im Bereich Land- und Forstwirtschaft – Verwertung der Abfall- und Nebenprodukte bei der Lebensmittelproduktion, Holz, Biomasse (Bioökonomie)“.* Ziel ist es, Forschung und Entwicklung von Technologien, Produkten und Dienstleistungen zu fördern, die nachhaltige biologische Kreisläufe unterstützen. Zu der Biomasse, die in der Land- und Forstwirtschaft als erneuerbare Ressource zur Energieerzeugung genutzt wird, gehören Sägereststoffe (z.B. Rinde, Holzspäne, Sägemehl), Holzasche, Rückstände aus der Land- und Viehwirtschaft sowie Abfälle aus der Lebensmittelverarbeitung (einschließlich Schlachtabfälle, Molke, Trester, Stängel, Ablagerungen, Obst- und Getreideabfälle). Diese Biomassen können zur Erzeugung von Energie oder Biokraftstoffen (z. B. Biomethan, Biowasserstoff), zur Gewinnung grüner Chemikalien, zur Kompostherstellung oder zur Herstellung biobasierter Produkte genutzt werden. Die Vielzahl an Nebenprodukten und Abfällen stellt sowohl eine Herausforderung als auch eine Chance für die KW dar. Die Entwicklung optimierter Verarbeitungsprozesse, Extraktionsmethoden und Lagerungstechniken ist erforderlich, um diese Ressourcen effizient zu nutzen. Die letzte Maßnahme zielt auf die *„Entwicklung eines standardisierten Life-Cycle-Assessments für Südtiroler Produktionsbetriebe und Begünstigungen für Unternehmen mit besonders guter Umweltbilanz“* ab. Das Ziel ist die Schaffung eines klaren und transparenten Systems auf Basis der LCA-Methode, um die Umweltauswirkungen lokaler wirtschaftlicher Aktivitäten zu überwachen, zu bewerten und zu steuern. Mit berücksichtigt sind darin auch Prozesse und Auswirkungen außerhalb der Region. Dabei werden auch Prozesse und Auswirkungen außerhalb der Region berücksichtigt. Zudem soll ein Zertifizierungssiegel eingeführt werden, das Unternehmen für ihre Umweltleistung auszeichnet. Gleichzeitig wird ein Kosten-, Kompensations- und Handelssystem entwickelt, um Anreize für umweltfreundliche Praktiken zu schaffen, etwa durch die Bewertung und finanzielle Entschädigung für die Reduktion von CO₂-Emissionen in der Land- und Forstwirtschaft. Die Unterstützung digitaler Plattformen soll die Datenerfassung, Kommunikation und Verwaltung des Bewertungssystems erleichtern und an die spezifischen Bedürfnisse der Sektoren und Organisationen angepasst werden. Obwohl die soeben beschriebenen Maßnahmen im Abschnitt „Green Technologies“ speziell die KW betreffen, sind ihre Prinzipien auch als Querschnittsstrategie in anderen Maßnahmen und Sektoren der RIS3 integriert. Beispiele hierfür sind der Einsatz langlebigerer und energieeffizienter Materialien, die Förderung von Bauprojekten mit geringem CO₂-Fußabdruck über den gesamten Lebenszyklus der verwendeten Bauprodukte sowie die Entwicklung und Anwendung umweltfreundlicherer Anbau- und Düngungsverfahren, die Boden, Wasser, Biodiversität schonen und zum Klimaschutz beitragen.

4. Klassifizierung des gewählten Handlungsfeldes

Einführung

Die Wirtschaft des Landes Südtirol wird maßgeblich von der geografischen Struktur beeinflusst. Die Berge sind entscheidend für den Tourismus und der Brennerpass, als niedrigster Alpenübergang, ist maßgebend für den Güter- und Personenverkehr zwischen Mitteleuropa und dem Mittelmeer. Der Dienstleistungssektor ist der wichtigste Wirtschaftszweig in der Provinz, gefolgt vom "Bergbau, dem verarbeitenden Gewerbe, der Energie- und Wasserversorgung" sowie der "Land- und Forstwirtschaft und der Fischerei" [25]. Abbildung 2 zeigt die relevantesten Akteure (Stakeholder), die im Kontext der KW in Südtirol identifiziert wurden. Diese Akteure spielen in verschiedenen Sektoren eine wichtige Rolle. Es ist entscheidend, sie sowohl bei der Entwicklung einer Strategie für die KW als auch bei deren Umsetzung einzubeziehen.

Der Bausektor spielt eine zentrale Rolle: Er trägt 6,8 % zur Gesamtwertschöpfung bei, was nahezu zwei Prozentpunkte über dem nationalen Durchschnitt liegt [25]. Auf globaler Ebene ist das Baugewerbe der größte Rohstoffverbraucher, wobei die Menge der verwendeten Baumaterialien etwa 60 % des weltweiten Materialverbrauchs ausmacht [26]. In Südtirol waren im Jahr 2022 rund 17.000 Personen im Bauhauptgewerbe beschäftigt, davon 10.000 im Hochbau [27].

Der Bausektor weist ein erhebliches Potenzial für die Implementierung von Kreislaufwirtschaftsstrategien auf, da er sowohl signifikante Umweltressourcen verbraucht als auch Materialproduktionsmethoden mit erheblichen ökologischen Auswirkungen anwendet. Laut dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen entfallen auf den Bausektor 36 % des weltweiten Energieverbrauchs und 37 % der energiebezogenen Treibhausgasemissionen. Diese Zahlen unterstreichen die zentrale Rolle des Sektors als größten Energieverbraucher und wesentlichen Mitverursacher globaler CO₂-Emissionen [28]. Im europäischen Kontext ist der Bausektor schätzungsweise für etwa die Hälfte aller gewonnenen Materialien verantwortlich und trägt in hohem Maße zur Entstehung großer Mengen an Bau- und Abbruchabfällen bei: In der Europäischen Union machen Bau- und Abbruchabfälle mehr als ein Drittel des gesamten Abfallaufkommens aus [29]. Eine deutliche Verbesserung der Materialeffizienz könnte diese Emissionen jedoch um 80% verringern. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit, nachhaltigere Baupraktiken zu etablieren und die KW im Bausektor zu fördern, um die Umweltauswirkungen insgesamt zu minimieren [30].

Der Bausektor wurde daher als vorrangiger Schwerpunkt für die Ausarbeitung von Strategische Ansätzen ausgewählt. Diese Entscheidung basiert auf der Erkenntnis, dass der Bausektor einen erheblichen ökologischen Fußabdruck hinterlässt und gleichzeitig zahlreiche Chancen für die Einführung nachhaltiger Praktiken bietet. Das Dokument „Strategische Ansätze zur Kreislaufwirtschaft im Bausektor in Südtirol“ zielt darauf ab, die Implementierung von Technologien und Prozessen zu fördern, die die Wiederverwendung von Materialien, die Abfallreduzierung und die Verbesserung der Energieeffizienz im Bauwesen unterstützen. Zudem wird erwartet, dass ein gezielter Fokus auf den Bausektor als Katalysator für weitere Fortschritte in Richtung KW in anderen Bereichen der Provinz wirkt. Durch die Integration von KW-Lösungen aus anderen Wirtschaftssektoren können Synergien geschaffen und das lokale Potenzial gesteigert werden, was zudem sektorübergreifende industrielle Synergien begünstigt.

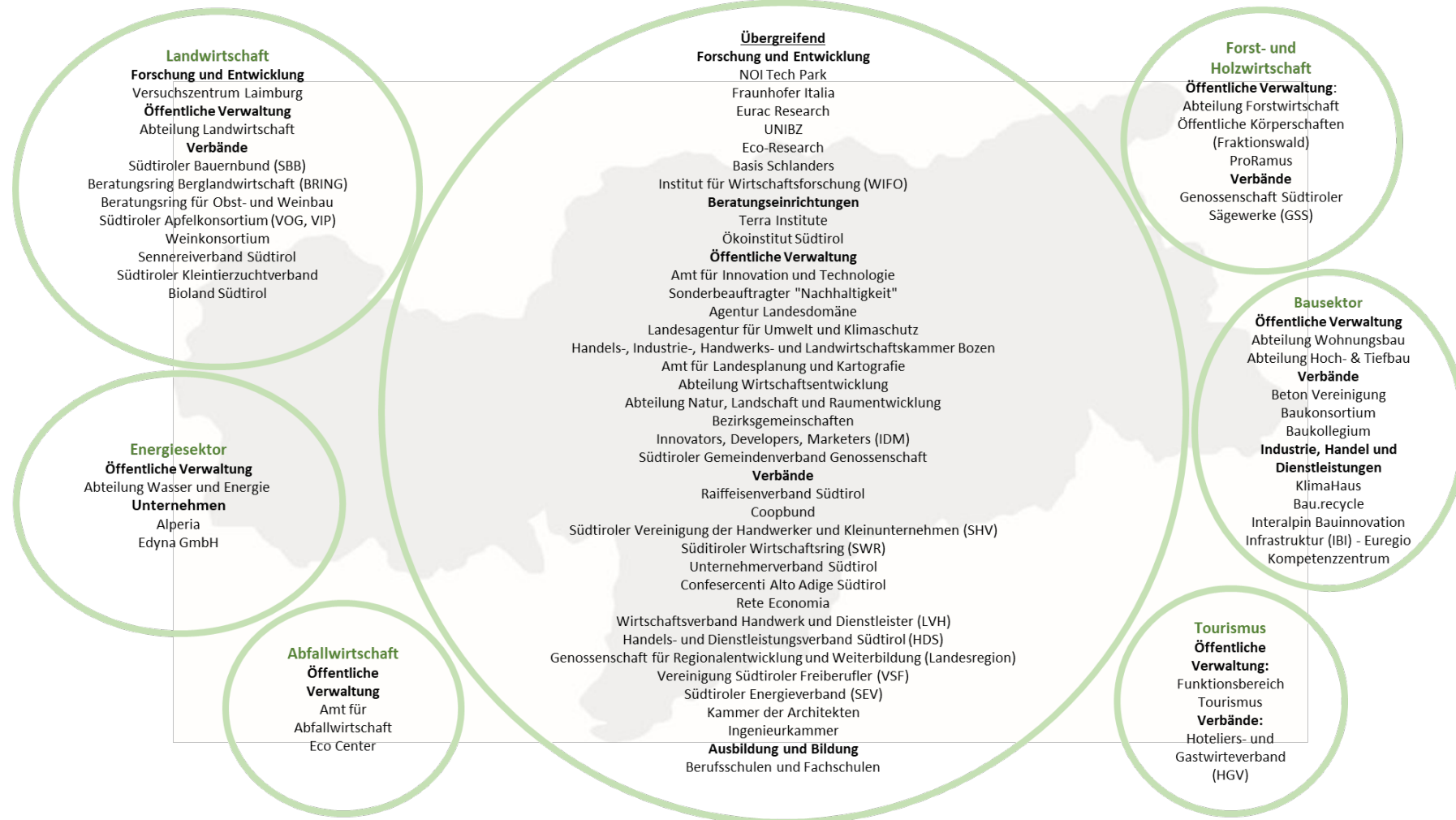


Abbildung 2: Stakeholderanalyse der Kreislaufwirtschaft in Südtirol

Methodologie

Obwohl Italien und das Land Südtirol im Vergleich zu anderen europäischen und internationalen Gebieten gut positioniert sind, insbesondere aufgrund ihrer hohen Recyclingraten, ist es erforderlich, die Methoden und die Qualität des Recyclings weiter zu vertiefen. Ziel ist es, Downcyclings zu vermeiden, bestehende Prozesse zu verbessern und zu beschleunigen sowie neue Verfahren durch öffentliche Regulierungsmaßnahmen, Anreize und steuerliche Instrumente zu fördern.

Detaillierte qualitative und quantitative Analysen der Stoffströme sind entscheidend, um Strategien und bewährte Verfahren zu entwickeln. Der erste Schritt besteht darin, das Gebiet und seine sozioökonomischen Prozesse zu verstehen, um "Hotspots" und Interventionsmöglichkeiten zu identifizieren. Analytische Forschung kann den lokalen Behörden ein „Screening“ der aktuellen Situation bieten, Ziele setzen und die Strategieentwicklung unterstützen. Zudem ermöglicht sie die Überwachung der Maßnahmen und die Analyse der Auswirkungen beim Übergang von einer linearen zu einer KW [31], [32], [33].

Ein wichtiges Instrument zur Analyse des mengenmäßigen Potenzials von Materialien in der Bauwirtschaft ist die Materialflussanalyse (MFA). Die MFA ermöglicht die Quantifizierung der Materialien, die in ein System eingehen und aus diesem austreten, unter Berücksichtigung der Prozesse der Lagerung, Nutzung und Verwertung. Durch die Erfassung und Verfolgung dieser Stoffströme können die Materialein- und -ausgänge effizient geplant und prognostiziert werden, was zur Optimierung des Materialeinsatzes beiträgt. Diese Methode ist zudem entscheidend für die Bewertung zentraler Indikatoren, wie des gesamten Materialbedarfs eines Systems [34].

Die Materialflussanalyse (MFA) spielt eine zentrale Rolle in der KW, da sie eine präzise Erfassung der Materialströme sowie der Prozesse der Lagerung, Nutzung und Rückgewinnung ermöglicht. Sie kann auf verschiedenen Ebenen angewendet werden, von Einzelunternehmen bis hin zu ganzen Regionen oder Ländern. Die MFA erfasst entweder die Ströme eines spezifischen Materials oder aller Materialien über einen festgelegten Zeitraum (typischerweise ein Jahr oder ein dynamisches Intervall). Dabei ist es wichtig, klare räumliche und zeitliche Systemgrenzen zu definieren. Zudem bietet die MFA eine fundierte Grundlage zur Bewertung von politischen Entscheidungen und Strategien der KW, um Fortschritte in der Reduktion von Primärressourcen, der Abfallminimierung und der Förderung von Wiederverwendung und Recycling zu überwachen [35], [36].

Unter Anwendung der beschriebenen Methodik wurde eine vereinfachte Analyse der Materialflüsse im Bausektor des Landes Südtirol durchgeführt, wobei vorwiegend Daten der statistischen Ämter verwendet wurde [25], [37].

Ziel der vorliegenden Analyse ist die Quantifizierung der ein- und ausgehenden Materialströme im Bausektor des Landes Südtirol, welche sich auf das rezenteste Jahr bezieht für das Daten zur Verfügung stehen.

Die Menge der für den Bau benötigten Materialien und die Menge der entstehenden Abfälle bei Abbruch und Konstruktion hängen von der Art der Tätigkeit und den im Bausektor angewandten Verfahren ab. Zu diesem Zweck wurden drei Szenarien für den Wohnbausektor untersucht: Turnover, konservativ und nachhaltig. Diese Szenarien liefern Daten zu Bautätigkeiten, verwendeten Materialien und der Zusammensetzung des Bauschutts. Im Szenario "Turnover" wird ein Anstieg der Gebäudesanierungsaktivitäten durch steuerliche Anreize angenommen. Das Szenario "konservativ" beschreibt eine Situation ohne Anreize und ohne signifikanten Anstieg der Pro-Kopf-Wohnfläche. Das Szenario "nachhaltig" basiert auf der

Fortführung der steuerlichen Förderung von Sanierungsmaßnahmen, einem leichten Rückgang der Neubauten und einer verstärkten Nutzung von Holzwerkstoffen [38].

Angesichts der hohen Holzproduktion und -nutzung in der Provinz sowie der Annahme, dass im Analysejahr 2022 steuerliche Anreize für die Sanierung vorhanden waren, wurde das nachhaltige Szenario ausgewählt. Für das Jahr 2022 wurden die von ASTAT bereitgestellten Wohnflächen als Grundlage für die Berechnungen verwendet.

Für Bereiche außerhalb des Wohnbausektors wurde die Analyse ebenfalls für 2022 durchgeführt. Aufgrund fehlender spezifischer Studien wurden die Daten von ASTAT zur Bautätigkeit und Renovierung in Südtirol sowie Schätzungen zur Zusammensetzung der verwendeten Materialien und des Bauschutts herangezogen [39].

Durch Interviews mit Südtiroler Stakeholdern des Bausektors konnten präzise Daten zu den anfallenden Bauabfallmengen ermittelt werden. Um die Abfallmengen in der Simulation des nachhaltigen Szenarios mit diesen Daten abzugleichen, wurden die vorläufigen Werte der Simulation entsprechend skaliert. Dabei wurde das Verhältnis zwischen den Gesamtinputs und -outputs beibehalten, ebenso wie die Proportionen der einzelnen Materialarten im Verhältnis zu den Gesamtmengen. Angesichts der großen Menge an undifferenziertem Abfall in den uns von den Stakeholdern zur Verfügung gestellten Daten, ermöglichte uns die Verwendung der Werte des nachhaltigen Szenarios eine bessere Schätzung der Unterteilung der Mengen der einzelnen Abfallarten. Zusätzlich lieferte der ENEA-Jahresbericht über Steuernachlässe wertvolle Informationen zu vertikalen Flächen, die im Rahmen von Renovierungssteuervorteilen berücksichtigt wurden [40]. Auf diese Weise konnten die Mengen an Wanddämmstoffen und Fensterglas ermittelt werden, was genauere Ergebnisse für diese spezifischen Materialien lieferte.

Resultate

Die Ergebnisse der Analyse sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. Die Bauabfälle wurden in die folgenden Kategorien gruppiert: Beton, Ziegel (Voll- oder Hohlziegel), Mineralien (Estriche, Gips, Deckenplatten, Böden, Fliesen, etc.), Holz (unbehandelt, behandelt), Metalle (Stahl, Aluminium, Eisen, Kupfer), Glas, Dämmstoffe und Sonstiges (Teerpappe, Fassadenbeschichtungen, Boden- und Wandbeläge, Sanitäranlagen).

Asphalt wurde ebenfalls berücksichtigt, da er im Europäischen Abfallverzeichnis als Construction and Demolition Waste (C&D-Abfall) klassifiziert ist. Aufgrund der Tatsache, dass er kaum mit dem Wohn- und Gewerbebau in Verbindung steht, wurde jedoch der vom Land Südtirol angegebene Wert für die an die Recyclingzentren gelieferten Asphaltmengen verwendet und sowohl als Input als auch als Output erfasst.

Der Materialinput für den Wohn- und Nichtwohnbausektor beläuft sich für das Jahr 2022 auf ca. 5,4 Millionen Tonnen (MT), während der Output rund 1,1 MT beträgt.

Es zeigt sich auch, dass der größte Teil des Materialeinsatzes aus Beton besteht, gefolgt von Ziegel, Mineralien und Holz [41]. Bauschutt ist überwiegend mineralisch. Der Wohnbau trägt mit 72% zum Gesamtmaterialeinsatz bei und erzeugt 89% der Bauabfälle.

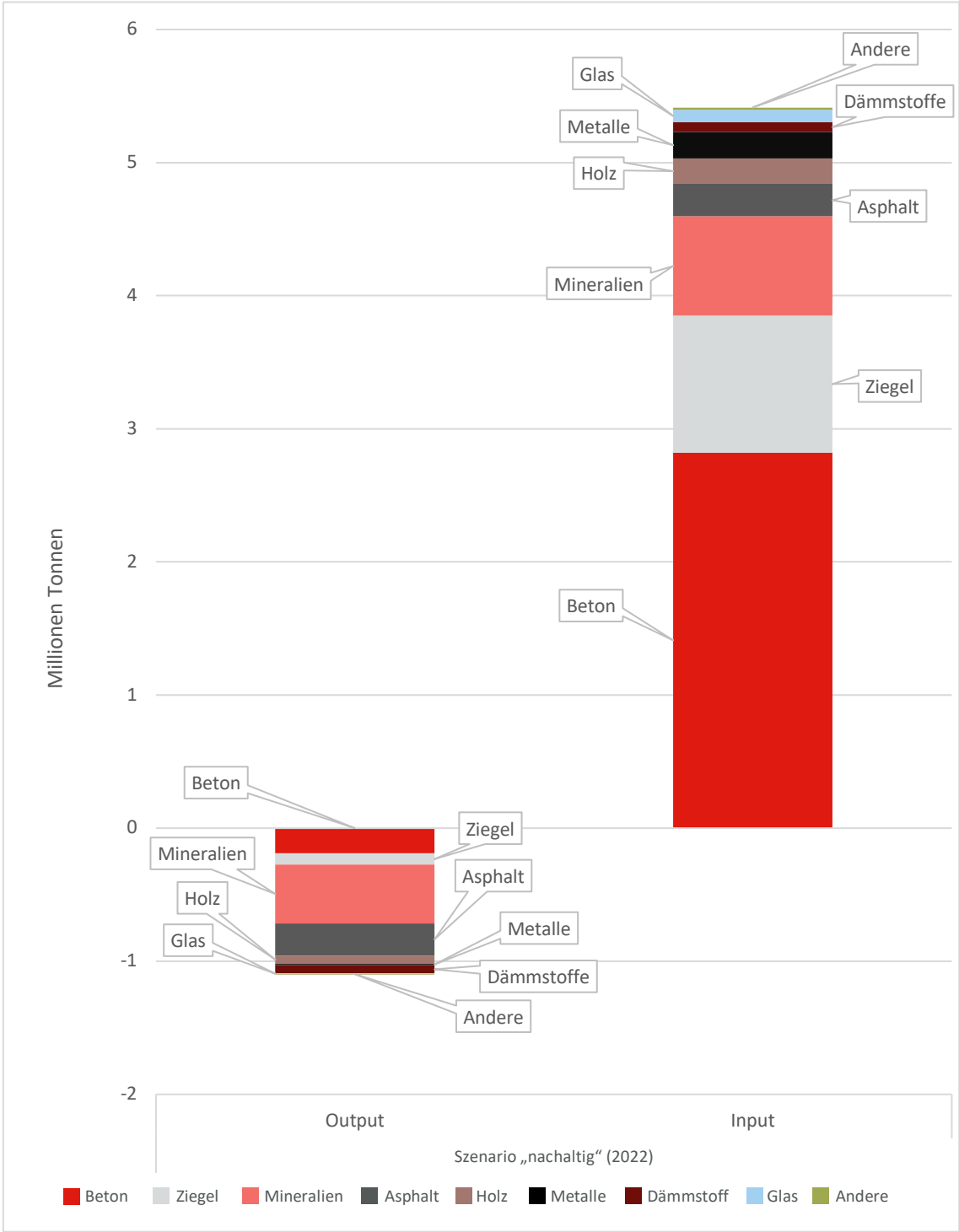


Abbildung 3: Geschätzte Inputs und Outputs von Materialien für den Wohn- und Nichtwohnbausektor im Jahr 2022, Szenario "nachhaltig". (Daten: ASTAT 2024. Ausarbeitung: Eurac Research)

Die folgende Abbildung zeigt den geschätzten Input im Wohnbausektor für Wanddämmstoffe und Fensterglas im Jahr 2022. Die Menge wird auf etwa 590 Tonnen für Wanddämmstoffe und 380 Tonnen für Fensterglas beziffert.

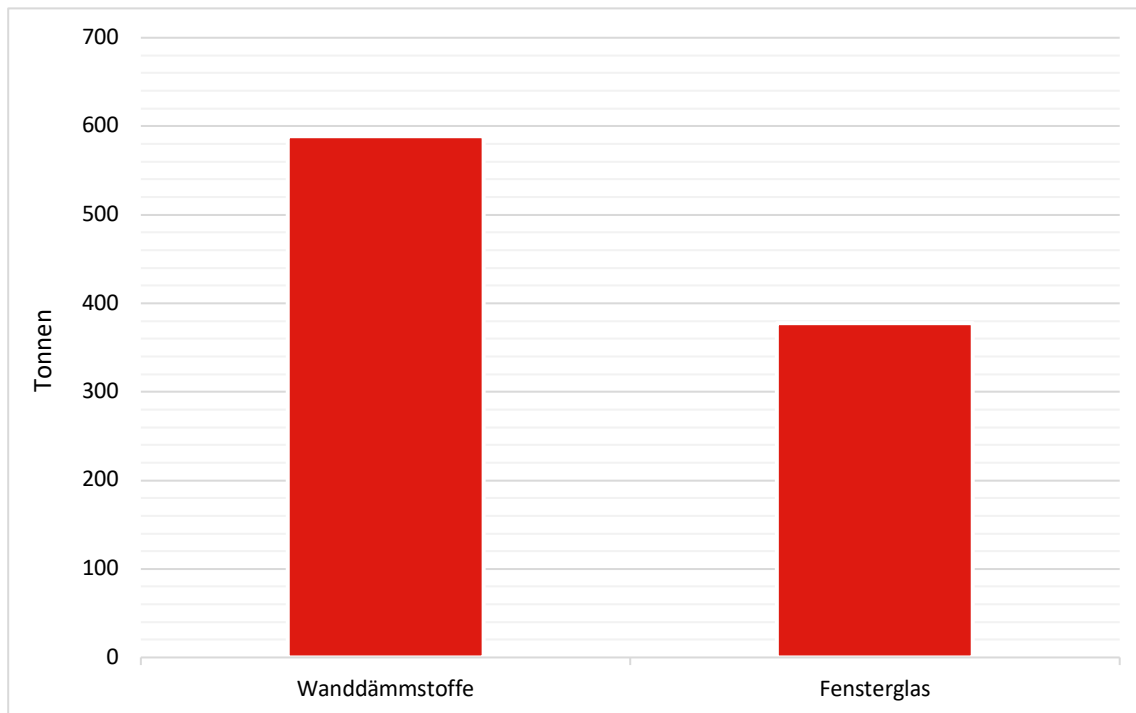


Abbildung 4: Geschätzter Einsatz von Wanddämmstoffen und Fensterglas für den Wohnbausektor im Jahr 2022
(Daten: ENEA 2023. Ausarbeitung: Eurac Research)

Insgesamt übersteigt der Bedarf an Materialien (Input) für den Gebäudebestand deutlich die erzeugte Abfallmenge (Output). Dies weist auf einen erheblichen Bestand an wertvollen Materialien hin, die durch nachhaltige Kreislaufwirtschaftsstrategien rückgewonnen und wiederverwendet werden könnten.

Die Strategie zur Verringerung von Bau- und Abbruchabfällen sowie zur Nutzung des vorhandenen Materialbestands in Gebäuden muss in erster Linie in der Planungsphase beginnen. Dies spielt eine Schlüsselrolle bei der Verringerung des Materialbedarfs von Gebäuden und der erzeugten Abfallmenge. Darüber hinaus kann die Planung die Chancen einer quantitativen und qualitativen Rückgewinnung von Bauteilen am Ende des Lebenszyklus von Gebäuden erhöhen. So kann beispielsweise die Verwendung von Verbundwerkstoffen im Bauwesen die Trennung und Rückgewinnung komplexer und ressourcenintensiver machen. Im Gegensatz dazu kann die Verwendung modularer Komponenten, die eine einfache Demontage und Trennung der Materialien ermöglichen, höhere Trennungsraten und effizientere Rückgewinnungsverfahren begünstigen. Ein selektiver Rückbau ist ebenfalls von entscheidender Bedeutung, um die Rückgewinnung, die Wiederverwendung und das Recycling zu fördern: In der Regel erfolgt ein schneller und relativ ungeplanter Abbruch, was zu einem ungetrennten Materialmix führt. Dies erhöht einerseits das Risiko, dass problematische Stoffe nicht ordnungsgemäß behandelt (und sicher gehandhabt) werden. Zudem verringert es das

Potenzial für die Rückgewinnung, Wiederverwendung und das Recycling von Baumaterialien [42].

Die Praktiken des „Urban Mining“, d.h. der Gewinnung erneuerbarer Ressourcen, Materialien oder Energie aus städtischen Abfällen oder ausgedienten Produkten fördert Recycling und Wiederverwendung. Sie verkörpert den zentralen Grundsatz der KW, der den Wert von Materialien durch Rückgewinnung und Wiederverwendung erhält. Diese Maßnahmen sind entscheidend, um die Materialnutzung in der Bauwirtschaft zu maximieren. Um ihr Potenzial voll auszuschöpfen, erfordert es jedoch den Einsatz selektiver Rückbautechniken und die Anpassung der verwendeten Komponenten [43], [44].

Grenzen

Die Grenzen dieser Analyse der Materialströme im Bausektor des Landes Südtirol resultieren hauptsächlich aus der begrenzten Verfügbarkeit genauer und spezifischer Daten für die Provinz. Insbesondere Daten zu Bau-, Abbruch- und Renovierungstätigkeiten, die für eine präzise Bewertung notwendig sind, waren schwer zu beschaffen und decken möglicherweise nicht den gesamten Sektor ab. Diese Datenlücken könnten die Genauigkeit der Ergebnisse beeinträchtigen. Eine weitere Einschränkung ist der Ausschluss des Infrastrukturbausektors, der einen signifikanten Anteil an den Materialströmen im Bausektor haben könnte. Dadurch könnte die Gesamtmenge der eingesetzten Materialien unterschätzt werden. Zudem wird die Materialflussanalyse durch Unsicherheiten und Annahmen beeinflusst, etwa bei der Schätzung von Recyclingquoten, Abfallmanagementpraktiken und der Dynamik des Materialmarktes. Diese Unsicherheiten müssen bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Zusammenfassend liefert die Materialflussanalyse wertvolle Einblicke, doch sind die genannten Einschränkungen in Bezug auf Datenverfügbarkeit, Sektorabdeckung und Unsicherheiten im Bewertungsprozess zu beachten.

5. Rechtlicher Rahmen zur Kreislaufwirtschaft

Das Konzept der KW hat als nachhaltiger Ansatz für Ressourcenmanagement und wirtschaftliche Entwicklung weltweit an Bedeutung gewonnen. In den letzten Jahrzehnten hat die Bedeutung von Normen und Rechtsnormen erheblich zugenommen, was das wachsende Bewusstsein für die Förderung von Konsum- und Produktionspraktiken widerspiegelt, die mit den klimatischen und ökologischen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts vereinbar sind. Das Vorhandensein eines Rechtsrahmens, der die Handlungen von Unternehmen, Regierungen und Bürgern/Bürgerinnen bei der Einführung von Kreislaufwirtschaftspraktiken lenkt und regelt, hat eine wesentliche Rolle dabei gespielt, diese Praktiken wirksam und durchsetzbar zu machen. Diese Bestimmungen legen Standards, Ziele und Instrumente fest, welche die Reduzierung von Abfällen, die Förderung von Recycling, die Wiederverwendung von Ressourcen und die Vermeidung weiterer Treibhausgasemissionen in die Atmosphäre begünstigen. Die Verabschiedung von Normen und Rechtsnormen für die KW ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer nachhaltigeren und resilienteren Wirtschaft im Einklang mit den UN-Zielen für nachhaltige Entwicklung. Insbesondere auf dem europäischen Kontinent haben sich die Rechtsnormen für die KW als entscheidende Eckpfeiler für die Bewältigung der ökologischen Herausforderungen und die Förderung eines nachhaltigen Wachstums erwiesen. Auf EU-Ebene setzen Initiativen wie der Aktionsplan für die KW und der Green Deal ehrgeizige Ziele und geben den Mitgliedstaaten Leitlinien für den Übergang zur KW vor. In Italien ergänzen nationale Strategien und Rechtsnormen die EU-Richtlinien, indem sie spezifische Maßnahmen zur Förderung von Abfallreduzierung, Ressourceneffizienz und nachhaltigen Produktions- und Verbrauchsmustern vorsehen. Ebenso hat Südtirol, als ein der ökologischen Nachhaltigkeit verpflichtetes Gebiet, eigene Initiativen zur KW und Vorschriften entwickelt, die an die lokalen Kontexte und Herausforderungen angepasst sind. Ziel dieses Kapitels ist es daher, die wichtigsten bestehenden Normen und Strategien auf den drei Ebenen (Europa, Italien und Südtirol) zu beschreiben und die Verbindung zwischen ihren Ansätzen und dem gemeinsamen Ziel, eine nachhaltigere Zukunft zu erreichen, hervorzuheben.

5.1 Strategien und Rechtsnormen für die Kreislaufwirtschaft: Europäische Union

Der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft

Die KW ist in der Europäischen Union (EU) zu einer der wichtigsten Prioritäten geworden, um ökologische Herausforderungen zu bewältigen und wirtschaftliche Nachhaltigkeit zu fördern. Gesetze, Vorschriften und Normen auf europäischer Ebene spiegeln das wachsende Engagement für die Förderung von Kreislaufwirtschaftspraktiken in verschiedenen Industriesektoren wider. Der auf EU-Ebene vorgezeichnete Weg findet seine Grundlage in einer Reihe von Strategien, die Teil des europäischen Green Deals sind, der darauf abzielt, den gesamten Kontinent bis 2050 klimaneutral zu gestalten. Die KW ist eine der Säulen des Green Deal und steht in Verbindung mit mehreren Aktionsplänen zum Erhalt der biologischen Vielfalt, zur Nachhaltigkeit von Lebensmitteln (*Farm-to-Fork Strategy*), zur nachhaltigen Mobilität und zur Energieeffizienz. Im März 2020 verabschiedete die Europäische Kommission den Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft, der im Dezember 2015 mit 54 Maßnahmen

begann, die im Laufe der Jahre bis zur Definition des Green Deal selbst erweitert wurden. Der Plan aus dem Jahr 2020 enthält eine Reihe von Zielen im Zusammenhang mit der Förderung des Recyclings und der Wiederverwendung von Materialien, um Abfälle und die Abhängigkeit von natürlichen Ressourcen zu verringern. Außerdem werden Ökodesign und nachhaltige Produktion gefördert, um die Umweltauswirkungen von Produkten während ihres gesamten Lebenszyklus zu verringern. Der Plan zielt auch darauf ab, die Abfallwirtschaft durch die Einführung von Systemen zur getrennten Abfallsammlung und die Einführung innovativer Abfallbehandlungstechnologien zu verbessern. Gleichzeitig soll er die Einführung von Kreislaufwirtschaftsmodellen fördern, welche die Wiederverwendung, das Recycling und die Reparatur von Produkten unterstützen. Darüber hinaus werden Digitalisierung und technologische Innovation als Instrumente zur Optimierung der Ressourcennutzung und zur Förderung der KW gefördert. Die im Plan dargelegten Leitlinien dienten als Grundlage für eine Reihe nachfolgender Normen und Rechtsnormen, die den Inhalt des Plans vertiefen und erweitern.

Der rechtliche Rahmen der Europäischen Union

Um den Weg nachzuvollziehen, der zum Plan aus dem Jahr 2020 und den heutigen Vorschriften geführt hat, muss man mit der Abfallrahmenrichtlinie von 2008 [45] beginnen, die Regelungen für die Abfallwirtschaft in der EU festlegt. Sie definiert grundlegende Prinzipien wie das Verursacherprinzip und die Abfallhierarchie. Während ersteres die Verantwortung von Unternehmen hervorhebt, die Umweltschäden verursachen, und ihre Verpflichtung, die erforderlichen Präventions- oder Reparaturmaßnahmen zu ergreifen und dabei alle damit verbundenen Kosten zu übernehmen, legt letzteres auf die Vermeidung (d.h. den Versuch, vor allem möglichst keinen Abfall zu erzeugen) und setzt die Wiederverwendung, Recycling und Entsorgung als Prioritäten, die in absteigender Reihenfolge angenommen werden müssen. Die Richtlinie verpflichtet die Mitgliedstaaten, Maßnahmen zu ergreifen, um sicherzustellen, dass Abfälle auf sichere und verantwortungsvolle Weise behandelt werden und das Recycling sowie die Rückgewinnung von Materialien und Energie gefördert wird. Darüber hinaus legt sie Mindestziele für das Recycling fest und enthält besondere Bestimmungen für die Behandlung von gefährlichen Abfällen. Die Richtlinie fördert auch die erweiterte Herstellerverantwortung, was bedeutet, dass die Herstellenden die Umweltauswirkungen ihrer Produkte während ihres gesamten Lebenszyklus, einschließlich der Entsorgung, berücksichtigen müssen. Darüber hinaus werden in Artikel 6 der Richtlinie die so genannten "*End-of-Waste*"-Kriterien beschrieben, die festlegen, wann ein Abfall nicht mehr als solcher gilt, nämlich wenn: (i) der Stoff oder Gegenstand üblicherweise für bestimmte Zwecke verwendet wird, (ii) ein Markt oder eine Nachfrage für den Stoff oder Gegenstand besteht, (iii) die Verwendung legal ist, d.h. der Stoff oder Gegenstand die technischen Anforderungen für die spezifischen Zwecke erfüllt und mit den für Produkte geltenden Rechtsnormen und Normen übereinstimmt, (iv) die Verwendung nicht zu negativen Gesamtauswirkungen auf die Umwelt oder die menschliche Gesundheit führt. Die ursprüngliche Richtlinie aus dem Jahr 2008 wurde im Laufe der Jahre mehrfach geändert, wobei eine der wichtigsten Änderungen im Jahr 2018 erfolgte. Zu den Neuerungen gehören die Verschärfung der Bestimmungen über die Behandlung gefährlicher Abfälle und die Festlegung ehrgeizigerer Ziele für das Recycling und die Verwertung von Abfällen, die Festlegung von Mindestrecyclingquoten für bestimmte Abfallkategorien und die Einführung von Maßnahmen zur Verringerung der Deponierung. Darüber hinaus wird der Unterschied zwischen Abfällen und Nebenprodukten genauer beschrieben: Während erstere alle Stoffe oder Gegenstände sind, deren sich der Besitzer entledigt oder entledigen will (oder muss), sind letztere Stoffe oder Gegenstände, die aus einem Produktionsprozess hervorgehen

und deren Hauptzweck nicht die Herstellung dieses Gegenstands ist. Nebenprodukte können aus einem breiten Spektrum von Wirtschaftszweigen stammen und sehr unterschiedliche Umweltauswirkungen haben. Die Änderung von 2018 erfolgte nach der Verabschiedung des Pakets zur Kreislaufwirtschaft durch die Europäische Kommission (EK) im Jahr 2015, das eine Überarbeitung der Abfallgesetzgebung, aber auch eine Reihe von Maßnahmen umfasste, wie beispielsweise eine verstärkte finanzielle Unterstützung für Unternehmen und Innovationen im Bereich der KW, gemeinsame Standards und Normen für die Kennzeichnung von Kreislaufprodukten und die Förderung nachhaltiger Praktiken in Produktionsprozessen, die Entwicklung eines Überwachungsrahmens für die KW und Leitlinien für die Rückverfolgbarkeit von gefährlichen Chemikalien. Weitere Änderungen der Abfallrichtlinie werden derzeit diskutiert, um sie in die EU-Strategie für nachhaltige und kreislauffähige Textilien zu integrieren, insbesondere im Hinblick auf die Einbeziehung der erweiterten Herstellerverantwortung im Textilsektor.

Ein weiteres Dokument, das eine wichtige Rolle bei den Umsetzungsstrategien der EU spielte, war der Ökodesign-Arbeitsplan 2016-2019 der Europäischen Kommission. Das Dokument definiert eine Reihe von Zielen und Maßnahmen zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit von Produkten durch ein Design, das die Umweltauswirkungen während des gesamten Lebenszyklus (von der Produktion bis zur Entsorgung) reduziert; es sieht auch die Identifizierung neuer Produktkategorien vor, die einer Regelung des Ökodesigns unterliegen, sowie die Überarbeitung und Aktualisierung bestehender Anforderungen für bereits regulierte Produkte. Schließlich sieht der Plan eine Verbesserung der Kontrolle der Marktprozesse vor, um sicherzustellen, dass die Produkte den Kennzeichnungsvorschriften entsprechen, damit für die europäischen Verbraucher mehr Transparenz gewährleistet ist. Rechtsgrundlage für das Ökodesign in der EU ist die Richtlinie 2009/125/EG über die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte wie Haushaltsgeräte, Industrieanlagen, Beleuchtung, Unterhaltungselektronik sowie Heiz- und Kühlsysteme. Die Richtlinie wurde 2012 einer ersten Überarbeitung unterzogen und 2021 durch die Verordnungen 340 und 341 ergänzt, um die Produktarten zu aktualisieren. Die Richtlinie sieht vor, dass die Europäische Kommission Mindest-Ziele zur Energieeffizienz für verschiedene Produktkategorien definiert und Methoden zur Messung und Bewertung von Energieeinsparungen festlegt. Neue Vorschläge zur Debatte über Aktualisierungen der Ökodesign- und Energiezertifizierungsanforderungen (für elektronische Produkte mit hohem Abfallaufkommen wie Smartphones, Tablets und Solarpaneele) werden im Rahmen eines Ökodesign-Aktionsplans 2022-2024 entwickelt, der die Rahmenverordnung zur Energieverbrauchskennzeichnung (EU/2017/1369) ergänzt und eine Bestandsaufnahme der Fortschritte bei der Datenbank zur Energieverbrauchskennzeichnung von Produkten (EPREL) vornimmt.

Ein weiterer Schritt in Richtung EU-Standardisierung war das von der Europäischen Kommission im Juni 2023 vorgelegte Paket für nachhaltige Finanzen, das die Aktualisierung der EU-Taxonomie für nachhaltige Tätigkeiten vorsah, die im Juli 2020 durch die Verordnung 2020/852 in Kraft trat. Die Taxonomie ist ein gemeinsames Klassifizierungssystem, das Kriterien für Wirtschaftstätigkeiten festlegt, die auf das Ziel von Nullemissionen bis 2050 ausgerichtet sind und die gemäß den von der Europäischen Kommission festgelegten technischen Auswahlkriterien als ökologisch nachhaltig angesehen werden können. Auf diese Weise spielt es eine wichtige Rolle bei der Steigerung nachhaltiger Investitionen, bei der Schaffung von Sicherheit für Investoren/Investorinnen, beim Schutz von Bürgern/Bürgerinnen und Unternehmen vor *Greenwashing*, bei der Unterstützung von Unternehmen auf dem Weg zu mehr Klimafreundlichkeit und bei der Abschwächung der Marktfragmentierung. Die Taxonomie-Verordnung legt vier allgemeine Bedingungen fest, die eine Wirtschaftstätigkeit erfüllen muss, um als ökologisch nachhaltig zu gelten: Sie muss einen wesentlichen Beitrag zu den Umweltzielen leisten (z.B. durch Anpassungs- oder Reduzierungsmaßnahmen oder durch

Maßnahmen zur Wiederherstellung der biologischen Vielfalt von Ökosystemen), sie darf keine Handlungen vornehmen, die diesen Zielen zuwiderlaufen, sie muss soziale Mindeststandards einhalten (z.B. die Achtung der Menschen- und Arbeitnehmerrechte), und sie muss die technischen Kriterien der Kommission erfüllen. Die Delegierte Verordnung (EU) 2023/2486 der Europäischen Kommission aktualisierte die Taxonomie, indem sie den Übergang zur KW als wesentliches Ziel festlegte, die technischen Kriterien aktualisierte und die Ziele der Berichterstattung für die Wirtschaftsakteure klarer definierte. Finanzmarktteilnehmer, die der Verordnung unterliegen, müssen in der Tat berichten, wie und in welchem Umfang ihre wirtschaftlichen Aktivitäten mit den Kriterien der Taxonomie übereinstimmen.

Der Bau- und Holzsektor

Wichtige rechtliche und politische Maßnahmen wurden auch speziell für den Bausektor eingeführt. Insbesondere wurden im Laufe der Jahre frühere Verordnungen und Richtlinien durch eine Reihe von technischen Kriterien aktualisiert, um die Effizienz der abfallwirtschaftlichen Prozesse zu aktualisieren und zu verbessern. So ergänzt beispielsweise der Beschluss 2011/753/EU die Abfallrahmenrichtlinie von 2008 durch die Festlegung von Berechnungsmethoden zur Messung der Erreichung bestimmter Recyclingquoten für im Bausektor verwendete Materialien, einschließlich bestimmter Arten von Metallen und Kunststoffen, wobei der Schwerpunkt auf der Harmonisierung dieser Methoden in den Mitgliedstaaten liegt, um die Vergleichbarkeit der Abfallwirtschaftskriterien zu gewährleisten. Ein weiteres Dokument zur Aktualisierung der Richtlinie von 2008 ist der Durchführungsbeschluss (EU) 2019/1004 der Europäischen Kommission, in dem spezifische Anforderungen und Verfahren festgelegt sind, die von den Mitgliedstaaten bei der Berechnung, Überprüfung und Meldung von Abfallwirtschaftsdaten zu befolgen sind, mit dem Ziel, die Kohärenz, Genauigkeit und Transparenz der in der EU erhobenen Daten sicherzustellen. Der Inhalt beider Beschlüsse wurde in einem Bericht der Kommission aus dem Jahr 2022 zusammengefasst, in dem Leitlinien für die Berichterstattung über Bau- und Abbruchabfälle festgelegt sind [46]. Auch für das Baugewerbe ist die Änderung der Abfallrahmenrichtlinie von 2018 (2018/851/EU [47]) von zentraler Bedeutung. Darin werden Bau- und Abbruchabfälle als Abfälle aus Bau- und Abbrucharbeiten definiert, die Arbeiten im privaten Wohnbau, in Bildungseinrichtungen, Krankenhäusern, im gewerblichen und industriellen Bereich sowie im öffentlichen Auftragswesen (einschließlich Infrastrukturprojekten und Instandhaltung) umfassen. Im Allgemeinen bestehen Bau- und Abbruchabfälle aus einer Mischung verschiedener Materialien wie Beton, Ziegel, Glas, Holz, Metalle, Gips und Kunststoffe, aber auch aus gefährlichen Stoffen wie Asbest und Blei. Auch hier folgt die Anwendung der KW im Bausektor der bereits erwähnten „Abfallhierarchie“, indem der Abfall auf ein Minimum reduziert und das Recycling von Materialien, die getrennt werden können, gefördert wird.

Ein weiteres wichtiges Dokument ist die Bauprodukteverordnung (EU) 305/2011[48]) (BauPVO), die harmonisierte Bedingungen für die freie Vermarktung von Bauprodukten in der EU festlegt und gleichzeitig verlässliche Informationen über ihre Leistung gewährleistet. Die BauPVO gilt für eine breite Palette von Produkten, die im Bauwesen verwendet werden, darunter Baustoffe wie Beton, Glas, Holz, Stahl, Ziegel, Anstriche, Elektrogeräte, Heiz- und Kühlanlagen, Wärme- und Schalldämmungsprodukte, Verkleidungen und Bodenbeläge. Zu den wichtigsten Bestimmungen der BauPVO gehören die Festlegung der wesentlichen Leistungsmerkmale, die Bauprodukte erfüllen müssen, die Bescheinigung der Konformität von Produkten mit harmonisierten Anforderungen, die Erstellung von Leistungserklärungen durch die Hersteller/Herstellerinnen und die Einrichtung einer europäischen Datenbank für

Bauprodukte. Im Jahr 2016 veröffentlichte die EU ein Protokoll über die Bewirtschaftung von Bau- und Abbruchabfällen, das Empfehlungen für die Wiederverwendung und das Recycling, die Rückverfolgbarkeit und das Monitoring, die Zusammenarbeit zwischen den Mitgliedstaaten und die Innovation enthält [49], während 2018 Leitlinien für die Inspektion und Überprüfung potenzieller Bau- und Abbruchabfälle in Gebäuden vor Abbrucharbeiten veröffentlicht wurden [50]. Schließlich veröffentlichte die Europäische Kommission im Jahr 2020 die Grundsätze für das Gebäudedesign zur Förderung eines nachhaltigeren und zirkulären Designs [51]. Zu den wichtigsten im Dokument dargelegten Grundsätzen gehören unter anderem: die Förderung biologisch abbaubarer und recycelbarer Materialien beim Bau von Gebäuden, die Verwendung leicht demontierbarer und langlebiger Materialien, um deren Lebenszyklus so lang wie möglich zu gestalten, und die Anwendung quantitativer Methoden wie der *Lebenszyklusanalyse (LCA)* und digitaler Werkzeuge wie der *Gebäudedatenmodellierung (Building Information Modelling - BIM)* für das geplante und effiziente Management aller Phasen von Planung und Bau. Das Dokument enthält auch eine Reihe von Fallstudien und konkreten Beispielen von Gebäuden, die nach den Grundsätzen der KW entworfen wurden, und veranschaulicht bewährte Verfahren und Herausforderungen in diesem Sektor.

Die Umsetzung der KW im Bausektor ist, wie im vorherigen Abschnitt über den Rechtsrahmen erwähnt, auch mit dem Konzept der Energieeffizienz von Gebäuden verbunden. Die wichtigste Richtlinie zu diesem Thema ist die Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (2010/31/EU [52]), die von entscheidender Bedeutung für die Verringerung der Umweltauswirkungen von Gebäuden in der EU ist. In der Richtlinie werden die Gebäude, die unter die Regelung fallen, klar definiert. Dazu gehören neue Gebäude, bestehende Gebäude, die einer größeren Renovierung unterzogen werden, sowie große Heiz- und Kühlsysteme, wobei die Mitgliedstaaten verpflichtet sind, Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden und deren Komponenten wie Heiz-, Kühl- und Lüftungssysteme festzulegen. Die Mitgliedstaaten sind außerdem verpflichtet, Energieausweissysteme für Gebäude einzuführen, die klare und verständliche Informationen über deren Energieeffizienz liefern. Zur Unterstützung dieser Richtlinie hat die EU 2009 die *Build-Up-Strategie* ins Leben gerufen, um die Gebäudeeigentümer, die Akteure des Sektors und die Öffentlichkeit für die Bedeutung von Energieeffizienz und Energiesparmöglichkeiten in Gebäuden zu sensibilisieren. Dies soll durch den Austausch und die Weitergabe von Wissen, Erfahrungen und bewährten Verfahren zwischen den EU-Mitgliedstaaten und den verschiedenen Akteuren im Bausektor durch Workshops und Seminare geschehen. Die Strategie umfasst auch die Überprüfung und Bewertung der Fortschritte im Bereich der Energieeffizienz von Gebäuden, um Herausforderungen und Chancen zu ermitteln und die Politik entsprechend anzupassen. Mit der Einführung des Green Deal wurde die Energieeffizienzstrategie im Jahr 2020 durch die sogenannte *Renovierungswelle* erweitert, deren Ziel es war, die Renovierung von Gebäuden im Wohn- und Nichtwohnbereich durch finanzielle Anreize zu fördern, die zudem auf die Bekämpfung der Energiearmut und die Dekarbonisierung von Heiz- und Kühlsystemen abzielen. Ein weiterer Schritt wurde kürzlich mit der Richtlinie 2023/1791/EU [53] des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. September 2023 unternommen, die neue, strengere Energieeffizienzziele festlegt, die für die Mitgliedstaaten verbindlich sind, um den Energieverbrauch zu senken und die Energieeffizienz von Gebäuden, Verkehr, Industrie und anderen Sektoren zu verbessern.

Was den Holzsektor betrifft, so sind viele Bestimmungen in diesem Kapitel schon vorgestellt worden – z.B. siehe die Abfallrahmenrichtlinie. Eine wichtige europäische Verordnung, nämlich die Verordnung 995/2010/EU [54] des Europäischen Parlaments und des Rates, legt den Marktteilnehmern, die innerhalb der EU mit Holz und Holzzeugnissen handeln, jedoch Verpflichtungen auf. Um den illegalen An- und Verkauf von Holz zu bekämpfen, müssen Informationen über die Herkunft des Holzes, die Einhaltung nationaler und internationaler

Gesetze und die Achtung der Rechte der einheimischen und lokalen Bevölkerung bescheinigt werden. Die Marktteilnehmer müssen außerdem in der Lage sein, detaillierte Informationen über die Holzlieferkette vorzulegen, einschließlich Informationen über die Holzart, die Menge, das Herkunftsland und den vorherigen Marktteilnehmer in der Lieferkette. In jüngster Zeit hat die EU eine neue Forststrategie 2030 auf den Weg gebracht, die sich in den Kontext des Green Deal einfügt und Ziele und Maßnahmen für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung umreißt.

5.2 Strategien und Rechtsnormen zur Kreislaufwirtschaft: Italien

Italienische Nationale Strategie zur Kreislaufwirtschaft

Die Richtlinien der EU zur KW werden von der italienischen Gesetzgebung nicht nur auf nationaler, sondern auch auf regionaler und lokaler Ebene umgesetzt. Italien, das sich die Grundsätze des europäischen Green Deal und die UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung zu eigen gemacht hat, hat seine eigene Nationale Strategie zur Kreislaufwirtschaft als integralen Bestandteil des Nationalen Plans für Aufbau und Resilienz (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza - PNRR) herausgegeben. Die Strategie wurde durch das Ministerialdekret Nr. 259 vom 24. Juni 2022 vom damaligen Ministerium für den ökologischen Wandel (jetzt umbenannt in „Ministerium für Umwelt und Energiesicherheit“) als programmatisches Dokument genehmigt, das die Aktionen, Ziele und Maßnahmen, die bei der Festlegung der institutionellen Politiken verfolgt werden sollen, um einen effektiven Übergang zu einer KW zu gewährleisten, identifizieren soll. Insbesondere schlägt Italien vor, neue administrative und steuerliche Instrumente zu definieren, um den Markt für Sekundärrohstoffe zu stärken, damit diese in Bezug auf Verfügbarkeit, Qualität und Kosten im Vergleich zu neuen Rohstoffen wettbewerbsfähig sind. Aus diesem Grund greift die Strategie auf mehreren Ebenen ein: Sie beeinflusst die Art und Weise, wie Materialien eingekauft werden (durch die Mindestumweltkriterien für umweltfreundliche Beschaffung in der öffentlichen Verwaltung), legt Kriterien fest, um zu bestimmen, wann ein Material nicht mehr als Abfall anzusehen ist, fördert die erweiterte Herstellerverantwortung, bindet die Verbraucher aktiv ein und unterstützt die Einführung von Sharing-Praktiken und „Produkt-als-Dienstleistung“-Modellen. Darüber hinaus ist diese Strategie ein Schlüsselement für das Erreichen der Klimaneutralitätsziele und enthält eine Reihe von messbaren Maßnahmen und Zielen, die bis 2035 erreicht werden sollen. Am 19. September 2022 wurde das Ministerialdekret Nr. 342 [55] unterzeichnet, das den Zeitplan für die Umsetzung der in der Strategie enthaltenen prioritären Maßnahmen bis zum Jahr 2026 offiziell festlegt, übereinstimmend mit dem Zeitrahmen des PNRR.

Die Strategie stützt sich auf fünf Hauptsäulen, welche die grundlegenden Merkmale der KW widerspiegeln, wie die Abfallhierarchie, Geschäftsmodelle wie die erweiterte Herstellerverantwortung und die Verringerung umweltschädlicher Emissionen in die Atmosphäre. Die erste Säule ist das Ökodesign, das darauf abzielt, Innovationen und den Prozess der Herstellung umweltfreundlicher, langlebiger, wiederverwendbarer und recycelbarer Produkte zu fördern und zu unterstützen. Die zweite ist die Bioökonomie, d.h. die Verwertung biologischer Ressourcen auf nachhaltige Weise, um die Herstellung umweltverträglicher Produkte und Biokraftstoffe zu fördern. Die dritte Säule ist die *Blaue Wirtschaft*, die darauf abzielt, die Meeres- und Küstenressourcen in einem Kreislaufsystem zu

schützen und zu fördern. Bei den kritischen Rohstoffen, welche die vierte Säule darstellen, geht es darum, die Sicherheit und Versorgung mit strategischen Ressourcen für wirtschaftlich wichtige Industriesektoren zu gewährleisten, indem Recycling und Wiederverwendung, wo immer möglich, gefördert wird. Die fünfte Säule, welche die Abfallwirtschaft betrifft, sieht vor, das Abfallaufkommen zu verringern, die getrennte Abfallsammlung zu verstärken und die Verbreitung von Kreislaufwirtschaftsmodellen zu fördern. Zusätzlich zu diesen fünf Säulen gibt es auch transversale Maßnahmen, deren Hauptziele darin bestehen, die Pro-Kopf-Hausabfallproduktion bis 2030 um 50% zu reduzieren, die Recyclingquote von Hausabfällen bis zum selben Jahr um 65% zu erhöhen und bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen. Insbesondere ist es von grundlegender Bedeutung, spezifische Strategien festzulegen, die darauf abzielen, die Ressourcenverschwendung zu verringern und die Ressourceneffizienz durch die Förderung nachhaltiger Produktions- und Verbrauchsmuster zu verbessern. In diesem Zusammenhang werden Schlüsselsektoren ermittelt, auf die sich diese Maßnahmen konzentrieren sollen, darunter die verarbeitende Industrie, das Baugewerbe, die Landwirtschaft und der Abfallsektor. Darüber hinaus wird in der Strategie betont, dass es zur Erreichung der gesetzten Ziele unerlässlich ist, in Innovation und Forschung zu investieren, die richtigen Vorschriften und Anreize zu entwickeln sowie eine ständige und regelmäßige Überprüfung und Bewertung durchzuführen, und zwar durch eine Synergie zwischen öffentlichen und privaten Akteuren, Regierung und Unternehmen, Organisationen der Zivilgesellschaft und Bürgern/Bürgerinnen. Durch die richtige Zusammenarbeit und Synergie zwischen den Akteuren wird das erfolgreiche Erreichen der gesetzten Ziele bestimmt.

Rechtlicher Rahmen für die Abfallwirtschaft

Zu den wichtigsten Gesetzen, die die Abfallwirtschaft in Italien regeln, gehört das Umweltgesetzbuch (Gesetzesdekret 152/06), das wichtige Neuerungen im Bereich des Umweltschutzes mit sich bringt. Dieses Gesetzesdekret führte eine Reihe von Neuerungen im Bereich der Umweltgesetzgebung ein, darunter die Optimierung der bis dahin bestehenden Umweltgesetzgebung, durch die Integration von Bestimmungen und die Vereinfachung der entsprechenden Verwaltungsverfahren. Die Rechtsnorm sieht auch ein Vorsorgeprinzip vor, d.h. die Verabschiedung spezifischer Schutzmaßnahmen bei potenziellem Risiko oder Unsicherheit für Gesundheit oder Umwelt. Der Text enthält auch den Grundsatz der erweiterten Herstellerverantwortung, der, wie bereits in der Einleitung erwähnt, von den Herstellern/Herstellerinnen verlangt, dass sie die Verantwortung für ihre Produkte während ihres gesamten Lebenszyklus übernehmen, was auch die Phasen der Entsorgung und des Recyclings einschließt. Darüber hinaus wird die Verabschiedung regionaler Abfallwirtschaftspläne vorgesehen, die auf der Koordinierung der einzelnen Gemeinden basieren. Der Umgang mit Abfällen wird durch die Förderung der getrennten Sammlung, des Recyclings, der Energierückgewinnung und der ordnungsgemäßen Abfallentsorgung im Detail geregelt. Für industrielle und gewerbliche Tätigkeiten ist ein Genehmigungssystem vorgesehen, um potenzielle erhebliche Umweltauswirkungen zu begrenzen und diese Tätigkeiten auf die ordnungsgemäße Einhaltung bestimmter Bedingungen oder Anforderungen auszurichten. Zur Unterstützung dieser Maßnahmen und zur Verringerung der Umweltauswirkungen menschlicher Tätigkeiten auf dem Gebiet sind im Vorfeld spezifische Umweltverträglichkeitsprüfungen und strategische Umweltprüfungen erforderlich, um mögliche langfristige Auswirkungen dieser Tätigkeiten auf die Umgebung zu untersuchen. Ein weiterer wichtiger Schritt ist der Schutz von Luft und Wasser, wobei Emissionsgrenzwerte und Normen zur Kontrolle der Verschmutzungsgrenzen festgelegt werden. Die Nichteinhaltung der

Bestimmungen des Gesetzesdekrets wird mit schweren Strafen geahndet, die in derselben Verordnung festgelegt sind.

Andererseits findet sich der Begriff der KW im Gesetz Nr. 221 vom 28. Dezember 2015 [56] mit dem Titel „*Bestimmungen im Umweltbereich zur Förderung von Maßnahmen der Green Economy und zur Eindämmung des übermäßigen Verbrauchs natürlicher Ressourcen*“ wieder. Dieses Gesetz legt die Grundsätze, Ziele und Instrumente für den Übergang zu einer Wirtschaft fest, die auf der Verringerung, der Wiederverwendung, dem Recycling und der Verwertung von Materialien basiert und darauf abzielt, die Ausschöpfung der natürlichen Ressourcen zu verringern und die Abfallproduktion zu begrenzen. Um diese Ziele zu erreichen, sieht das Gesetz steuerliche und finanzielle Anreize vor, unterstützt aber auch Forschung und Innovation und fördert ein Zertifizierungssystem für nachhaltige Produkte. In Bezug auf die Abfallwirtschaft regelt die Gesetzgebung ein System, das Recycling, Energierückgewinnung und ordnungsgemäße Entsorgung fördert, eine angemessene Verringerung der Abfallproduktion anregt und korrekte Praktiken der Abfalltrennung begünstigt. Am 3. September 2020 trat hingegen das Gesetzesdekret Nr. 116 [57] in Kraft, das eine Reihe von europäischen Richtlinien aktualisiert, indem es wesentliche Änderungen in der Abfallwirtschaft und im Bereich der Verpackungen vorsieht. Die wichtigsten Bestimmungen des Gesetzesdekrets betreffen die Verabschiedung neuer Regeln für die Abfallbehandlung und -entsorgung im Einklang mit den Zielen der KW und der ökologischen Nachhaltigkeit. Das Gesetzesdekret enthält insbesondere Vorschriften zur Förderung der getrennten Sammlung, des Recyclings, der Rückgewinnung und der Verringerung des Abfallaufkommens in Übereinstimmung mit den europäischen Standards. Darüber hinaus werden spezifische Bestimmungen zur Verbesserung des Umgangs mit Verpackungen und Verpackungsabfällen eingeführt, die Maßnahmen zur Verringerung ihrer Umweltauswirkungen durch die Förderung ihrer Wiederverwendung und des Recyclings vorsehen. Detailliertere Vorschriften zur Handhabung und Rückgewinnung spezifischer Materialien sind in mehreren Ministerialdekreten enthalten: Nr. 22 aus dem Jahr 2013 über sekundäre Festbrennstoffe (CSS), Nr. 69 aus dem Jahr 2018 über bituminöse Konglomerate, Nr. 62 aus dem Jahr 2019 über absorbierende Produkte für den persönlichen Bedarf, Nr. 78 aus dem Jahr 2020 über vulkanisiertes Gummi aus Altreifen und Nr. 188 ebenfalls aus dem Jahr 2020 über Papier und Karton.

Rechtlicher Rahmen für den Bausektor

Was die Energieeffizienz angeht, so wird sie im Bausektor durch das Gesetzesdekret 192/2005 [58] geregelt, das die Energieeffizienz von Gebäuden betrifft. Dieses Gesetzesdekret enthält spezifische Definitionen für Gebäudetypen und legt den Anwendungsbereich der Bestimmungen fest, die für neue Gebäude, größere Renovierungen und die Installation von thermischen Systemen gelten. Mit diesem Gesetzesdekret wird die Einführung eines Energieausweises für Gebäude verbindlich vorgeschrieben, in dem Mindestanforderungen festgelegt sind, die Gebäude erfüllen müssen, um einen nachhaltigen Verbrauch zu gewährleisten und Emissionen zu reduzieren. Darüber hinaus werden technische Vorschläge zur Verbesserung der Energieeffizienz gemacht, damit diese beim Kauf oder bei der Anmietung leichter zu beurteilen ist. Gefördert werden auch gebäudetechnische Anlagen in den Bereichen Beleuchtung, Belüftung, Heizung und Kühlung, die aus erneuerbaren Energiequellen gespeist werden und spezifischen Anforderungen und Bestimmungen entsprechen. Zur Erreichung der in der Rechtsnorm vorgeschlagenen Ziele werden Anreize und Steuervergünstigungen eingeführt, um Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz zu fördern, einschließlich möglicher Steuernachlässe zur Unterstützung von Sanierungsmaßnahmen. Die Energieeffizienz wurde durch das Gesetzesdekret Nr. 102 aus dem Jahr 2014 [59] nicht nur für den Bausektor,

sondern auch für den Verkehr und die Energieversorgungsunternehmen weiter geregelt. Dieses Dokument führt die Verpflichtung ein, regionale und lokale Energiepläne zu erstellen, um die Energieeffizienz und die Nutzung erneuerbarer Energiequellen zu fördern.

In Bezug auf die Zuverlässigkeit von Baumaterialien enthält das Ministerialdekret vom 17. Januar 2018 [60] präzise technische Normen, die eine Vielzahl von Aspekten abdecken (u.a. Baumaterialien, Wärme- und Schalldämmung, Erdbebensicherheit, Elektro- und Sanitäranlagen usw.). Das Hauptziel des Dekrets besteht darin, sicherzustellen, dass die Gebäude gemäß den gesetzlich vorgeschriebenen Sicherheits-, Qualitäts- und Nachhaltigkeitsstandards gebaut werden, um den Schutz des menschlichen Lebens, der Gesundheit und der Umwelt zu gewährleisten. Insbesondere werden in diesem Dekret auch bestimmte Anforderungen an recycelte Baumaterialien festgelegt.

Es wird angegeben, dass für die Festigkeitsklasse C8/10 Gesteinskörnungen aus Bauabbruch (Bauschutt) als „grobe Gesteinskörnung“ (Durchmesser größer als 4 mm) bis zu 100% anstelle von neuem Material verwendet werden können, während für höhere Festigkeitsklassen nur Gesteinskörnungen aus recyceltem Beton verwendet werden können. Konkret bis zu 60% für Beton der Festigkeitsklasse kleiner oder gleich C20/25, bis zu 30% für die Festigkeitsklasse kleiner oder gleich C30/37 und bis zu 20% für die Festigkeitsklasse kleiner oder gleich C45/55. Diese Grenzwerte werden auch durch die Expositionsklasse des Betons beeinflusst, wie sie in anderen technischen Normen angegeben sind, auf die später eingegangen wird.

Vor der Verwendung müssen diese Aggregate bestimmte Zertifizierungen und Anforderungen erfüllen, die in verschiedenen technischen Normen festgelegt sind. Weitere Kriterien für Beton finden sich in den vom Umweltministerium herausgegebenen Mindestumweltkriterien, wie beispielsweise die Forderung nach 5% recyceltem Material in Betonfertigteilen bei öffentlichen Aufträgen [61].

Eine neuere Rechtsnorm über inerte Bau- und Abbruchabfälle ist das Ministerialdekret 152/2022 [62]. Im Wesentlichen legt das Ministerialdekret die Regeln und Verfahren fest, die es ermöglichen, dass Inertabfälle aus Bau- und Abbrucharbeiten und anderen mineralischen Quellen nicht mehr als „Abfall“ gelten. Dies bedeutet, dass solche Materialien, sobald sie behandelt werden und bestimmte Anforderungen erfüllen, als wiederverwendbare Produkte und nicht als Abfall betrachtet werden können. Das Ministerialdekret legt wahrscheinlich technische Kriterien, Standards und Verfahren fest, die befolgt werden müssen, um sicherzustellen, dass Inertabfälle die Anforderungen erfüllen, damit die nicht mehr als Abfall gelten, und trägt so zur Förderung des Recyclings und der Wiederverwendung von Inertmaterialien und zur allgemeinen Abfallverringerung bei.

5.3 Strategien und Rechtsnormen zur Kreislaufwirtschaft: Autonome Provinz Bozen

Die Abfallwirtschaft

Die RIS3 und der Klimaplan 2040 stellen rezente Aktionen des Landes Südtirol dar und integrieren die Konzepte der KW im Wesentlichen in die umfassendere Nachhaltigkeitsstrategie von EFF. Auf regulatorischer Ebene gibt es in Südtirol keine Gesetze, die explizit die Terminologie der KW enthalten, so dass die aktuelle Gesetzgebung, die Aspekte regelt, die dem Inhalt der KW am nächsten kommen, hauptsächlich im

Abfallbewirtschaftungskonzept des Landes Südtirol zu finden ist. Dieses Konzept enthält spezifische Leitlinien für die Abfallsammlung und -entsorgung im Hinblick auf den Umweltschutz und wurde im Laufe der Jahre aktualisiert, um ihn schrittweise für die Förderung des Recyclings und der stofflichen Verwertung geeigneter zu machen. Es enthält insbesondere Ziele und Maßnahmen zur Förderung der getrennten Abfallsammlung, zur Einführung einer fortschrittlichen Abfallbehandlung je nach Abfallart und Entsorgungsmethode, zur Umwelterziehung und Sensibilisierung der Öffentlichkeit sowie zur Einführung wirtschaftlicher Anreize zur Förderung nachhaltiger Praktiken. Nach der Genehmigung des Konzeptes und seiner Finanzierung durch die Landesregierung wurden die Grundlagen für den Bau mehrerer Recyclinghöfe, Wertstoffzentren, Bioabfallverwertungsanlagen und Umladestationen für Abfälle sowie von vier Abfalldeponien und einer thermischen Abfallverbrennungsanlage geschaffen. Die erste Fassung des Konzeptes wurde 1993 genehmigt und anschließend durch den Beschluss Nr. 285 der Landesregierung vom 1. Februar 1999 [63] geändert, bevor 2005 wichtige Aktualisierungen (Beschluss der Landesregierung Nr. 2594 vom 18. Juli 2005 [64]) im Hinblick auf die Bewirtschaftung von Hausabfällen bis 2030 mit Angaben der Einzugsgebieten (z.B. Ziele für die getrennte Sammlung auf Bezirksebene) und der erforderlichen Behandlungsanlagen vorgenommen wurden. Im Jahr 2016 hat die Landesregierung die dritte Überarbeitung genehmigt (Beschluss der Landesregierung Nr. 1431 vom 20. Dezember 2016 [65]), und zwar im Hinblick auf die Abfallvermeidung von Hausabfällen und die Sammlung und Verwertung von organischen Abfällen. Im Jahr 2017 wurde der Bewirtschaftungsplan für Sonderabfälle durch den Beschluss der Landesregierung Nr. 1028 vom 26. September 2017 [66] genehmigt. Die letzte Aktualisierung des Abfallbewirtschaftungskonzeptes erfolgte 2021 durch den Beschluss der Landesregierung Nr. 1139 vom 28. Dezember 2021 [67]. Die Integrationen dieser Jahre waren von grundlegender Bedeutung, um die provinziale Verordnungen zu aktualisieren und sie mit den ökologischen und kreislaforientierten Umsetzungsbemühungen der europäischen und nationalen Gesetzgebung in Einklang zu bringen. Das Konzept unterstreicht insbesondere die Bedeutung regelmäßiger Bewertungen von Abfallbewirtschaftungskonzepten bzw. -plänen, wie sie von der EU-Abfallrahmenrichtlinie gefordert werden.

Von genauso großer Wichtigkeit ist das Landesgesetz Nr. 4 vom 26. Mai 2006 [68] über die Abfallbewirtschaftung und den Bodenschutz (im Rahmen des Titels XXIV der Landesgesetzgebung „Landschaftsschutz und Umweltschutz“, Abschnitt A „Bodenverschmutzung und Abfallbeseitigung“), da es sich auf Themen konzentriert, die dem Konzept der KW sehr nahe kommen. So heißt es beispielsweise in Artikel 2: *„Die Abfallbewirtschaftung ist im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit so zu gestalten, dass durch geeignete Herstellungs-, Bearbeitungs-, Verarbeitungs- und Vertriebsformen, durch die Entwicklung geeigneter Arten und Formen von Produkten und durch ein abfallvermeidungsbewusstes Verhalten der Letztverbraucher die Mengen und die Schadstoffgehalte der Abfälle verringert und die Ressourcen geschont werden. Zudem müssen die Abfälle so verwertet oder beseitigt werden, dass die menschliche Gesundheit nicht gefährdet wird, und es dürfen keine Verfahren oder Methoden verwendet werden, welche die Umwelt schädigen können.“* In Artikel 5 desselben Gesetzes heißt es, dass die Landesagentur für Umwelt die *„Arten der Verwertung von Abfällen, um Sekundärrohstoffe, Brennstoffe und Produkte zu erhalten“* bestimmen kann, und *„die Abfallbestimmungen werden angewandt bis zur vollständigen Durchführung der Verwertungsverfahren (...) diese ist erfolgt, wenn keine weiteren Behandlungen notwendig sind, damit die erhaltenen Substanzen, Materialien und Gegenstände als Sekundärrohstoffe, Brennstoffe oder Produkte in einem Industrieprozess verwendet oder gehandelt werden können; dies unter der Voraussetzung, dass der Besitzer sich ihrer nicht entledigt und nicht die Absicht oder die Pflicht hat, sich ihrer zu entledigen“*. Schließlich sieht Artikel 31 vor, dass die Landesregierung *„eigene Abkommen mit*

Körperschaften, Unternehmen oder Verbänden" abschließen kann, "um besondere Sektorenpläne in den Bereichen Abfallverminderung, Abfallverwertung und Optimierung der Abfallflüsse durchzuführen". Die Abkommen regeln u.a. die Sammlung, den Transport, den Handel und die Überprüfung der Eigenschaften von Abfällen sowie die Rückverfolgbarkeit bis zum Eingang der Anlage, in der sie effektiv verwendet werden. Weitere Angaben finden sich im Beschluss der Landesregierung Nr. 513 vom 14. Juli 2020 [69] über Technische Richtlinien für die Errichtung und den Betrieb von Recyclinghöfen. Insbesondere Artikel 15 beschreibt die Möglichkeit der Wiederverwendung bestimmter Güter in den Recyclinghöfen u.a. durch die Vorsehung von speziellen Bereichen für die Lagerung von Abfällen, die zur Vorbereitung für eine Wiederverwendung bestimmt sind, sowie für die Sammlung von wiederverwendbaren Gütern; oder die Ausweisung von Räumlichkeiten, die der Abfallvermeidung dienen, mit dem Ziel, die Sammlung von Gütern zu ermöglichen, die für eine Wiederverwendung bestimmt werden können.

Die Abfälle im Bausektor

Der Bausektor in Südtirol ist in Bezug auf die Abfallbewirtschaftung, insbesondere bei Bau- und Abbruchabfällen, durch eine Reihe von spezifischen Rechtsnormen geregelt. Ein Beispiel dafür ist das Dekret des Landeshauptmanns Nr. 69 vom 16. Dezember 1999 [70] mit dem Titel „Durchführungsverordnung zur Wiederverwertung von Baurestmassen und die Qualität von Recycling-Baustoffen“. Zu den Hauptzielen des Dekrets gehören die Förderung des Recyclings von Baustoffen, die Verringerung der zu deponierenden Abfälle, die Verbesserung der Ressourceneffizienz und der Schutz der Umwelt durch Verfahren und Methoden für die Verwertung von Ressourcen, die auch technische Normen, Qualitätsanforderungen und Monitoringverfahren umfassen. So werden beispielsweise die chemische Zusammensetzung, die mechanische Festigkeit, die Langlebigkeit und andere relevante Parameter der Materialien bewertet, um ihre Sicherheit und Zuverlässigkeit beim eventuellen späteren Recycling zu gewährleisten. Das Dekret legt auch die Verantwortlichkeiten der beteiligten Akteure fest, einschließlich der Herstellenden, Transportierenden und Betreibenden von Recyclinganlagen, indem es Inspektions- und Monitoringverfahren sowie finanzielle Sanktionen im Falle von Verstößen definiert. Ein neuerer Beschluss, der detaillierter auf die technischen Besonderheiten eingeht, die bei Bau- und Abbruchabfällen zu berücksichtigen sind, ist der Beschluss der Landesregierung Nr. 398/2017 [71], in dem Richtlinien für die Qualität und Gebrauch von Recyclingbaustoffen vorgeschlagen werden. In Südtirol werden dadurch folgende Anwendungsbereiche für Aggregate aus Recyclingmaterial definiert: (i) Allgemeiner Tiefbau, (ii) Straßenbau, (iii) Deponietechnik und (iv) Hochbau. Ziel dieses Dokuments ist es, die geforderten Qualitätsmerkmale von Recycling-Baustoffen (aus Bau- oder Abbruchmaterial) im Hinblick auf Umweltverträglichkeit und Baupraktiken zu beschreiben. Es legt fest, dass diese Materialien optimal und nach einheitlichen Qualitätsstandards eingesetzt werden müssen, die den gleichen Anforderungen wie bei konventionellen Baustoffen entsprechen. Darüber hinaus müssen die für das Recycling verantwortlichen Unternehmen eine eigene Qualitäts- und Umweltverträglichkeitsprüfung der recycelten Materialien durchführen, die Informationen über die Herkunft, die Verarbeitung, die durchgeführten Prüfungen und die Korrekturmaßnahmen für mögliche Mängel enthält. Recycling-Baustoffe werden hauptsächlich in folgende drei Materialtypen unterteilt: recyceltes Asphaltgranulat (Produkt aus dem Recycling des Asphalts aus dem Straßenaufbruch), recyceltes Betongranulat (Produkt aus dem Recycling des Betons aus dem Bausektor und Tiefbausektor) und recyceltes Mischgranulat (Produkt aus dem Recycling von Materialien aus dem Bausektor und Tiefbausektor, wobei alle anderen Fraktionen in einer einzigen Mischfraktion zusammengelegt werden, die aus Ziegeln,

Mörtel, Beton und Naturstein besteht). Ähnlich ist der Beschluss der Landesregierung vom 27/09/2016, Nr. 1030 [72], in dem fünf Anwendungsbereiche hervorgehoben werden, in denen Recycling-Baustoffe eingesetzt werden können (allgemeiner Tiefbau, Straßenbau, Deponietechnik, Baustoffindustrie und Hochbau) und fünf damit verbundene Arten der Anwendung (beispielsweise für den Sportplatzbau, den Straßenunterbau, den Wegebau, in der Baustoffindustrie für Beton-, Mauer-, und Formsteine, oder als Zuschlag für Estrich). Darüber hinaus werden drei Materialkategorien von Baurestmassen (Aushubmaterial, Straßenaufbruch und Material aus Abbrüchen im Hoch- und Tiefbau) und ihre Klassifizierung gemäß dem Europäischen Abfallkatalog (EAK) angegeben. Es ist zu beachten, dass organische Materialien wie Holz nach den Vorgaben der Provinzen nicht als Baurestmasse bzw. Recycling-Baustoffe gelten. Unternehmen können jedoch Autorisierungen für die Behandlung und das Recycling bestimmter Materialien, einschließlich Sondermüll und gefährlicher Abfälle, beantragen, vorbehaltlich der Genehmigung durch das Amt für Abfallwirtschaft der Landesagentur für Umwelt- und Klimaschutz. Schließlich enthält das Landesgesetz Nr. 9 vom 10. Juli 2018 [73], über den Schutz und die Aufwertung der Landschaft, die Raumentwicklung und die Einschränkung des Bodenverbrauchs, einige wichtige Erkenntnisse zur Integration neuer Bestimmungen für die KW in Südtirol, insbesondere in Bezug auf die Renovierung von Gebäuden und die Anforderungen an die Energieeffizienz. So wird in Artikel 2 festgelegt, dass das Gesetz u.a. die Aufwertung der bestehenden Bausubstanz und die Förderung der Siedlungsqualität, die effiziente Nutzung bereits bebauter Flächen und die Einschränkung des Verbrauchs von Boden und Energie gewährleistet, wobei die Nutzung erneuerbarer Energiequellen gefördert wird. In Artikel 17 Absatz 6c werden hingegen die Anwendungsrichtlinien für die Förderung der Wiederbelebung der Ortskerne und zur städtebaulichen Umgestaltung und baulichen Sanierung, auch durch die Steigerung der Energieeffizienz und der architektonischen Qualität, festgelegt. Die Investition der Gemeinden in die Sanierung und Wiederverwendung von Gebäuden wird durch Artikel 19 Absatz 7 geregelt. Dieser Artikel verpflichtet die Gemeinde, einen Teil der durch die Anwendung dieses Artikels entstehenden Erhöhung des Marktwerts der betroffenen Liegenschaften (Planungsmehrwert) einzuziehen und zu verwenden. Abschließend wird in Artikel 21 Absatz 3c auf die Wichtigkeit hingewiesen, dass *„die technischen Merkmale und die Zertifizierungs- und Überwachungsmaßnahmen in Zusammenhang mit der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und in Hinsicht auf die Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen festgelegt werden (...)“*. Aus diesem Grund sind auch *„städtebauliche Anreize in Form von zusätzlichen Baumöglichkeiten vorgesehen, damit nicht nur die Mindestanforderungen erfüllt, sondern auch höhere Leistungen erbracht werden, sei es bei Energieeinsparungsmaßnahmen an der bestehenden Bausubstanz sei es bei neuen Gebäuden“*.

KlimaHaus: das Energieausweis-System Südtirols

Die Energieausweis-Methode „KlimaHaus“ ist ein Meilenstein auf dem Gebiet des nachhaltigen Wohnens und der Energieeffizienz, insbesondere in Südtirol. 2002 gegründet, entwickelte die Agentur für Energie Südtirol - KlimaHaus, eine öffentliche Einrichtung, die energieeffiziente und umweltfreundliche Gebäude fördern will, den Energieausweis KlimaHaus. Das KlimaHaus-System wurde als Reaktion auf das wachsende Bewusstsein für die Notwendigkeit einer Reduzierung des Energieverbrauchs von Gebäuden und der damit verbundenen Treibhausgasemissionen eingeführt. Das Ziel von KlimaHaus ist es, den Energiebedarf von Wohngebäuden aus fossilen Brennstoffen durch eine bessere Isolierung der Gebäude und die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien (z.B. Solarenergie) zu senken und damit einen Beitrag zur Abschwächung der Auswirkungen des Klimawandels zu leisten [74]. Das

Energieausweis-System ist, unter anderem, unterteilt in KlimaHaus Gold, KlimaHaus A, KlimaHaus B und KlimaHaus C. Klasse A impliziert einen Heizenergiebedarf von weniger als 30 kWh/m²a, während dieser Wert für Klasse B weniger als 50 kWh/m²a beträgt und für Klasse C weniger als 70 kWh/m²a. Es gibt auch die Klassen D – G für bestehende, ältere Gebäude. Die Klasse Gold ist die Klasse für die energieeffizientesten Gebäude mit einem Wert von weniger als 10 kWh/m²a [75].

Zu den grundlegenden technischen Anforderungen der KlimaHaus-Methode gehört der Fokus auf bioklimatisches Design, das darauf abzielt, die Nutzung natürlicher Ressourcen wie Sonne und Wind zu maximieren, um den Energieverbrauch für Heizung, Kühlung und Beleuchtung in Gebäuden zu minimieren. Darüber hinaus werden strenge Kriterien für die Wärmedämmung der Gebäudehülle, die Effizienz von Heiz- und Kühlsystemen und die Nutzung erneuerbarer Energiequellen wie Solarthermie und Fotovoltaik festgelegt. Die Effizienz der Gebäudehülle gibt insbesondere Aufschluss über die energetische Qualität der Planungsaspekte, welche die Energieverschwendung minimieren. Genauso relevant ist auch die Gesamtqualität und die Auswahl der Anlagen. KlimaHaus-zertifizierte Gebäude müssen bestimmte Grenzwerte für den Energieverbrauch einhalten und mit hocheffizienten Systemen wie Wärmepumpen, Solarthermie- und Fotovoltaikanlagen und kontrollierten Wohnraumlüftungs-Systemen ausgestattet sein. Um den Energieausweis zu erhalten, muss eine Reihe von Kontrollen und Inspektionen durch qualifizierte Sachverständige durchgeführt werden. Dabei wird eine detaillierte Analyse der Energieleistung des Gebäudes vorgenommen, bei der Faktoren wie Wärmedämmung, Ausrichtung, Kompaktheit und Effizienz der Anlagen berücksichtigt werden. Darüber hinaus ist eine vollständige technische Dokumentation erforderlich, um die Einhaltung der Anforderungen des KlimaHaus-Systems zu bescheinigen. Dazu gehört auch die Umweltverträglichkeit des Gebäudes, welche die Wahl von Materialien und Systemen berücksichtigt, die wenig Energie verbrauchen, nicht gesundheitsschädlich sind und eine geringe Umweltbelastung aufweisen.

Auf rechtlicher Ebene stützt sich KlimaHaus auf eine Reihe von Richtlinien und Verordnungen, welche die technischen und leistungsbezogenen Anforderungen für die Zertifizierung festlegen. Diese Standards wurden in Übereinstimmung mit den europäischen Richtlinien zur Energieeffizienz von Gebäuden entwickelt, insbesondere der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments [52], und werden regelmäßig aktualisiert, um technologische Fortschritte und bewährte Verfahren im Bereich des nachhaltigen Bauens zu berücksichtigen. Unter den wichtigsten regionalen Rechtsnormen ist das Dekret des Landeshauptmanns Nr. 16 vom 20. April 2020 [76] zu erwähnen. Dieses Dekret setzt die wichtigsten europäischen Richtlinien über die Energieeffizienz von Gebäuden um und legt spezifische technische Aspekte fest, wie z. B.: Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von alten und neuen Gebäuden und die Methoden zu ihrer Berechnung, die Einführung von Inspektions- und Kontrollsystemen und die Nutzung erneuerbarer Energien in Gebäuden. Darüber hinaus befassen sich die Artikel 6 und 7 mit den Kriterien und Verfahren für die Energiezertifizierung von Gebäuden, wobei ausdrücklich auf das „KlimaHaus“-System verwiesen wird. Artikel 6 legt fest, dass der KlimaHaus-Ausweis für alle neuen Gebäude und für alle Gebäude, die einer größeren Renovierung unterzogen werden, erforderlich ist und dass er von der Agentur für Energie Südtirol - KlimaHaus ausgestellt werden muss. Außerdem muss der Bauherr gegenüber der zuständigen Baubehörde erklären, dass er die Unterlagen für die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz vor Beginn der Arbeiten an diese Agentur übermittelt. Sobald alle erforderlichen Unterlagen vorliegen, wird der KlimaHaus-Ausweis innerhalb von 60 Tagen nach Eingang der vom Bauherrn vorzulegenden Erklärung über den Abschluss der Arbeiten ausgestellt. Schließlich wird in Artikel 7 hervorgehoben, dass der für das gesamte Gebäude ausgestellte KlimaHaus-Ausweis auch für die einzelnen Wohneinheiten desselben Gebäudes für eine Dauer von zehn Jahren ab dem Ausstellungsdatum gültig ist; der Ausweis muss jedes

Mal aktualisiert werden, wenn sich die Gesamtenergieeffizienz durch einen Eingriff wesentlich ändert.

Aus Sicht der KW bietet KlimaHaus zahlreiche Möglichkeiten, die Nachhaltigkeit zu fördern und die Umweltauswirkungen von Gebäuden in Südtirol zu reduzieren. Indem beispielsweise die Verwendung von recycelten oder umweltfreundlichen Baumaterialien wie Holz aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern oder ökologischen Dämmstoffen gefördert wird, trägt KlimaHaus dazu bei, den Abbau natürlicher Ressourcen und die Produktion von Bauabfällen zu verringern. Darüber hinaus trägt die Förderung von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien zur Verringerung der Treibhausgasemissionen und zum verantwortungsvollen Umgang mit den verfügbaren Energieressourcen bei. In den ersten 10 Jahren (2002-2012) der Umsetzung des Modells wurden in Südtirol fast 6.000 Gebäude zertifiziert, von denen 55% Neubauten und 45% Sanierungen waren [77]. Das vom Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU) im Auftrag der Südtiroler Landesagentur für Umwelt und Klimaschutz durchgeführte Forschungsprojekt „Verwertung des Abbruchmaterials von KlimaHäusern“ (2007-2013) untersuchte die Materialströme im Zusammenhang mit energetischen KlimaHaus-Sanierungen und die Bewertung der Verwertungspraktiken der Bau- und Abbruchabfälle. Die Analyse zeigt die Art der Materialien, die am häufigsten beim Bau von KlimaHäusern verwendet werden (die höheren Standards folgen als typische oder konventionelle Bauten), und offenbart ein großes Potenzial für den verstärkten Einsatz von Bioprodukten und die Verbesserung der Planung sowie Bau- und Abbruchaktivitäten in Richtung KW. Der Anteil der Dämmstoffe lag bei 24% für expandiertes Polystyrol (EPS) und 11% für Polystyrol, während Holzfaserplatten etwa 20% und Kork 5% ausmachten [78].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der KlimaHaus-Energieausweis ein wichtiges Instrument zur Förderung der Nachhaltigkeit und Energieeffizienz von Gebäuden in Südtirol ist. Durch eine Kombination aus strengen technischen Standards, Weiterbildung und Sensibilisierung der Öffentlichkeit trägt KlimaHaus zur Schaffung einer nachhaltigen Baukultur und zur Verringerung der Umweltauswirkungen der bebauten Umwelt bei.

6. SWOT-Analyse

Der Südtiroler Kontext weist ein erhebliches Potenzial für die Umsetzung von Kreislaufwirtschaftsstrategien im Bausektor auf, sowohl aus politisch-regulatorischer als auch aus technisch-wirtschaftlicher Sicht. Diese Möglichkeiten werden jedoch noch nicht vollständig genutzt, da es an klaren Informationen mangelt, die ein umfassenderes Bild davon ermöglichen, wie Materialien im lokalen Bausektor verwendet werden und welche Einschränkungen und Vorteile sie haben. Dennoch wird dieses Potenzial nicht vollständig genutzt, da klare und umfassende Informationen fehlen. Dies erschwert die systematische Analyse der Materialflüsse, deren Einsatz und die Identifikation von Stärken, Schwächen, Risiken und Chancen im lokalen Bauwesen. Diese Informationen können jedoch durch eine strukturierte Diskussion mit Fachleuten des Sektors gewonnen werden, die einen Austausch von Wissen und Perspektiven ermöglicht: Ein solcher Austausch bietet die Möglichkeit, bestehende Elemente und Daten systematisch zusammenzuführen, die bislang unzureichend dokumentiert oder den Entscheidungstragenden nur teilweise zugänglich sind.

Dementsprechend wurde durch eine Reihe gezielter Interviews mit Technikern, Fachleuten und Unternehmern des Bausektors eine SWOT-Analyse erstellt: Dabei handelt es sich um eine quantitative Methodik, die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken berücksichtigt, in diesem Fall von einzelnen im Bauwesen verwendeten Materialien. Diese SWOT-Analyse hat sich nicht nur bei der Bewertung der Leistung einzelner Unternehmen und Märkte [79], sondern auch in der KW-Forschung durchgesetzt [80], [81], [82]. Die SWOT-Analyse zeichnet ein klares Bild der Triebkräfte (Stärken und Chancen) und der potenziellen Hindernisse (Schwächen und Risiken), um das Bewusstsein dafür zu schärfen, wie die ersteren ausgeschöpft und die letzteren minimiert werden können [83]. Stärken und Schwächen sind interne Faktoren, während Chancen und Risiken externe Faktoren sind. In diesem speziellen Fall hängen die internen Faktoren von den Materialien selbst ab und damit von ihren (positiven oder negativen) Eigenschaften in Bezug auf Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit. Externe Faktoren hingegen sind Bedingungen, die von der Umwelt, in diesem Fall von Gesetzgebern und anderen Stakeholdern, geschaffen werden und die sich nachteilig oder vorteilhaft auf die effizientere Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit eines Materials in Bezug auf die KW auswirken.

Im Hinblick auf die KW im Bausektor ermöglicht die SWOT-Analyse, treibende Kräfte im Bereich der KW im Bausektor zu identifizieren und deren Potenzial zur Überwindung bestehender Hindernisse zu bewerten. Sie ermöglicht eine systematische Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Faktoren, welche die Verbreitung von Recycling- und Wiederverwendungspraktiken beeinflussen [84], [85], um eine Grundlage für die Definition konkreter Maßnahmen und wirksamer politischer Strategien zur Erreichung dieses Ziels zu haben [86], [87]. Darüber hinaus liefert diese Art von Analyse nützliche Informationen darüber, wie eine Strategie zur Umsetzung der KW im Bausektor in den verschiedenen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes und seiner Komponentenmaterialien bewertet und angegangen werden kann [88].

6.1 Holz

Holz ist seit Jahrzehnten ein wichtiger Bestandteil von Bauprojekten und bietet eine Reihe von architektonischen Eigenschaften, von der strukturellen Stabilität bis zur Wärmedämmung und Ästhetik. Aufgrund seiner Vielseitigkeit und seiner erneuerbaren Natur ist Holz angesichts der jüngsten Bemühungen um nachhaltige und umweltfreundliche Bautechniken zu einer immer beliebteren Ressource geworden [89]. Wie andere Baumaterialien hat Holz jedoch Stärken und Schwächen, Chancen und Risiken. Diese SWOT-Analyse zeigt daher die Potenziale und Hindernisse von Holz in der heutigen Bauindustrie auf.

Stärken

Holz ist in Südtirol seit Generationen ein unverzichtbares Baumaterial und hat in den letzten Jahren aufgrund seiner Nachhaltigkeit und ökologischen Vorteile zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die umfassende Nutzung von Nebenprodukten aus Sägewerken und der Holzverarbeitung für energetische Zwecke maximiert die Ressourceneffizienz und unterstützt die KW. Darüber hinaus wird die Verwendung von Holz im Bauwesen mit geringeren Treibhausgasemissionen in Verbindung gebracht [90], da Holz ein Kohlenstoffdioxidspeicher ist, d.h. es speichert atmosphärisches Kohlendioxid (da das CO₂ in der Holzstruktur gebunden bleibt), wodurch die Auswirkungen des Klimawandels abgeschwächt und weniger klimafreundliche Baumaterialien ersetzt werden. Holz hat seit langem einen Wettbewerbsvorteil im Bausektor, insbesondere wenn es darum geht, energieeffizientere Gebäude zu schaffen. Außerdem eignet sich Holz aufgrund seines geringeren spezifischen Gewichts im Vergleich zu Beton besser für die Verdichtung von Stadtgebieten oder die Aufstockung von Gebäuden aus statischen Gründen. Die Wirksamkeit des Holzes bei der Gewährleistung dieser Eigenschaften hängt jedoch mehr von der Planungs- und Entwurfsphase ab als von den natürlichen Eigenschaften des Holzes selbst. Dies unterstreicht die Bedeutung gut durchdachter architektonischer und technischer Konzepte, die den Einsatz von Holz maximieren und seine inhärenten Qualitäten wie strukturelle Festigkeit, Wärme- und Schalldämmung sowie die Vorteile der „Holzvorfertigung“, wie beispielsweise die Verkürzung der Dauer von städtischen Baustellen, nutzen. Darüber hinaus gibt es einen zunehmenden Trend zur nachhaltigen Verwendung von Holz im Bauwesen, der sich in der Verwendung von Holznebenprodukten wie Zellulose und Holzfasern zur Dämmung widerspiegelt [81]. Dies verbessert die Ökobilanz von Holzelementen im Bauwesen und erhöht gleichzeitig die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes [91]. Ein weiterer wichtiger Faktor, der Holz zu einem attraktiven Baumaterial macht, ist seine Langlebigkeit. Durch die Verlängerung des Lebenszyklus kann der Materialverbrauch erheblich gesenkt werden, was zu einer nachhaltigeren und ressourceneffizienteren sowie klimafreundlicheren Bauwirtschaft führt.

Schwächen

Ein negativer Aspekt von Holz im Bauwesen ist das Problem der technischen Konformität: Wenn Holz bereits verwendet wurde, kann es nach dem Recycling aus rechtlichen und sicherheitstechnischen Gründen oft nicht für die Wiederverwendung in einem neuen Gebäude zertifiziert werden. Denn Eigenschaften wie Festigkeit oder Wärmedurchlässigkeit können bei einem recycelten Holzprodukt anders sein als bei dem ursprünglichen Produkt. Dies bedeutet, dass hohe Zertifizierungsanforderungen und die Einhaltung der geltenden Normen für Baumaterialien die Wiederverwendung von recycelten Sekundärmaterialien im Bausektor erschweren. Ein weiteres Problem, ist die äußerst schwierige Datenbeschaffung über die

Holzströme in Südtirol, die eine Abschätzung des Marktpotenzials von Recyclingholz erschwert: Bislang ist unklar, wieviel Abbruchholz in Südtirol verwendet wird, was einerseits die Erstellung von Statistiken und Strategien für die Zukunft erschwert, andererseits sind die Unternehmen nicht in der Lage, die Ressourcen und Informationen bereitzustellen, die notwendig wären, um Holz als Sekundärrohstoff wieder auf den Markt zu bringen. Darüber hinaus ist Südtirol derzeit nicht wettbewerbsfähig, da eine kritische Mindestmenge an Holz (insbesondere Abbruchholz) nicht zur Verfügung steht: Dieser Umstand und die Tatsache, dass die Holzindustrie im Allgemeinen durch hohe Verarbeitungskosten gekennzeichnet ist [92], erlauben es nicht, einen größeren und besser strukturierten Markt zu schaffen, der auch große Anlagen für die Lagerung und Verarbeitung von Rest- und Abbruchholz erfordern würde. Angesichts des Fehlens eines umfassenden Geschäftsmodells für die Verarbeitung oder Wiederverwendung von Sägerestholz oder Holzabfällen landen diese Materialien in Verarbeitungsbetrieben jenseits der Grenzen der Region Trentino-Südtirol, wo sie als Holzplatten oder Dämmstoffe für einen zweiten Lebenszyklus weiterverarbeitet werden. Auch der Transport von Abfällen aus der Holzverarbeitenden Industrie ist nicht effizient, da er sich aufgrund des geringen spezifischen Gewichts im Vergleich zum großen Volumen des Produkts nur über kurze Strecken lohnt. Weitere Hindernisse im Zusammenhang mit technischen Problemen ergeben sich beispielsweise aus der Kombination von Holz mit anderen Materialien - insbesondere Chemikalien, Klebstoffen und Metallen, die aufgrund ihrer Zusammensetzung sowohl die Sortierung als auch die Verwendung von recyceltem Holz als Brennstoff für die Fernwärmeversorgung erschweren. Dies bedeutet, dass ein erheblicher Teil des Holzes aus dem Bausektor nicht recycelt werden kann, da es seit seiner ersten Verwendung bereits durch chemische Behandlungsmaßnahmen verunreinigt wurde. Es gibt auch technische Probleme in Bezug auf Kosten, Qualität und Leistung, da Holz nicht immer das am besten geeignete Material ist: Es eignet sich beispielsweise nicht für Bereiche, in denen ein hohes Maß an Beleuchtung erforderlich ist (wie in Industrielagern). Die häufigste Verwendung von Holz als Sekundärmaterial sind derzeit Hackschnitzel zum Heizen und nicht als Sekundärrohstoff im Bauwesen (im Gegensatz zu Recyclingbeton).

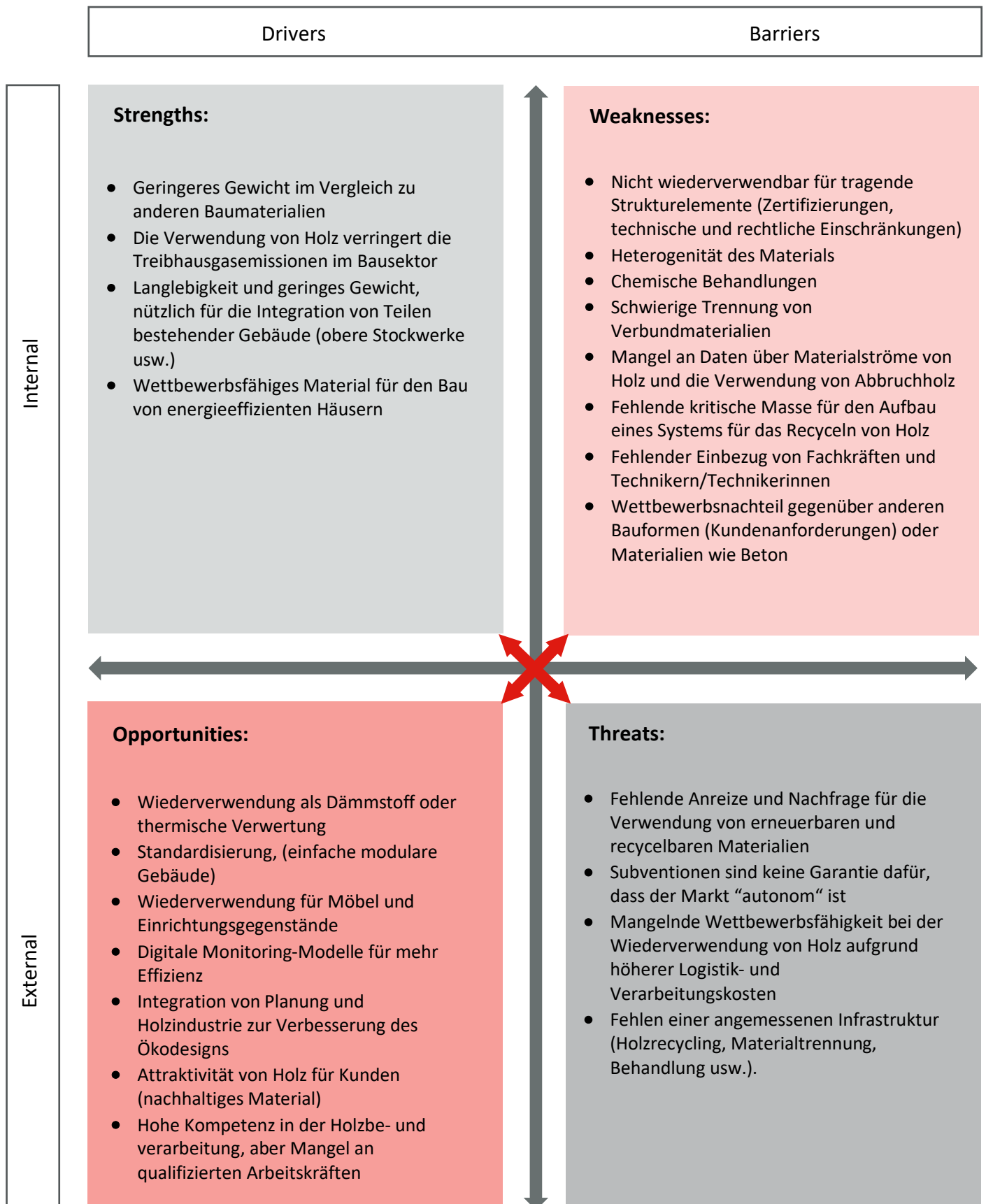
Chancen

Holz hat gegenüber anderen Baumaterialien den Vorteil, dass es leichter ist und für bestimmte Zwecke vielseitiger eingesetzt werden kann, z.B. in oberen Stockwerken oder als Zusatz zu neuen Teilen bestehender Gebäude, bei denen ein zu hohes Gewicht zu statischen Problemen führen könnte. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Holz für modulare Konstruktionen zu verwenden [93], [94], auch wenn dies aufgrund des hohen Maßes an individueller Gestaltung von Gebäuden (vor allem im Privat- und Wohnbereich) und der gesetzlichen Anforderungen an die Kubatur nicht in standardisierter Form möglich ist. Der Bau von modularen Holzgebäuden wäre nur für Standardbauten wie Schulen, Kindergärten und Studentenwohnheime machbar. Auch die Wiederverwendung von Bauholz für die Herstellung von Möbeln und Einrichtungsgegenständen ist möglich, aber diese Art der Nutzung von Holzabfällen ist noch ein Nischenmarkt. Größere Investitionen in die Erforschung der Kombination von Baumaterialien könnten die Zirkularität, die Wiederverwendung und das Recycling von Holz fördern. Dies muss jedoch nicht nur mit einer Planung einhergehen, die eine einfache Trennung des Holzes ermöglicht, sondern auch mit der Einbeziehung von Planern/Planerinnen, Architekten/Architektinnen und Technikern/Technikerinnen, die in allen Phasen der Nutzung (von der Gewinnung bis zum Rückbau) über die entsprechenden Kenntnisse des Materials verfügen. Würden sich Planer/Planerinnen, Architekten/Architektinnen und Dienstleistende besser auf die Anforderungen der KW und die Vorgaben des *Ökodesigns* einstellen, wäre dies eine Chance für die diversifizierte Nutzung von Holzwerkstoffen (z.B. Abbruchholz, primäre

Holzwerkstoffe und Holzwerkstoffe in Kombination mit einer Vielzahl anderer Materialien). Neben möglichen wirtschaftlichen Anreizen könnte eine stärkere Beteiligung von Unternehmen und Fachleuten auch durch Regelungen gefördert werden, die die Zusammenarbeit und den Wissensaustausch zwischen den Akteuren des Bausektors und der Holzindustrie unterstützen. Für Südtirol kann die Unterstützung einer KW im Bausektor eine Chance darstellen, da die meisten Unternehmen klein sind und sich daher besser auf diesen Bereich spezialisieren können. Ein zu berücksichtigender Vorteil ist auch die Attraktivität für Kunden, die sich zunehmend für Holz als Baumaterial entscheiden, sowohl aus ästhetischen Gründen als auch wegen seiner geringen Umweltbelastung [95]. Außerdem haben viele einheimische Unternehmen bei ihren Bauprojekten im Ausland bewiesen, dass sie über Kapazitäten und Erfahrungen im Holzbau verfügen. Schließlich sind einige digitale Modelle, die bereits von vielen Südtiroler Unternehmen verwendet werden, für eine größere Effizienz im Sektor nützlich, um die Verwendung von Materialien zu überwachen: ein Beispiel ist das *Building Information Modelling* (BIM), eine Methode zur Erstellung eines digitalen Modells, das Informationen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes (vom ersten Entwurf bis zum Abbruch) enthalten kann. Diese Methode wurde bereits für Studien im Zusammenhang mit der Verwendung von Holz im Bauwesen verwendet [96].

Risiken

Wie bereits erwähnt, besteht ein großes Risiko für Holz im Bausektor in seiner mangelnden Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Materialien, genauso bestehen Hindernisse für die wirtschaftliche Durchführbarkeit der Förderung einer KW für Holz, insbesondere aufgrund der hohen Kosten, mit denen viele kleine und mittlere Unternehmen konfrontiert wären. Erstens ist die Verarbeitung arbeitsintensiv, insbesondere die Sortier-, Trenn- und Verarbeitungsschritte für Chemikalien und angewandte Materialien wie Leime und Farben. Außerdem mangelt es in Südtirol an logistischer Infrastruktur für die Sammlung und Verarbeitung von Rest- und Abbruchholz, wobei auch die Transportkosten berücksichtigt werden müssen. In diesem Zusammenhang wird diskutiert, ob Subventionen und öffentliche Förderprogramme eingeführt werden sollten, um die KW im Holzsektor zu unterstützen: Während solche Maßnahmen in der Anfangsphase eines Übergangs zu KW nützlich sein können, muss eine langfristige Strategie die Bildung eines Marktes für das Recycling und die Wiederverwendung von Holz ermöglichen.



Matchmaking

Die größten kritischen Punkte in Bezug auf die Erhöhung der Kreislauffähigkeit von Holz im Bausektor in Südtirol liegen in der wirtschaftlichen, infrastrukturellen und technischen Machbarkeit der Verwendung dieses Materials sowie im derzeitigen Mangel an Informationen und Daten, die einen Austausch von Wissen und Know-how in diesem Bereich ermöglichen könnten. Es haben sich jedoch auch konkrete Möglichkeiten zur Verbesserung der derzeitigen Situation durch Vorteile und Chancen herauskristallisiert, die sich aus Faktoren wie den technischen Eigenschaften von Holz und Digitalisierungsprozessen ergeben können. Basierend auf den Ergebnissen der SWOT-Analyse, wie sie in der folgenden Tabelle beschrieben sind, werden die wichtigsten Schwächen der Holzkreislaufwirtschaft mit den Chancen und Stärken des Werkstoffs selbst verbunden. Ziel dieses Ansatzes ist es, zu verstehen, wie die kritischsten und problematischsten Aspekte durch die Anwendung der in der Diskussion mit Experten/Expertinnen und Akteuren/Akteurinnen des Sektors gefundenen Vorteile minimiert werden können.

Schwäche bzw. Risiko	Stärke bzw. Chance, um den Schwächen bzw. Risiken zu begegnen
Derzeit fehlt es an Daten über die Materialströme von Holz und Abbruchholz.	Digitale Werkzeuge (z.B. BIM) können dabei helfen, die Holzmengen im Bauwesen sowie das Angebot und die Nachfrage nach dem Material abzuschätzen und zu modellieren.
In Südtirol gibt es keine ausreichende kritische Masse an recyceltem Holz, um einen wettbewerbsfähigen Markt zu schaffen.	Die Attraktivität von Holz als nachhaltiger Werkstoff, insbesondere für die Konsumenten/Konsumentinnen, kann genutzt und gefördert werden, um die Nachfrage nach recyceltem Material zu steigern.
	Die Zunahme standardisierter Konstruktionen, z.B. Kindergärten oder öffentliche Gebäude, die mit recycelten Holzmodulen und -platten gebaut werden, könnte zu einem Anstieg der Nachfrage nach diesem Material führen.
Die Abfallbehandlung und -trennung von behandeltem Holz in Kombination mit anderen Materialien ist sowohl technisch als auch aufgrund der hohen Verarbeitungskosten schwierig.	Investitionen in innovative Bauweisen, die eine effizientere Demontage nach dem Ökodesign-Modell ermöglichen, können sowohl die Nachfrage nach recyceltem Holz steigern als auch die Entsorgung und Wiederverwendung von Holzmaterialien erleichtern.
Die technischen Unterschiede, die sich aus den verschiedenen Holzarten ergeben, garantieren nicht, dass dieses Material in	Neben der Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen an die Bauart und die dadurch am besten geeignete Holzart kann

jedem Fall für den Einsatz im Bauwesen geeignet ist.	das geringe Gewicht von Holz für städtebauliche Projekte genutzt werden, bei denen bestehende Gebäude integriert werden, ohne sie statisch zu belasten (z.B. beim Ausbau von Obergeschossen). Wenn die Verwendung von Holz im Bauwesen nicht möglich ist, könnten die etablierten Verwendungsmöglichkeiten von Altholz genutzt und erweitert werden, z. B. für die Schalldämmung (Platten), für die energetische Nutzung (Fernwärme) und in Nischenmärkten (Möbel und Einrichtungsgegenstände).
--	---

Obwohl es wichtig ist zu verstehen, wie die Chancen von Holz im Bausektor genutzt werden können, um die in der SWOT-Analyse aufgeworfenen Hauptprobleme anzugehen, ist es dennoch entscheidend, einige kritische Punkte zu berücksichtigen, die auf politischer Ebene diskutiert und integriert werden müssen, um die Kreislauffähigkeit dieses Materials zu verbessern.

Die Wiederverwendung von Holzverarbeitungsabfällen sowie von Holz aus Abbrucharbeiten ist aufgrund der verschiedenen Kategorien, in die dieses Material je nach seiner Behandlung, z.B. Farben, Imprägniermittel, Leim usw., fällt, problematisch. In Italien werden insgesamt zehn Kategorien für die Abgabe an Recyclinghöfe für Holzmaterialien unterschieden: drei davon sind für die Verbrennung zugelassen, sechs Kategorien betreffen Holz, das recycelt werden kann, während der Rest auf einer Deponie entsorgt werden soll [97]. Neben der Schwierigkeit, die Holzfraktion innerhalb des Abbruchmaterials soweit wie möglich zu isolieren, besteht auch die Schwierigkeit, das Holz weiter in die verschiedenen gesetzlich vorgeschriebenen Kategorien aufzuteilen.

Die energetische Verwertung von Holz ist ein Beispiel für Downcycling, da das Material die Wertschöpfungskette verlässt. Sie ist der Deponierung vorzuziehen, aber aus Sicht der KW besteht die optimale Lösung darin, so viel Material wie möglich wiederzuverwenden und zu recyceln. Dies erfordert Investitionen in ein Infrastruktursystem, das die Verarbeitung, das Recycling, die Behandlung und den Rückbau von Holzprodukten ermöglicht. Um die Bewertung solcher Investitionen zu ermöglichen, ist eine Zusammenarbeit zwischen Landesinstitutionen und Unternehmen notwendig, um eine bessere Zugänglichkeit zu Daten und Informationen zu gewährleisten und eine bessere Verfolgung der Holzströme in Südtirol zu erreichen, sowohl als Rohstoff als auch als Recyclingmaterial.

Schließlich gilt es, die hohe Kompetenz und das Know-how in der Holzverarbeitung in Südtirol durch Integration und enge Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Fachleuten des Holzsektors, von Planern/Planerinnen über Techniker/Technikerinnen bis hin zu Architekten/Architektinnen und Lieferanten/Lieferantinnen, zu nutzen, um den Werkstoff Holz im Bausektor entsprechend den Bedürfnissen und Projekten der Region effizienter einzusetzen.

6.2 Beton

Trotz der Verbreitung von Holzkonstruktionen ist Beton nach wie vor das Herzstück des Südtiroler Bausektors: von 2 Tonnen Baumaterial, die jährlich auf den Markt kommen, ist etwa 1 Tonne Beton. Seine mechanischen Eigenschaften, seine Vielseitigkeit, die Erfahrung der Unternehmen in diesem Bereich und seine Wirtschaftlichkeit machen ihn zur ersten Wahl der Planer/Planerinnen.



Abbildung 5: Beton mit grober Gesteinskörnung

Stärken:

Die meisten der für die Herstellung von Beton verwendeten Rohstoffe, mit Ausnahme von Zement, stammen aus Südtirol. Die Verwendung von Recyclingbeton spart lokale Ressourcen [98]; insbesondere Beton mit 25% recycelter Gesteinskörnung ist aus ökologischer Sicht die beste Lösung [99]. Da es sich um ein inertes Material handelt, werden Betonabfälle außerdem in dem aus Recycling-Baustoffen gewonnenen Mischgranulat (zusammen mit Ziegeln, Mörtel usw.) für Drainageaufschüttungen und Unterbauten verwendet.

Schwächen:

Der größte Teil der CO₂-Emissionen im Zusammenhang mit der Verwendung von Beton ist mit der Zementherstellung verbunden und wird durch das Recycling von Abbruchmaterial nicht beeinflusst. Die Verringerung des Rohstoffverbrauchs ist jedoch ebenfalls ein wichtiges Thema. Der Preis von Recyclingbeton kann bis zu 10% höher sein als der von Frischbeton. Zu den Faktoren, die den Preis hauptsächlich beeinflussen, gehören: die Verkaufskosten der recycelten Gesteinskörnung, der Prozentsatz der eingesetzten recycelten Gesteinskörnung, das Verhältnis von Wasser zu Zement, die Verwendung von Zement, die Verwendung zusätzlicher zementhaltiger Materialien, die Verwendung von Zusatzmitteln, die Produktions- und Installationskosten, die Transportkosten der recycelten Gesteinskörnung, die Transportkosten von Beton, Qualitätskontrollmaßnahmen, indirekte Kosten, verbindliche Vorschriften, freiwillige Richtlinien, Bevölkerungswachstum und Wirtschaftswachstum [100]. Der Aufwand für die Umwandlung von Bauabfällen in Betonzuschlagstoffe ist relativ hoch. Die Bauwirtschaft in Südtirol verbraucht jährlich etwa eine Million Kubikmeter Sand und Kies guter Qualität. Aufgrund der Knappheit dieser natürlichen Ressourcen in Südtirol werden sie jedoch bald erschöpft sein [101].

Chancen:

Die CAM (Criteri Ambientali Minimi - Mindestumweltkriterien) schreiben vor, dass Betonfertigteile, auf der Baustelle hergestellter Beton und vorgemischter Beton mit einem Anteil an wiederverwerteten oder recycelten Materialien oder Nebenprodukten von mindestens 5% des Produktgewichts hergestellt werden müssen. Dieser Anteil kann jedoch bei entsprechender Begründung durch die Planer/Planerinnen gesenkt werden. Nach Ansicht von Vertretern der Südtiroler Betonindustrie (Concrete - Beton Vereinigung Südtirol) ist der geforderte Anteil von 5% zu niedrig, um das Potenzial von Recyclingbeton voll auszuschöpfen, weshalb eine möglichst hohe Anhebung dieses Anteils gefordert wurde.

Die italienischen Vorschriften und Normen - Ministerialdekret (DM) 17/01/2018, UNI EN 206-1 und UNI EN 11104:2016 - erlauben einen maximalen Prozentsatz an recyceltem Material, der weit über dem CAM-Minimum für fast alle Arten von Beton liegt. Die folgende Tabelle zeigt die Grenzwerte, die entstehen, wenn man die drei ebengenannten Vorschriften bzw. Normen miteinander kombiniert:

	C8/10	C12/15	C16/20	C25/30	C30/37	C32/40	C35/45
X0	50%	50%	50%	30%	30%	20%	20%
XC1				30%	30%	20%	20%
XC2				30%	30%	20%	20%
XC3					30%	20%	20%
XC4						20%	20%
XS1					0%	0%	0%
XS2						0%	0%
XS3						0%	0%
XD1					20%	20%	20%
XD2						0%	0%
XD3						0%	0%
XA1					20%	20%	20%
XA2						0%	0%
XA3						0%	0%
XF1						20%	20%
XF2				0%	0%	0%	0%
XF3				0%	0%	0%	0%
XF4					0%	0%	0%

Tabelle 1: Grenzwerte für die Menge an grober recycelter Gesteinskörnung (≥ 4 mm) pro Beton-Art zur gleichzeitigen Einhaltung von Ministerialdekret (DM) 17/01/2018 [60], UNI EN 206-1 [102], UNI EN 11104:2016 [103]

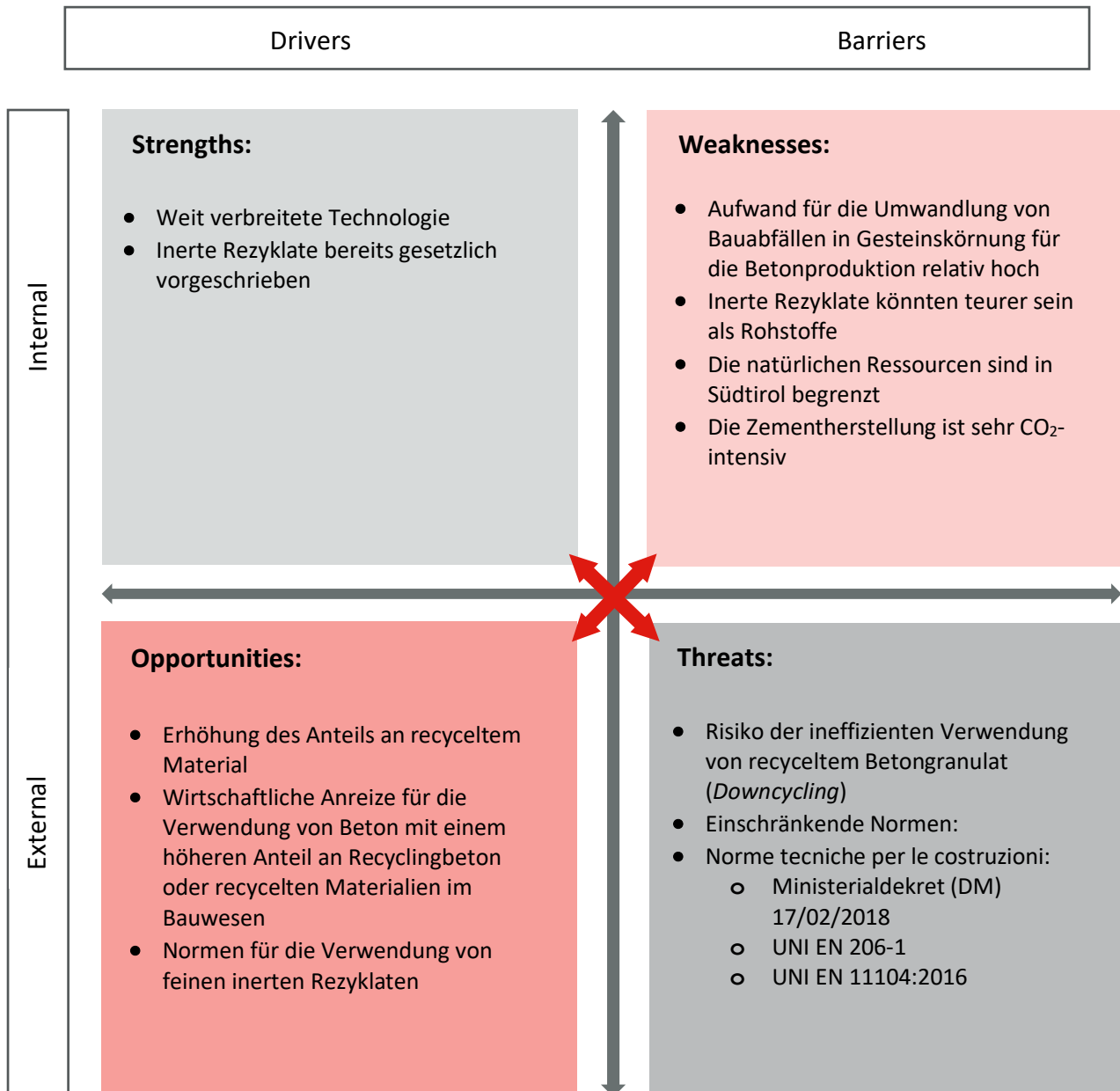
Um das Recyclingpotenzial dieses Materials voll auszuschöpfen, könnte ein wirtschaftlicher Anreiz für die Verwendung von inerten Rezyklaten oder eine strengere Verpflichtung dazu sinnvoll sein.

In der Schweiz zum Beispiel sind die technischen Normen in dieser Hinsicht weniger streng - mehr recyceltes Betongranulat und gemischtes recyceltes Granulat ist für viele Betonsorten erlaubt, siehe: SN EN 206: 2013 + A2: 2021 und SIA Merkblatt 2030 [104].

Die Verwendung von feiner (< 4 mm) recycelter Gesteinskörnung bei der Herstellung von Beton ist nach den bisherigen Vorschriften nicht erlaubt, aber es ist wünschenswert, dass Studien durchgeführt werden, um die mögliche Verwendung zu bewerten.

Risiken:

Recyceltes Betongranulat wird hauptsächlich für ungebundene Anwendungen, z.B. im Straßenbau, verwendet. Diese Verwendung verringert den Wert des Materials und die Anzahl der Zyklen, die es durchlaufen kann.



Matchmaking

Stärken: – Durch die Verwendung von Recyclingbeton werden andere lokale Rohstoffe eingespart. – Beton mit 25% recycelter Gesteinskörnung ist aus ökologischer Sicht besser [99]. Chancen: – CAM: mindestens 5% recyceltes Material – Erhöhter Anteil an recyceltem Material – Normen für die Verwendung von feinen inerten Rezyklaten Risiken: – Ineffiziente Verwendung von recyceltem Betongranulat – Einschränkende Normen: ○ Norme tecnica per le costruzioni Ministerialdekret (DM) 17/02/2018 ○ UNI EN 206-1 ○ UNI EN 11104:2016	Eine Anhebung des Grenzwerts der CAM (mindestens 5% wiederverwertete oder recycelte Materialien oder Nebenprodukte in Betonfertigteilen, auf der Baustelle hergestelltem Beton und vorgemischtem Beton) bis zu den vorgesehenen Grenzwerten der „norme tecniche per le costruzioni“ (Ministerialdekret (DM) 17/02/2018, UNI EN 206-1, UNI EN 11104:2016) für die verschiedenen Betonarten. Dies würde eine bessere Schonung der (lokalen) Ressourcen ermöglichen. Es wäre wünschenswert, den Grenzwert der CAM über die Grenzwerte der beschriebenen einschränkenden Normen zu setzen, z.B. wie in den entsprechenden technischen Normen der Schweiz, die einen höheren Anteil an recycelten Materialien in der Betonherstellung erlauben - SN EN 206: 2013 + A2: 2021 und SIA Merkblatt 2030 [104]. Bei öffentlichen Aufträgen sollte ein höherer Prozentsatz an recyceltem Material innerhalb der durch nationale Normen festgelegten Grenzen gefordert werden. Einführung einer Norm in Südtirol, welche die Verwendung von Recycling-Sand (feines inertes Material < 4 mm) reguliert.
Schwächen: – Der Preis für Beton mit einem höheren Anteil an recycelten Materialien könnte höher sein. Chancen: – Schaffung wirtschaftlicher Anreize für die Verwendung von Beton mit einem höheren Anteil an recycelten Materialien.	Erwägung eines wirtschaftlichen Anreizes zur Förderung der Verwendung größerer Mengen an recyceltem Material. Zum Beispiel durch den Kubaturbonus von KlimaHaus-Nature: Erleichterung der Bedingungen für den Erhalt des Bonus bei der Verwendung von Beton, der größere Mengen an recycelter Gesteinskörnung enthält.
Schwächen: – Die Zementherstellung ist sehr CO₂-intensiv	Durchführung einer Studie über die Kohlenstoffdioxidemissionen im Zusammenhang mit der Verwendung von Beton. Darauf Festlegung eines Grenzwerts für die Emissionen pro Tonne des Materials.

6.3 Ziegel

Stärken

Die stoffliche Wiederverwertung von sortenreinem Brennbruch erfolgt als Füll- und Befestigungsmaterial im Wege-, Tennis- und Sportplatzbau sowie als Pflanzensubstrat im Vegetationsbau [105]. Die Verwendung von Ziegelabfällen als recycelte Gesteinskörnung für Betonmischungen, Untergründe oder Straßenbeläge führt zu geringfügigen Einsparungen aufgrund der vermiedenen Verwendung natürlicher Gesteinskörnungen [106].

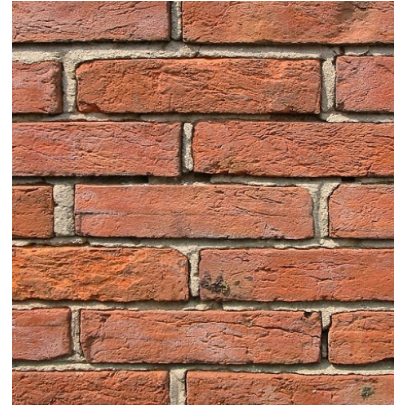


Abbildung 6: Ziegelmauer

Schwächen

Ziegel lassen sich nur schwer wiederverwenden und recyceln, und reines Material ist relativ selten. Die meisten Studien, die sich mit der Herstellung von Ziegeln aus Abfallmaterialien befassen, setzen nach wie vor auf das Brennen, um die Festigkeit der Ziegel zu erhöhen. Das Brennen von Ziegeln ist energieintensiv und führt zur Emission von Treibhausgasen in die Atmosphäre [107]. Da recycelte Ziegel intrinsisch eine geringere Festigkeit aufweisen, sollten sie nur teilweise als Ersatz für Gesteinskörnung in der Betonherstellung verwendet werden [108].

Chancen

Die Zugabe einer angemessenen Menge von recyceltem Ziegelstaub kann die mechanischen Eigenschaften von Zementmaterialien verbessern, während ein zu hoher Anteil zu einer Verschlechterung dieser Eigenschaften führt. Bisherige Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass der optimale Anteil an Zementsubstitution durch recycelten Ziegelstaub zwischen 5 und 15-20% liegt [108], [109]. Die Verwendung von recyceltem Ziegelstaub als teilweiser Ersatz für Portlandzement ist eine vorteilhafte Option mit erheblichen Vorteilen für die Umwelt [106]. Die Verwendung von recyceltem Ziegelstaub als Puzzolan enthaltendes Material bietet eine praktische Lösung für mehrere Probleme. Dazu gehören die Minimierung der Umweltauswirkungen und die Senkung der Produktionskosten von zementhaltigen Materialien. Folglich ist recycelter Ziegelstaub vielversprechend für eine breite Anwendung [109].

Risiken

Die alkalische Aktivierung von Ziegelstaub, die typischerweise bei der Verwendung von Ziegelstaub als zementartiges Bindemittel in Beton oder anderen Baumaterialien auftritt, hat negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit [106].



Matchmaking

Stärken: – Die stoffliche Wiederverwertung von sortenreinem Brennbruch erfolgt als Füll- und Befestigungsmaterial im Wege-, Tennis- und Sportplatzbau sowie als Pflanzensubstrat im Vegetationsbau Schwächen: – Schwierige Wiederverwendung/Recycling - reines Material relativ selten – Kleine Mengen können als recycelte Gesteinskörnung für Betonproduktion verwendet werden.	Da Ziegel nicht so einfach und in so großen Mengen wie recycelte Gesteinskörnung bei der Herstellung von Beton verwendet werden können, eignen sich die bereits angewandten Recyclingmethoden (Füll- und Befestigungsmaterial im Wege-, Tennis- und Sportplatzbau sowie als Pflanzensubstrat im Vegetationsbau) für eine Verlängerung ihres Lebenszyklus, allerdings nicht in vollem Umfang.
Chancen: – Die Zugabe einer angemessenen Menge von recyceltem Ziegelstaub kann die mechanischen Eigenschaften von Zementmaterialien verbessern. – Recycelter Ziegelstaub als teilweiser Ersatz für Portlandzement. – Verwendung von recyceltem Ziegelstaub als Material welches Puzzolan enthält - Minimierung der Umweltauswirkungen und Senkung der Produktionskosten von zementhaltigen Materialien. Risiken: – Alkalische Aktivierung - negative Auswirkungen auf die Gesundheit.	Grundsätzlich scheint die Verwendung von mehr Ziegelstaub bei der Zementherstellung vielversprechend. Es sind jedoch weitere Forschungsarbeiten erforderlich, um zu verstehen, wie vorteilhaft dies wirklich ist und wie mögliche Nachteile wie die alkalische Aktivierung minimiert werden können.

6.4 Mineralien

Diese Kategorie wird in den ausgewählten Fallstudien verwendet (insbesondere wird auf die Quelle [38] verwiesen), um eine Reihe von Materialien zusammenzufassen, die bei Bau- und Abbrucharbeiten anfallen, wie z.B. Estriche, Putze, Zwischendecken, Fußböden, Verkleidungen, Dachziegel, Schotter usw.

Stärken:

Inerte mineralische Materialien aus Bautätigkeiten können nach entsprechender Trennung, Zerkleinerung, Siebung, Reinigung und Analyse auf mögliche Schadstoffe für Auffüllungen und Stabilisierungen, Unterbau für Straßen und Schienen sowie Asphalt verwendet werden. In Südtirol wird dies bereits seit mehreren Jahrzehnten praktiziert [110].

Ihre Verwendung anstelle von Primärmaterial reduziert den Rohstoffverbrauch und die Menge des zu deponierenden Materials und trägt auch zur Verringerung der CO₂-Emissionen bei: Das Recyclingverfahren vermeidet nämlich die energieaufwendigen Schritte der Gewinnung und Verarbeitung von Primärmaterialien [111].

Schwächen:

Diese Art von Abfall zeichnet sich durch einen hohen Grad an Vermischung zwischen seinen Bestandteilen aus und ist daher bei der Verwertung/Entsorgung nur schwer und mit hohem Aufwand in reine Stoffe zu trennen. Das recycelte Material wird hauptsächlich in weniger wertvollen Anwendungen eingesetzt als die Ausgangsprodukte, was zu *Downcycling* führt. Darüber hinaus unterliegen Erde und Gesteine aus Aushubarbeiten nicht der behördlichen Kontrolle, es sei denn, sie stammen von potentiell schadstoffbelasteten Standorten. Das bedeutet, dass es Material gibt, das bis heute nicht nachverfolgt wurde, dessen Menge, Qualität und Bestimmungsort unbekannt sind.

Chancen:

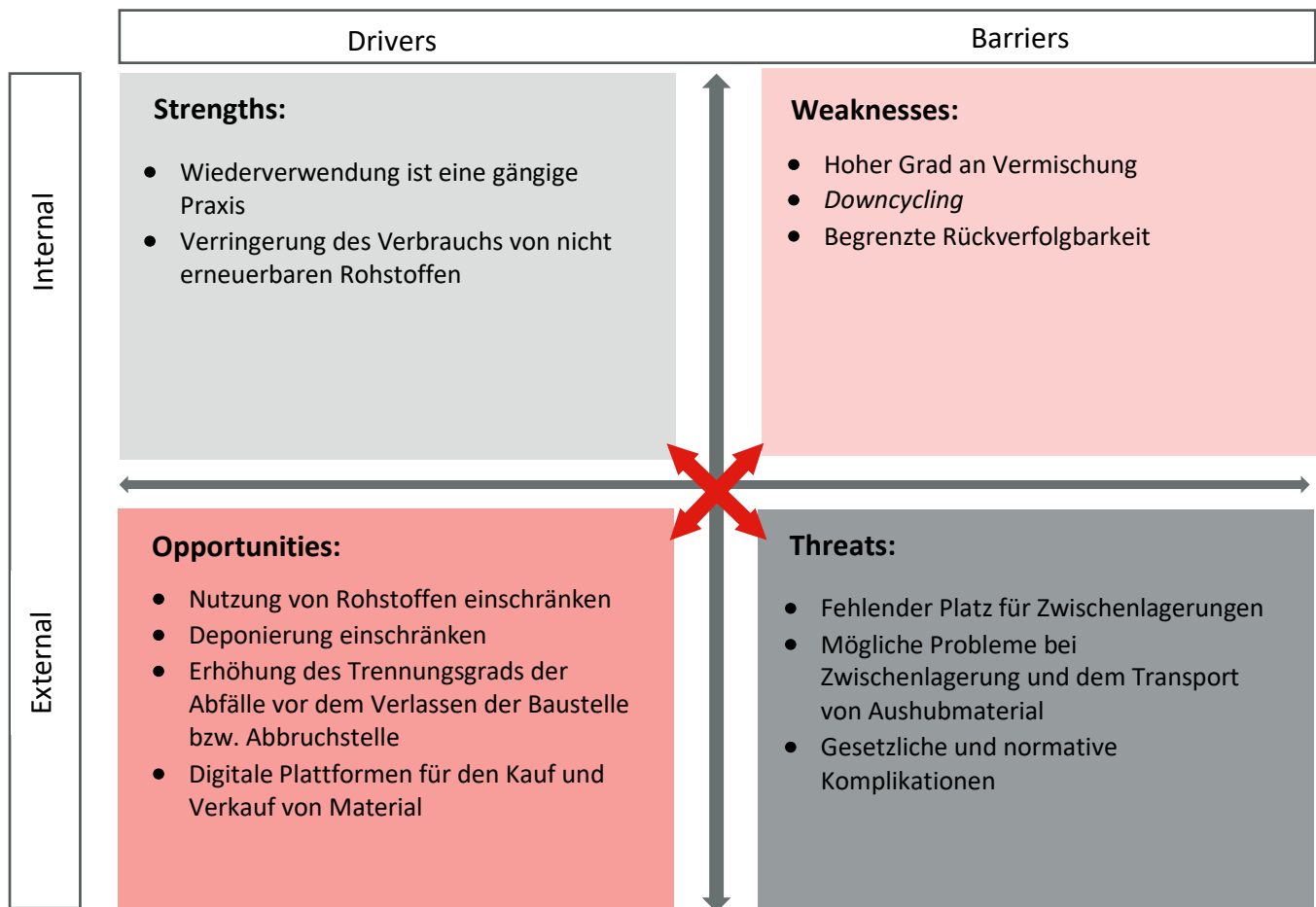
Um die Verwendung von Recyclingmaterial zur bevorzugten Wahl des Privatsektors zu machen, kann der Gesetzgeber handeln, indem er die Steuern auf die Gewinnung von Rohstoffen erhöht (wie z.B. die Aggregates Levy im Vereinigten Königreich: ca. 2,30 €/Tonne [112]), oder indem er die Herstellenden von Recyclingmaterial mit einem Anreiz belohnt. Eine weitere wichtige Initiative ist die Schaffung eines speziellen Marktes für inerte Rezyklate, wie er von der ARPA Lombardia [113] eingerichtet wurde, um das Zusammentreffen von Angebot und Nachfrage zu ermöglichen.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass bereits eine App entwickelt wird, die das Ergebnis der Zusammenarbeit zwischen dem Konsortium bau.recycle und Fraunhofer Research Italia ist. Das Land Südtirol kann diese Initiative sowohl in wirtschaftlicher Hinsicht als auch in Bezug auf die Sichtbarkeit unterstützen, um die positiven Umweltauswirkungen der Initiative zu maximieren. Letztendlich muss immer bedacht werden, dass je höher der Trennungsgrad der Materialien in der Abbruchphase ist, desto geringer ist die Menge an gemischten mineralischen Materialien, die an die Recyclingcenter geliefert werden und die sehr oft einem *Downcycling* unterzogen werden. Aus diesem Grund ist es wünschenswert, Verpflichtungen, Anreize, Leitlinien oder andere Instrumente für eine immer detailliertere Abfallsammlung einzuführen, die Sekundärmaterialien von gutem Wert hervorbringt.

Risiken:

Die Verfügbarkeit von angemessenem Platz für die Zwischenlagerung von Material, selbst von qualitativ hochwertigem Material, kann für Unternehmen, die Aushub- und Abbrucharbeiten durchführen, sowie für Recyclingcenter problematisch sein, insbesondere bei großen Betrieben.

Dieses Problem wurde durch das Ministerialdekret (DM) 152/2022 „End of Waste“ [62] verstärkt, welches das Verfahren für die Verarbeitung der an die Recyclingcenter gelieferten Abfälle und ihre Umwandlung in recyceltes Material erschwerte.

**Matchmaking**

Chancen: – Schaffung einer digitalen Plattform für den Kauf und Verkauf von Material Risiken: – Fehlender Platz für Zwischenlagerungen	Diese Maßnahme ermöglicht es privaten Unternehmen, in Echtzeit Zugang zu Informationen über die Menge, den Standort und die Verfügbarkeit von zertifizierten Recyclingmaterialien zu erhalten, wodurch deren Verbrauch anstelle von Rohstoffen erleichtert wird.
--	---

– Mögliche Probleme bei Zwischenlagerung und dem Transport von Aushubmaterial	Darüber hinaus kann sie auch die Verringerung von „unbeweglichem“ Material erleichtern, das sich in den Recyclingcentern ansammelt, während es auf seine Verwendung wartet.
Chancen: – Schaffung einer digitalen Plattform für den Kauf und Verkauf von Material Risiken: – Begrenzte Rückverfolgbarkeit	Bei großen Bauvorhaben (der EU-Schwellenwert von ca. 5,54 Mio. € wird als Unterscheidungsmerkmal vorgeschlagen) wird eine mit der Provinz abgestimmte Planung für die Bewegung von Erde und Gesteine empfohlen: Durch die Bewertung von Menge und Qualität des Aushubmaterials kann dieses in anderen Produktionstätigkeiten effizient wiederverwendet werden. Die im Rahmen dieser Maßnahme gewonnenen Daten müssen auch Informationen über die Herkunft des Materials enthalten, zumindest in Bezug auf den Bezirk, um den Transport effizienter zu gestalten.

6.5 Glas

In Südtirol gibt es keine Anlagen für das Recycling von Glas. Im Gegensatz zu anderen Materialien gibt es für Flachglas weder ein spezifisches Kriterium für den Mindestrecyclinganteil, noch ist die Ausstellung von CAM-Zertifikaten vorgesehen [114]. Derzeit wird Buntglas aus Glasabfällen aus Bau- bzw. Abbruchstellen hergestellt, sofern es nicht in den verschiedenen Granulaten aus Bauabfällen landet.

Stärken:

Glas ist ein Material, das unendlich oft recycelt werden kann, und sein Recycling ist kostengünstiger als die Deponierung. Das Glas aus dem selektiven Abriss eines Gebäudes wird von den Zuschlagstoffen getrennt und anschließend der Verwertung zugeführt.



Abbildung 7: Demontage eines Fensters

Schwächen:

Das Recycling von Glas ist ein komplizierter Prozess und birgt einige Herausforderungen. Zuerst ist es notwendig, die verschiedenen Glasarten zu identifizieren und zu trennen, um sie bei der richtigen Temperatur zu schmelzen, Verunreinigungen zu reduzieren und den Kontakt und die Vermischung zwischen den verschiedenen Substanzen, die auf die Gläser aufgetragen werden, zu gewährleisten. Das Hauptproblem beim Recycling von gebrauchtem Flachglas für neue Fenster hängt gerade mit dem Risiko des Vorhandenseins von Verunreinigungen im neuen Glas zusammen. Die Vorschriften über die Qualitätsstandards für die Herstellung von Bauglas sind aus ästhetischen und sicherheitstechnischen Gründen viel strenger als bei anderen Produkten wie z.B. Glas für Flaschen: Kleinste Verunreinigungen führen zu nicht einwandfreiem Glas. In der Regel findet ein Downcycling-Prozess statt, d.h. Glas wird auf der Baustelle bei der Herstellung anderer Produkte verwendet, die weniger strengen Qualitätsstandards unterliegen als Fensterglas.

Chancen:

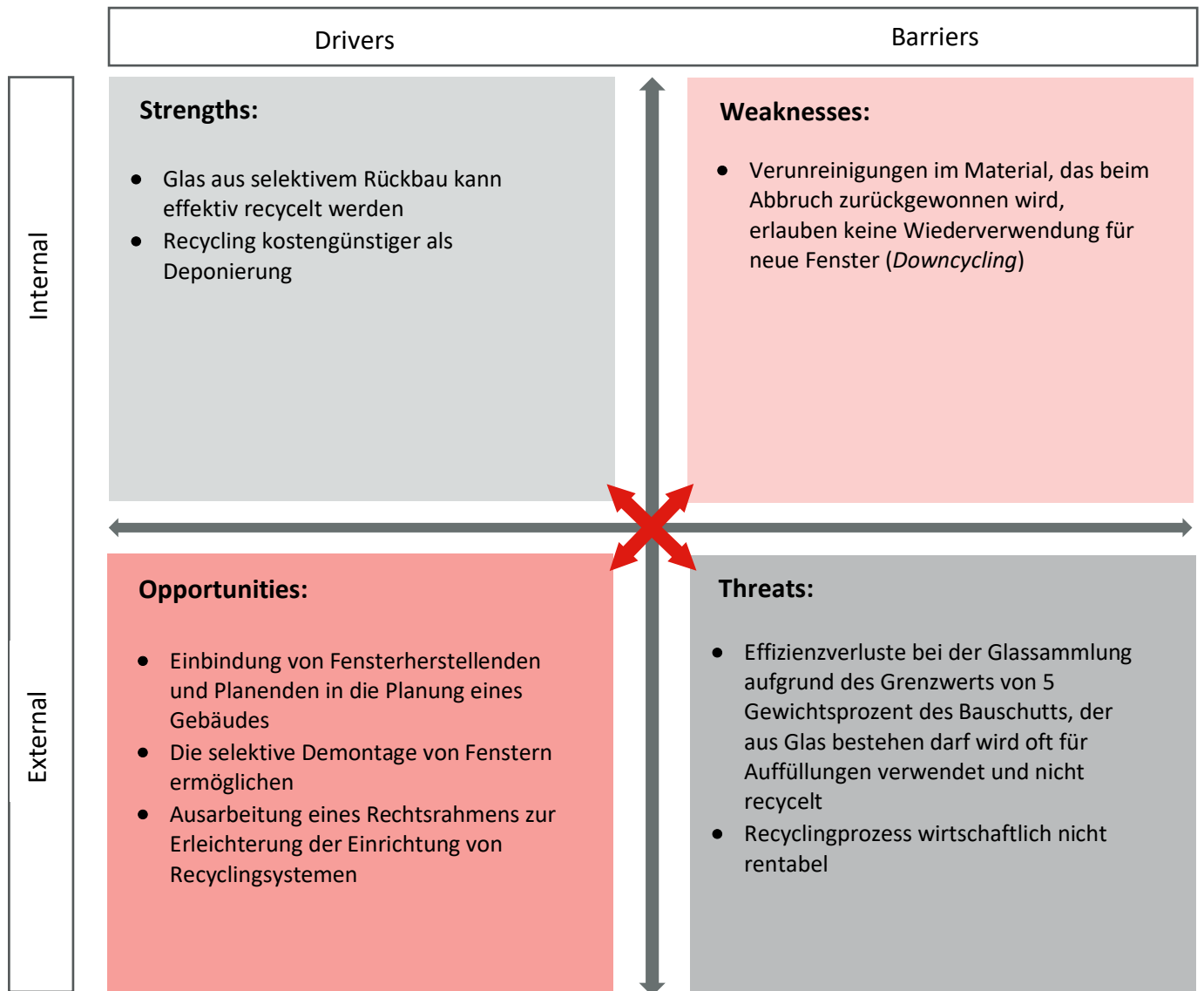
Der Großteil des in Gebäuden verwendeten Flachglases könnte demontiert und in Glasöfen recycelt werden. Bevor die Glasindustrie Glasabfälle recyceln kann, müssen mehrere Schritte unternommen werden. Die größten Herausforderungen liegen in der Schaffung von Recyclingsystemen, die die Demontage von Fenstern oder Glas in Gebäuden vor dem Abbruch, die Sammlung dieser Fenster oder des Glases nach dem Abbruch oder der Renovierung des Gebäudes und die Trennung des Glases von anderen Fensterteilen vor dem Recycling in einem Glasofen gewährleisten und organisieren können [115].

Risiken:

Die verschiedenen Bauschuttgranulate dürfen bis zu 5% Glas enthalten, wie es im Beschluss der Landesregierung Nr. 1030 vom 27. September 2016 „Richtlinie für die Wiederverwertung von Baurestmassen und die Qualität von Recyclingbaustoffen“ [72] heißt.

Diese 5%-Grenze trägt dazu bei, dass Glas seltener getrennt gesammelt wird und somit nicht optimal dem Recycling- oder Wiederverwendungsprozess zugeführt werden kann. Trotz seiner

Recyclbarkeit wird das Glas aus Gebäuden kaum zu neuen Glasprodukten recycelt. Im Gegenteil, es wird oft zusammen mit anderen Baustoffen zerkleinert und auf Deponien gelagert oder für Auffüllungen verwendet, aber in der Regel nicht wiederverwertet [115]. Zurzeit ist der Recyclingprozess wirtschaftlich nicht rentabel [116].



Matchmaking

Stärken: – Recycling ist billiger als die Deponierung; es ist auch billiger, Glas vorher von anderen Materialien zu trennen. Risiken: – Die verschiedenen Bauschuttgranulate können bis zu 5% Glas enthalten, was bedeutet, dass Glas seltener getrennt gesammelt wird und daher nicht optimal dem Recycling- oder Wiederverwendungsprozess zugeführt werden kann.	Die Vorteile des getrennten Glasrecyclings könnten voll ausgeschöpft werden, und der Glasanteil von 5% in den verschiedenen Bauschuttgranulaten muss deutlich reduziert werden, um das <i>Downcycling</i> nicht zu unterstützen.
Stärken: – Das beim selektiven Rückbau eines Gebäudes anfallende Glas wird von den inerten Materialien getrennt und anschließend der Verwertung zugeführt. Chancen: – Einbeziehung von Fensterherstellenden und Planenden in die Planung eines Gebäudes, um den selektiven Rückbau von Fenstern zu erleichtern. – Ein rechtlicher Rahmen, der die Wiederverwendung erleichtert, wäre wünschenswert. – Schaffung von Recyclingsystemen Schwächen: – Fensterscheiben aus rückgebauten Gebäuden werden in der Regel, aufgrund von Verunreinigungen, nicht recycelt und für neue Fenster verwendet. Risiken: – Recyclingprozess wirtschaftlich nicht rentabel	Die Möglichkeit des selektiven Rückbaus sollte genutzt werden, indem Planende und Fensterherstellende stärker in die Planung von Gebäuden einbezogen und Recyclingsysteme geschaffen werden. Es sollten auch wirtschaftliche Anreize geschaffen werden.

6.6 Dämmstoffe

Die für diese Analyse berücksichtigten Dämmstoffe lassen sich in drei Hauptkategorien einteilen: synthetische Dämmstoffe (z.B. EPS, XPS, PUR), Dämmstoffe mineralischen Ursprungs (z.B. Steinwolle, Glaswolle) und Dämmstoffe natürlichen Ursprungs (z. B. Hanffaser, Holzfaser, Zellulosefaser, Kork).

Stärken:

Alle betrachteten Dämmstoffe ermöglichen während ihrer Lebensdauer Energieeinsparungen, die weit über den Energiekosten für ihre Herstellung liegen, sodass sie sich sowohl wirtschaftlich als auch im Hinblick auf die Nachhaltigkeit lohnen [117]. Traditionelle Dämmstoffe (synthetischer und mineralischer Herkunft) bieten das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis in Bezug auf die Dämmung. Dämmstoffe natürlichen Ursprungs sind in der Regel atmungsaktiver und schwerer und stellen kein Problem bei der Entsorgung dar, da sie kompostiert oder thermisch verwertet werden können. Außerdem können sie aus recycelten Materialien hergestellt werden.



Abbildung 8: Steinwolle

Schwächen:

Die heute am häufigsten verwendeten Materialien sind fossilen Ursprungs und daher nicht erneuerbar. Synthetische Materialien werden in der Regel mit Flammschutzmitteln behandelt, die sie giftig für die Umwelt machen, während Materialien mineralischen Ursprungs gesundheitsschädlich sind, wenn sie eingeatmet werden. In beiden Fällen müssen Rückbau und Sammlung methodisch durchgeführt werden, um Schäden für Mensch und Umwelt zu vermeiden.

Materialien natürlichen Ursprungs sind gegenwärtig teurer als die Alternativen und weisen in der Regel eine höhere Durchlässigkeit auf (daher sind dickere Schichten erforderlich) und bilden daher ein Nischensegment.



Abbildung 9: Glaswolle

Chancen:

Mehrere Herstellende von synthetischen und mineralischen Dämmstoffen garantieren die vollständige Recyclebarkeit ihrer Produkte und haben bereits Recyclinganlagen in Betrieb.



Abbildung 10: Holzfaser

Alternativ können mineralische Dämmstoffe als Zusatzstoffe für Konglomerate oder als Zusatzstoff bei der Herstellung von gesinterten keramischen Materialien verwendet werden. In Zukunft, wenn der Materialfluss von Dämmstoffen aus Abbruch- und Renovierungsarbeiten viel größer sein wird als heute, wird es entscheidend sein, über Anlagen zu verfügen, die diesen Materialfluss verarbeiten können.

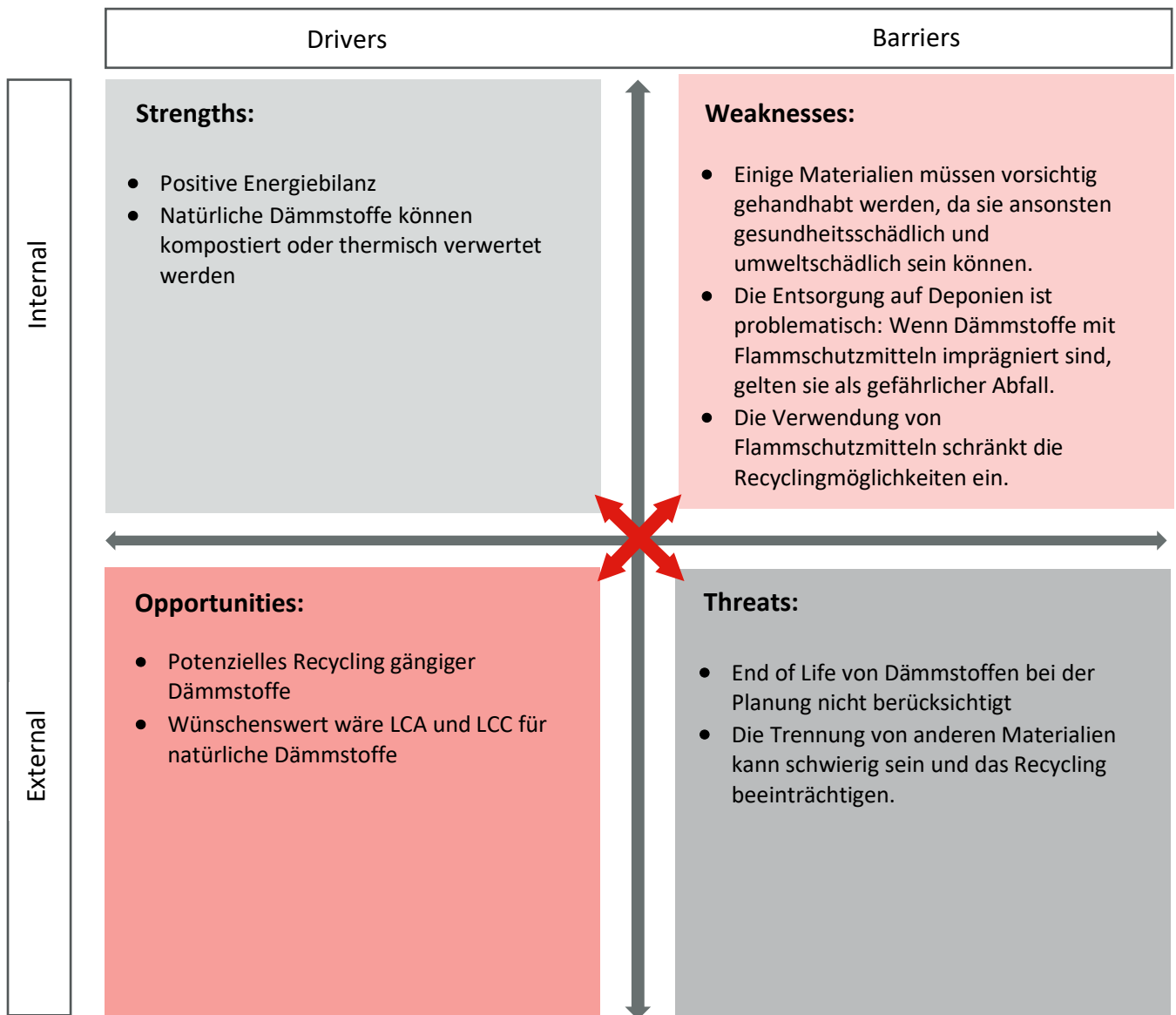
Die Planung von hinterlüfteten Fassaden, bei denen die Dämmung nicht verputzt wird, kann die Reinheit des beim Rückbau anfallenden Materials erheblich verbessern.

Für Dämmstoffe natürlichen Ursprungs ist es wünschenswert, eine Lebenszyklusanalyse (LCA) und eine Lebenszykluskostenrechnung (LCC) durchzuführen, um ihre Vorteile in Bezug auf die Umweltauswirkungen vollständig zu bewerten.

Risiken:

Bei Neubauten wird häufig die Energieeffizienz berücksichtigt, nicht aber die möglichen Probleme und das Potenzial für die Wiederverwendung der verwendeten Materialien. An einigen Stellen (Fassade, Estrich, Leichtbauelemente in Betonabgüssen) kann es sehr schwierig sein, die Dämmstoffe von anderen Materialien zu trennen, was die Qualität des wiedergewonnenen Materials beeinträchtigen kann. Die Reinheit des Materials ist für ein erfolgreiches Recycling entscheidend.

In Anbetracht der zunehmenden Verwendung von Dämmstoffen im Bauwesen können die künftigen Mengen dieser Materialien, die bei Abbruch- bzw. Rückbauarbeiten anfallen und entsorgt werden müssen, die Handhabung dieser Materialien erschweren.



Matchmaking

Natürliche Dämmstoffe Stärken: – Positive Energiebilanz – Können aus recycelten Materialien hergestellt werden – Können kompostiert oder thermisch verwertet werden Schwächen: – Höhere Kosten – Typischerweise höhere Durchlässigkeit (daher sind dickere Schichten erforderlich) Chancen: – LCA und LCC	Da die Kosten für die Entsorgung vollständig vom Abbruchunternehmen getragen werden, neigt der Bauherr dazu, eine teurere, aber weniger aufwendige Lösung für die Entsorgung in der Planungsphase abzulehnen. Die Durchführung einer LCA und einer LCC der verschiedenen Dämmstoffarten kann sowohl für Bauherren, die beabsichtigen, langfristig Eigentümer der Immobilie zu bleiben, als auch für den Gesetzgeber, der diese Ungleichheit beseitigen möchte, nützlich sein.
Synthetische Dämmstoffe und Dämmstoffe mineralischen Ursprungs Stärken: – Positive Energiebilanz – Wirtschaftlich vorteilhaft Chancen: – Recyclingversuche der Herstellenden Schwächen: – Eventuell gesundheitsschädlich und umweltschädlich bei unsachgemäßer Handhabung – Die Verwendung von Flammenschutzmitteln schränkt die Recyclingmöglichkeiten ein. Risiken: – Das Wiederverwendungspotenzial der verwendeten Materialien wird in der Regel in der Planungsphase nicht berücksichtigt.	Auch das Ende of Life des Gebäudes muss in der Planungsphase berücksichtigt werden: Durch die Bevorzugung von Lösungen, bei denen die Dämmstoffe vollständig und ohne Verunreinigungen getrennt werden können, können sie erfolgreich recycelt werden, ohne auf eine Deponie zurückgreifen zu müssen.

6.7 Metalle

Die in den Recyclingcentern angelieferten Metalle werden hauptsächlich in andere Regionen Norditaliens transportiert, wo sie anschließend in Stahlwerken, Aluminium- und Kupferfabriken usw. wiederaufbereitet werden.

Stärken:

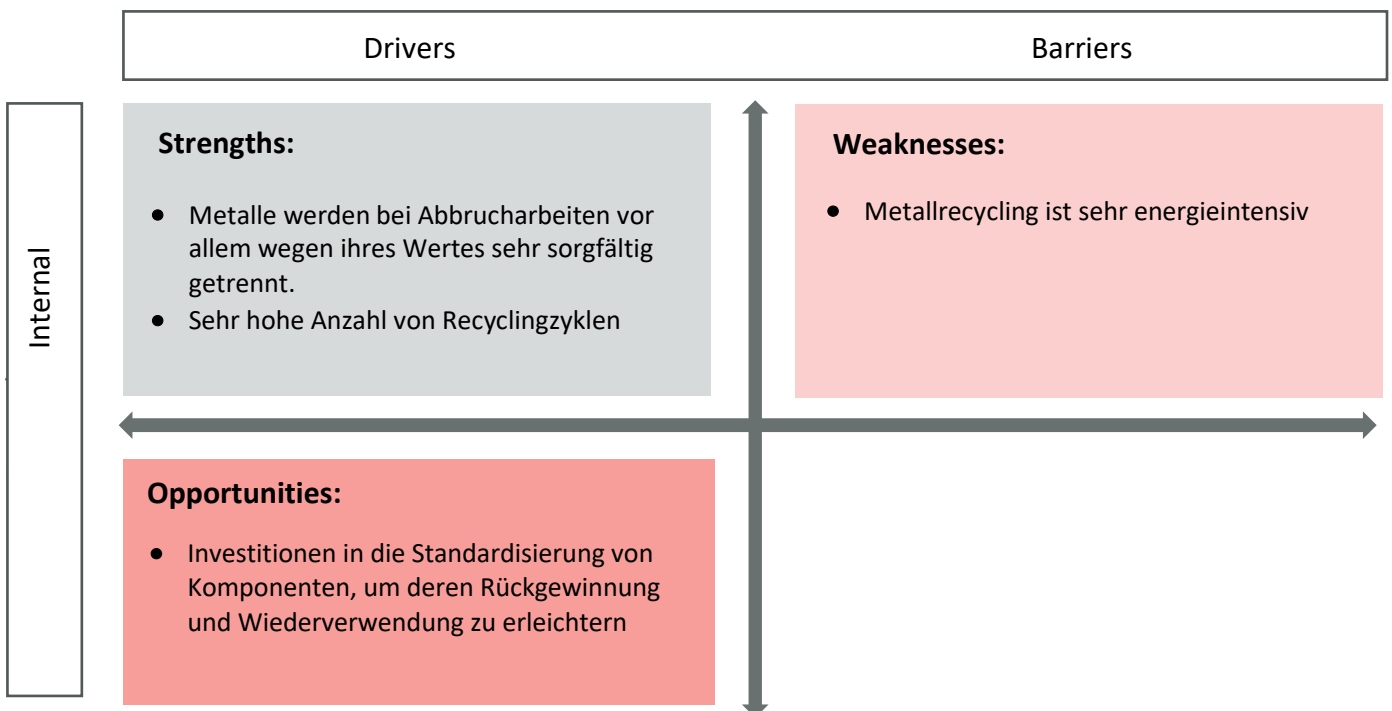
Metalle werden bei Abbrucharbeiten vor allem wegen ihres Wertes sehr sorgfältig getrennt. Aus demselben Grund ist auch die Recyclingquote sehr hoch.

Schwächen:

Metallrecycling ist sehr energieintensiv.

Chancen:

Investitionen in die Standardisierung von Komponenten können deren Rückgewinnung und Wiederverwendung erleichtern.



Matchmaking

Stärken: – Metalle werden bei Abbrucharbeiten vor allem wegen ihres Wertes sehr sorgfältig getrennt. – Sehr hohe Recyclingquote Chancen: – Investitionen in die Standardisierung von Komponenten, um deren Rückgewinnung und Wiederverwendung zu erleichtern Schwächen: – Metallrecycling ist sehr energieintensiv	Um den Schwerpunkt auf die einfache Wiederverwendung und Rückgewinnung von Metallteilen vor Ort zu legen, sollten die Komponenten zunehmend standardisiert werden. Dies würde auch dem hohen Energieverbrauch entgegenwirken, der beim Recyclingprozess anfällt, da auch die Wiederverwendung besser möglich wäre, was eine weitere „Stufe“ in der Kaskade der Verwendung von Metallteilen erleichtern würde.
---	--

6.8 Fotovoltaikpaneele / Solarthermiepaneele

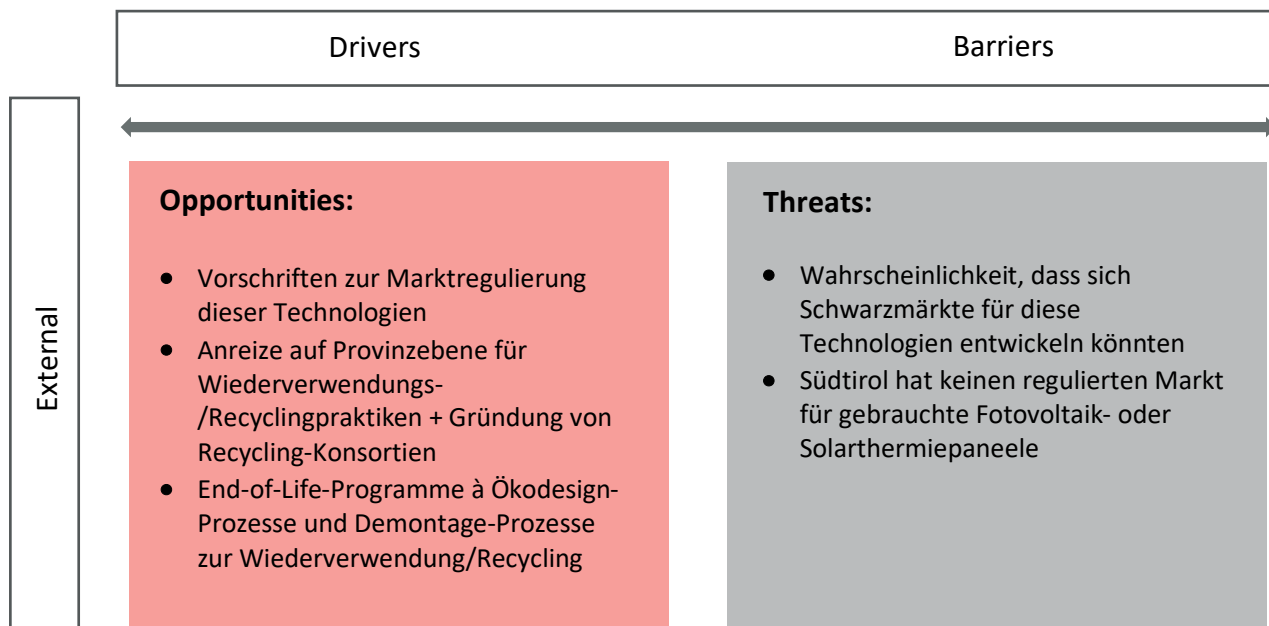
Das Management dieser Abfälle wird vom „Centro di Coordinamento Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE)“ koordiniert.

Chancen:

Um die Entwicklung von Schwarzmärkten rund um diese Technologien in Zukunft zu vermeiden, müssten genaue Vorschriften zur Regulierung des Recyclings und der Wiederverwendung erlassen und umgesetzt werden. Auch die Provinz sollte Anreize schaffen, um die Wiederverwendung und das Recycling dieser Materialien zu fördern, beispielsweise durch die Gründung eines speziellen Konsortiums. Außerdem wäre ein End-of-Life-Programm erforderlich, das die Ökodesign-Prozesse dieser Technologien fördert, um einen Demontage-Prozess zu ermöglichen, der die Wiederverwendung und ein vereinfachtes Recycling der Materialien unterstützt.

Risiken:

In Südtirol gibt es derzeit keinen regulierten Markt für gebrauchte Fotovoltaik- oder Solarthermiepaneele.



Matchmaking

Chancen: – Vorhandensein eines Rechtsraums zur Regulierung des Marktes für diese Technologien Risiken: – Wahrscheinlichkeit, dass sich Schwarzmärkte für diese Technologien entwickeln könnten	Um das Entstehen eines Schwarzmarktes zu verhindern, muss ein regulierter Markt für diese Technologien geschaffen werden.
Chancen: – Schaffung von Anreizen auf Provinzebene für Wiederverwendungs- und Recyclingpraktiken sowie die Gründung von Recyclingkonsortien. – Umsetzung eines End-of-Life-Programms zur Förderung von Ökodesign-Prozessen, die die Demontage-Prozesse und anschließende Wiederverwendung oder das Recycling erleichtern. Risiken:	Die Schaffung eines legalen Marktes für diese Technologien würde durch die Gründung eines Recycling-Konsortiums erleichtert und gefördert werden. Wichtig ist auch, dass das Land Südtirol Anreize für Recycling und Wiederverwendung schafft und ein End-of-Life-Programm entwickelt.

-
- Südtirol hat keinen regulierten Markt für gebrauchte Fotovoltaik- oder Solarthermiepaneele.
-

7. Maßnahmen

In diesem Kapitel werden sowohl übergreifende als auch materialspezifische Verbesserungsmaßnahmen vorgeschlagen.

Transversale Maßnahmen

- Einführung spezifischer gesetzlicher Bestimmungen auf Provinzebene, die eine Verpflichtung zum selektiven Rückbau zumindest bei großen Bauvorhaben vorsehen, um sicherzustellen, dass Materialien mit minimalen Verunreinigungen und unter besseren Kontrollbedingungen an die Sammelstellen gelangen. Dafür wird ein allgemeiner Schwellenwert der Auftragssumme von ca. 5,54 Mio. € als Unterscheidungskriterium vorgeschlagen.
- Einrichtung einer zentralen Datenbank zur Zusammenführung relevanter Daten für ein effizientes Management der Materialflüsse. Die Datenbank sollte folgendes umfassen:
 - Daten zu Materialflüssen aus öffentlichen Bauprojekten, beginnend mit den wichtigsten Materialgruppen: Beton, Ziegel, Dämmstoffe, Holz.
 - Einsatz von Baumaterialien, unterteilt nach Materialtyp;
 - Herkunft und Materialflüsse;
 - Bestimmungsort von Abbruchmaterialien.
 - Biomasseströme für Fernheizwerke und private Haushalte.
- Erhebung und Aggregation der Materialflüsse über einzelne Baustellen hinaus, um eine übergreifende Planung auf Bezirksebene zu ermöglichen. Das soll verhindern, dass beispielsweise Abbruchmaterial aus (Tunnel-)Bauprojekten, das nicht direkt vor Ort benötigt wird, in anderen Bauvorhaben weiterverwendet wird, statt es zu entsorgen.
- Einführung gesetzlicher Regelungen, die eine temporäre Lagerung von Baumaterial auch in nicht produktiven Gebieten, z.B. durch Anmietung von Grundstücken, ermöglichen.
- Entwicklung spezifischer wirtschaftlicher Instrumente für wiederverwertbare Materialien im Bausektor im Sinne von End-of-Waste, um Anreize für die Nutzung von Sekundärrohstoffen zu schaffen.
- Vermittlung von Angebot und Nachfrage fördern, etwa durch Handels- und Austauschplattformen für Bau-Nebenprodukte und recycelte Materialien, um Materialflüsse effizienter zu lenken.
- Förderung digitaler Werkzeuge zur Verfolgung, Dokumentation und Überwachung von Abfallmaterialien im Bausektor.
- Erstellen einer Energiebilanz und Durchführung einer Analyse der grauen Energie, die beim Transport und der Verarbeitung recycelter Baustoffe entsteht, um potenzielle Optimierungen in der Transportlogistik und Verarbeitung zu identifizieren.
- Strategische Planung von Gebäuden fördern, einschließlich der Berücksichtigung möglicher Umwandlungen und des selektiven Rückbaus bereits in der Planungsphase. Der Einsatz von

LCA- und LCC-Methoden sowie digitalen Werkzeugen zur Lebenszyklusanalyse der verwendeten Materialien sollte unterstützt werden.

- Best-Practice-Beispiele in Ausbildungsprogrammen für Techniker/Technikerinnen einbinden, insbesondere bei Planungsthemen, unter Berücksichtigung der gesamten Lebensdauer von Gebäuden, des selektiven Rückbaus und der Verwendung recycelter Materialien.
- Digitale und organisatorische Koordinationssysteme zwischen allen Akteuren der Abfallbewirtschaftung, inkl. öffentlichen Behörden, Forschungseinrichtungen und Vertretern der relevanten Wirtschaftssektoren etablieren, um den Informations-, Daten- und Wissensaustausch zu optimieren.
- Öffentlichkeitskampagnen zur Mülltrennung, Abfallvermeidung und Reduzierung der Abfallverstreuerung initiieren und diese Themen in Bildungsprogramme sowie die schulische Ausbildung integrieren.

Holz

- Erhöhung der Mittel des Holzbau-Fonds von 2022 und, wo möglich, die Ausweitung um andere erneuerbare Materialien (z.B. Hanf, Stroh und andere biobasierte Baustoffe). Parallel dazu sollte ein Fonds für nachhaltiges Bauen eingerichtet werden, der Maßnahmen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen bei fossilen Baustoffen fördert oder zumindest Bemühungen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen (z.B. klimafreundlicher Zement, recycelter Beton) honoriert.
- Eine Mindestquote für die Wiederverwendung von Bauholz aus Abbrucharbeiten oder recyceltem Holz sollte für Neubauten aus Holz festgelegt werden.
- Bei Wettbewerbsausschreibungen für öffentliche Gebäude, wie z.B. Schulen oder Studentenwohnheime, sollten Planungsprojekte mit modularen Strukturen, die standardisierte Bauelemente gemäß den Prinzipien des Ökodesigns verwenden, bevorzugt werden, um deren Abbau und Wiederverwendung zu erleichtern.
- Den Einsatz digitaler Tools für das Monitoring und die Rückverfolgbarkeit von Produkt- und Materialflüssen fördern, um mehr Transparenz und einen besseren Zugang zu Daten über die Holzflüsse auf Basis früherer Analysen zu erhalten. Dadurch ließe sich das Potenzial der Nutzung lokaler Holzressourcen besser einschätzen [118].
- Eine Analyse der Daten über Holzflüsse würde es ermöglichen, den Bau eines oder mehrerer spezifischer Recyclinganlagen wirtschaftlich und ökologisch auf dessen Nachhaltigkeit zu bewerten.

Beton

- Anhebung des Mindestprozentsatzes an recycelten Materialien innerhalb der durch die obengenannten Normen und festgelegten Grenzen [60], [102], [103].
- Festlegung eines höheren Prozentsatzes an recyceltem Material innerhalb der (obengenannten) nationalen Normen und festgelegten Grenzen [60], [102], [103] bei öffentlichen Aufträgen.
- Einführung einer Norm in Südtirol zur Verwendung von Recycling-Sand (feines inertes Material < 4 mm).
- Erwägung eines wirtschaftlichen Anreizes zur Förderung der verstärkten Verwendung recycelter Materialien, z.B. durch den Kubaturbonus von KlimaHaus-Nature:

Erleichterung der Bedingungen für den Erhalt des Bonus bei der Verwendung von Beton, der größere Mengen an recycelten Material enthält.

- Durchführung einer Studie zur Ermittlung der CO₂-Emissionen entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Beton in Südtirol. Auf Basis dessen Grenzwert der Emissionen pro Tonne (Beton) festlegen.

Mineralien

- Schaffung einer digitalen Plattform für den Kauf und Verkauf von Materialien oder Zusammenarbeit einer bestehenden Plattform, nach dem Beispiel des Modells von ARPA Lombardia. Dank der Kooperation mit dem Konsortium bau.recycle und Fraunhofer Research Italia wird derzeit eine App entwickelt, um Angebot und Nachfrage zusammenzuführen. Das Land Südtirol kann diese Initiative sowohl wirtschaftlich als auch in Bezug auf die Sichtbarkeit unterstützen.
- Bei großen Bauvorhaben (der EU-Schwellenwert von ca. 5,54 Mio. € wird als Unterscheidungsfaktor vorgeschlagen) ist eine mit der Provinz abgestimmte Planung für die Verfrachtung von Erde und Gestein vorgesehen. Durch die Bewertung von Menge und Qualität des Aushubmaterials kann dieses in anderen Produktionsprozessen effizient wiederverwendet werden. Die im Rahmen dieser Maßnahme gewonnenen Daten müssen auch Informationen über die Herkunft des Materials, zumindest auf Bezirksebene, enthalten, um den Transport emissionsarm zu gestalten.

Dämmstoffe

- Bauweisen vermeiden, bei denen Dämmstoffe mit anderen Materialien verunreinigt werden (Verbundwerkstoffe, Glätten und Verputzen der Dämmstoffe), z.B. durch Sensibilisierungskampagnen, Kurse für Planer/Planerinnen, Bewertung der Umweltauswirkungen der derzeitigen Entsorgungsweise.
- Die Verwendung von natürlichen, erneuerbaren und nachweislich umweltfreundlicheren Dämmstoffen fördern. Natürliche Dämmstoffe sollten als Alternative zu herkömmlichen Materialien in öffentlichen Bauvorhaben eingesetzt werden.
- Errichten von Recyclinganlagen, welche in der Lage sind, die am häufigsten verwendeten Dämmstoffe (Polystyrol, Polyurethan, Steinwolle, Glaswolle) zu verarbeiten, um deren zirkuläre Nutzung zu ermöglichen und das Downcycling (thermische Verwertung) oder die Entsorgung (Deponierung) weitgehend zu vermeiden.

Fotovoltaik- und Solarthermiepaneele

- Die Förderung eines regulierten Marktes für das Recycling und die zirkuläre Nutzung von Solarpaneelen sollte durch die Gründung eines spezialisierten Recyclingkonsortiums, die Einführung eines End-of-Life-Programms und gezielte Anreize der Autonomen Provinz Bozen zur Unterstützung von Recycling und Wiederverwendung erfolgen.

8. Key Performance Indikatoren für das Monitoring der Zirkularität von Baumaterialien

Um die Anwendung der Grundsätze der KW im Bausektor zu überwachen, ist eine geeignete Reihe von Indikatoren erforderlich. Diese Indikatoren müssen es ermöglichen, verschiedene Aspekte zu messen: die effiziente Nutzung der verschiedenen Materialien, technische Merkmale, die effektive Wiederverwendung oder die Effizienz im Recycling, sowie die jeweils im Bauwesen derzeit verwendeten Materialmengen. Darüber hinaus sollten sie den wirtschaftlichen Wert und die Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt, einschließlich der Förderung eines Marktes für recycelte Materialien, bewerten. Eine Reihe von Indikatoren, die verschiedene technische und soziale Aspekte berücksichtigen, können Unternehmen helfen, Fortschritte der KW zu verfolgen und Verbesserungsbereiche zu identifizieren. Gleichzeitig dienen sie Verbrauchern als Grundlage für fundierte Entscheidungen und Institutionen zur Entwicklung von Richtlinien, die die KW in der Region stärken.

Im Folgenden wird beispielhaft eine Liste von Indikatoren vorgestellt, basierend auf den von EUROSTAT genutzten Indikatoren, die u.a. Bereiche wie Wirtschaft, Umwelt, Energie und Demographie abdecken. Für das Monitoring der KW im Bausektor Südtirols wurden diese angepasst und mit den Inhalten der „Holzcharta 2015-2020“ des Arbeitgeberverbands Südtirols abgestimmt [119]. Die Indikatoren sind in fünf Kategorien gegliedert, die wesentliche Aspekte einer Kreislaufwirtschaftsstrategie abbilden: Materialflüsse, Infrastrukturen, Energieauswirkungen, Nutzung recycelter Materialien im Bauwesen und wirtschaftliche Effekte.

Die folgende Tabelle stellt die von Eurac Research und EUROSTAT vorgeschlagenen Kategorien gegenüber:

Strategie der Provinz für die Kreislaufwirtschaft	EUROSTAT
Materialflüsse	Material flows and resource productivity [120]
Infrastrukturen	Enterprises by NUTS 2 regions and NACE Rev.2 activity [121]
Energieanlage	Energy accounts [122]
Verwendung von recycelten Materialien beim Bau	Circular material use rate by material type [123]
Wirtschaftliche Auswirkungen	Enterprises by NUTS 2 regions and NACE Rev.2 activity [121]

1. Materialflüsse (Holz, Beton, Ziegel, Mineralien, Metalle, Aluminium, Eisen, Kupfer)

- Importiere Rohmaterialmengen (Tonnen, Millionen m³)

Für ein verbessertes Wissen der Materialflüsse im Bausektor Südtirols bedarf es einer Erhebung der Mengen an Baumaterialien, die aus dem Ausland, insbesondere aus Nachbarländern wie Österreich und der Schweiz, importiert werden.

- Gesamtabfallmengen des Bausektors (Tonnen)

Quantifizierung der durch Bautätigkeiten in Südtirol entstehenden Abfälle, um den Beitrag des Bausektors zum Gesamtabfallaufkommen zu analysieren. Dies liefert Hinweise auf die Notwendigkeit, Abfälle vermehrt zu vermeiden oder die Verwertung und Recycling zu steigern. Alternativ kann der wirtschaftliche Einfluss analysiert werden, indem die Abfallproduktion pro Einheit des Südtiroler BIP berechnet wird (kg/1.000 €).

- Recyclingquote der in Bauprojekten verwendeten Materialien (%)

Dieser Indikator wird berechnet als das Verhältnis zwischen der Menge recycelter Baumaterialien und der Gesamtabfallmenge, die während Bau- und Abrissarbeiten entsteht. Die Wiedereinführung in den industriellen Kreislauf wird als Sekundärrohstoff bewertet.

- Prozentsatz (%) der Inputs, welche am Ende des Lebenszyklus eines im Bausektor verwendeten Produkts aus Recycling stammen

Dieser Indikator misst Anteil der Materialien, die nach Recyclingprozessen erneut in den Produktionskreislauf eingeführt werden. Er zeigt, inwieweit recycelte Materialien zur Deckung des Materialbedarfs für Bautätigkeiten beitragen.

Holz

- Menge an Rohholz aus Entwicklungsprogramm für den Ländlichen Raum (ELR) Gebieten (Millionen m³)

Quantifizierung des in Südtirol aus lokalen Wäldern stammenden Rohholzes, um den Beitrag regionaler Holzressourcen zur Deckung des Materialbedarfs zu ermitteln.

- Erhebung der in der Provinz verfügbaren Rohholzmenge und Materialflussanalyse, um die Menge an lokalem Holz zu bestimmen, welches für den Holzbau nutzbar ist. Ziel ist die Identifikation der benötigten Holzimporte zur Einhaltung von Holzbauquoten, insbesondere für öffentliche Gebäude.
- Jährliches Wachstum der Waldfläche (Hektar) in Südtirol

Überwachung der Zunahme der Waldfläche in Südtirol, um sicherzustellen, dass der Holzeinsatz nachhaltig bleibt und die Holzernte die jährliche Zuwachsrate nicht überschreitet.

2. Infrastrukturen zur Materialverarbeitung

- Anzahl der Materialverarbeitungsanlagen

Mit diesem Indikator kann der Anstieg der Materialverarbeitungsanlagen in Verbindung mit einer steigenden Nachfrage nach recyceltem Material überwacht werden

- Investitionen in den Bau neuer Verarbeitungs- und Recyclinganlagen für verschiedene Materialien (in Tausend €)

Wie in der SWOT-Analyse aufgezeigt, besteht in Südtirol ein Mangel an Infrastrukturen für die Verarbeitung bestimmter Materialien zur zirkulären Wiederverwendung, wie z.B. Holz, insbesondere in den Phasen des Abbruchs und der Verarbeitungsvorgänge für das Recycling. Sollten seitens des Landes Südtirol Investitionen in den Bau neuer Anlagen oder die Modernisierung bestehender Einrichtungen getätigt werden, wäre es entscheidend, diese Ausgaben als Indikator für den Übergang zu kreislaforientierten Produktionsprozessen zu erfassen.

3. Energie- und Klimaauswirkungen

- CO₂-Emissionen (Tonnen) durch Transport und Verarbeitung des Materials

Die Menge an Kohlendioxid, die während des Transports und der Verarbeitung von Materialien freigesetzt wird, sollte erfasst werden, um die Effizienz dieser Prozesse zu messen, insbesondere bei langen Transportwegen für Material aus entfernten Regionen. Auf dieser Basis können Maßnahmen entwickelt werden, um diese Prozesse umweltfreundlicher zu gestalten. Eine mögliche Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks von recycelten Materialien im Vergleich zu neuen Materialien könnte dann anhand der von den Unternehmen bereitgestellten Daten berechnet werden.

4. Verwendung recycelter Materialien im Bauwesen

- Prozentsatz (%) des recycelten Materials in einem Gebäude im Verhältnis zur Gesamtmenge des eingesetzten Materials

Dieser Indikator dokumentiert die Menge an recycelten Materialien, die beim Bau eines Gebäudes verwendet werden. Er kann nützlich sein, um den Anstieg dieser Materialien (und damit der Kreislaufprozesse im Bauwesen) zu überwachen. Zudem ermöglicht er die Betrachtung von Gebäuden selbst als "Materialbanken", wobei nur jene Materialien erfasst werden, die in Zukunft wiederverwendet werden könnten.

- Green Public Procurement (Anzahl an öffentlichen und umweltfreundlichen Ausschreibungen)

Dieser Indikator misst den Anteil der öffentlichen Ausschreibungsverfahren, die Umwelt- oder Nachhaltigkeitsanforderungen beinhalten (einschließlich Elemente der KW wie Produktlanglebigkeit usw.).

Holz

- Anzahl der öffentlichen Gebäude, die in einem Kalenderjahr aus Holz gebaut wurden (gemäß den Normen für Holzbauten)

Um den Anstieg der Holzverwendung im Bauwesen zu überwachen, sollte festgehalten werden, wie viele öffentliche Gebäude in Südtirol in einem Jahr ganz oder teilweise aus Holz gebaut werden. Das umfasst Gebäude, die einen signifikanten Holzanteil von mindestens einem Drittel enthalten.

- Anzahl der privaten Gebäude, die in einem Kalenderjahr aus Holz gebaut wurden (gemäß den Normen für Holzbauten)

Es ist notwendig, die zunehmende Verwendung von Holz im Bauwesen zu überwachen, insbesondere im Rahmen des Programms der Provinzregierung, das vorsieht, dass 25% der neuen Gebäude aus Holz gebaut werden, sowie des Klimaplanes, der dieses Ziel auf 30% festlegt. Dabei sollte verfolgt werden, wie viele private Gebäude in Südtirol jährlich ganz oder teilweise aus Holz errichtet werden, wobei nur

Gebäude berücksichtigt werden, die einen signifikanten Holzanteil von mindestens einem Drittel aufweisen.

- Prozentsatz (%) von recyceltem Holz an der gesamten Holzmasse

Die Förderung von Gebäuden in Modulbauweise, die vollständig aus Holz gebaut sind, sollte die Verwendung recycelten Holzes gezielt miteinschließen, um dessen Lebenszyklus zu verlängern. Dabei sollte überwacht werden, wie hoch der Anteil an recyceltem Holz im Vergleich zur insgesamt verbauten Holzmenge in diesen Gebäuden ist.

5. Wirtschaftliche Auswirkungen

- Anzahl der Unternehmen in der entsprechenden Materialindustrie in Südtirol

Die Erfassung der Anzahl von Unternehmen in der lokalen Materialindustrie könnte zu einer höheren wirtschaftlichen Attraktivität des Materials beitragen und dessen verstärkte Nutzung im Gebiet fördern.

- Anzahl der Beschäftigten in der entsprechenden Materialindustrie in Südtirol

Wie bei der Anzahl der Unternehmen kann auch die Anzahl der Beschäftigten in der Materialindustrie auf eine größere Bedeutung und Rolle dieses Sektors in der lokalen Wirtschaft hindeuten.

- Bruttoinvestitionen in Sachanlagen in den Bereichen Recycling, Reparatur und Wiederverwendung (Prozentsatz am BIP):

Dieser Indikator hilft, das Niveau der Wettbewerbsfähigkeit und Innovation in den Bereichen Recycling, Reparatur und Wiederverwendung zu quantifizieren. Insbesondere im Hinblick auf die Ausweitung und Stärkung der Märkte für Nebenprodukte und wiedergewonnene Materialien im Bauwesen ermöglicht der kreislaforientierte Ansatz mehr Gestaltungsspielraum und fördert die nachhaltige Entwicklung im Bausektor.

Holz

- Investitionen des Holzbau-Fonds (in Tausend €)

Der im Jahr 2022 eingerichtete Holzbau-Fonds des Landes Südtirol hat das Ziel, Bauprojekte zu finanzieren, die eine verstärkte Nutzung von Holz vorsehen. Die Überwachung der Ausgaben- und Investitionsströme in Bezug auf Menge und Herkunft gibt Aufschluss darüber, wie stark auf eine kreislaforientierte Strategie in Südtirol politisch hingearbeitet wird.

- Anzahl der vom Land Südtirol finanzierten Projekte zum Thema Holz im Bauwesen

Die Anzahl der Ausschreibungen oder Projekte, die direkt von den lokalen Institutionen finanziert werden, kann ein Indikator für die politischen Bemühungen hin zu einer zirkulären und nachhaltigen Transformation des lokalen Bausektors sein.

- Mehrwert der Holzindustrie in Südtirol (Euro/m³):

Der Mehrwert misst die wirtschaftliche Wertsteigerung einer Ressource nach ihrer Verarbeitung durch den Einsatz von Produktionsfaktoren (Kapital und Arbeit). Insbesondere die Verwendung von Holz als Baumaterial führt zu einer höheren Wertschöpfung im Vergleich zu anderen Nutzungen, wie etwa der energetischen Verwendung, da die Verarbeitungskette länger und die Produktionszyklen komplexer sind [108]. Ein Anstieg der Wertschöpfung aus Holz kann auf eine gewünschte Ausweitung des Marktes auch für recyceltes Holz hinweisen, was wiederum ein Vorteil für Hersteller/Herstellerinnen und Verbraucher/Verbraucherinnen wäre.

9. Best practices

In der heutigen Zeit ist die Einführung von Praktiken der KW essenziell, um globalen Umweltproblemen zu begegnen und nachhaltige Entwicklung zu fördern. In diesem Kapitel untersuchen wir einige herausragende Beispiele für KW im Bauwesen, bei denen das Recycling und die Nutzung von Naturmaterialien nicht nur die Umweltbelastung reduzieren, sondern auch die Ressourceneffizienz und Innovation im Produktionszyklus fördern.

Fall 1: Recycling von Verpackungen aus Kork und Holz zur Herstellung von Wärme- und Schalldämmmaterialien für Gebäude

Der Prozess des Recyclings von Verpackungen aus Kork und Holz zur Herstellung von Wärme- und Schalldämmmaterialien für Gebäude stellt eine innovative Lösung zur Reduzierung der Umweltbelastung durch Abfallmanagement dar. Diese Praxis nutzt die natürlichen Eigenschaften von Kork und Holz, die einerseits biologisch abbaubar sind und eine geringe Umweltbelastung aufweisen. Kork- und Holzverpackungen können zudem als Isoliermaterialien wiederverwertet werden. Sie bieten hervorragende thermische und akustische Eigenschaften für Gebäude und tragen so dazu bei, den Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen beim Heizen und Kühlen von Räumen zu senken.

Fall 2: Herstellung von Ziegeln aus einer Mischung von Kalk und Hanf

Ein weiteres Beispiel für *best practices* ist die Herstellung von Ziegeln mit einer Mischung aus Kalk und Hanf. Diese Kombination von Materialien bietet nicht nur hohe strukturelle Leistungen, sondern hat auch positive Auswirkungen auf das Innenraumklima von Gebäuden. Hanf ist nicht nur ein erneuerbares Material, sondern verfügt auch über feuerfeste und reinigende Eigenschaften, die zur Verbesserung der Sicherheit und der Luftqualität in Innenräumen beitragen. Der Einsatz dieser Mischung ermöglicht es außerdem, die Verwendung verschiedener klima- und umweltschädlicher Baustoffe zu ersetzen und fördert damit nachhaltigeres Bauen.



Abbildung 11: Ziegel aus einer Mischung von Kalk und Hanf

Kürzlich wurde im Rahmen der Initiative New European Bauhaus der Europäischen Kommission ein Bündnis im Holzsektor gegründet, um die Nutzung neuer „bio-based“

Materialien zu erforschen und innovative Lösungen für nachhaltig erstellte Gebäude zu fördern. Dieses Bündnis initiierte die Plattform Wood4Bauhaus, die darauf abzielt, alle Akteure des Bauwesens zu vernetzen. Ziel ist es, die gebaute Umwelt in ein zirkuläres und integratives Modell zu transformieren, das aktiv dem Klimawandel entgegenwirkt.

10. Schlussfolgerung

In Südtirol besteht das Interesse und die Bereitschaft, eine Strategie für die Kreislaufwirtschaft umzusetzen, insbesondere in einem Schlüsselbereich wie dem Bausektor. Dies wird sowohl auf politischer Ebene mit der Autonomen Provinz Bozen als auch auf wirtschaftlicher Ebene unter den wichtigsten Akteuren der Industrie deutlich. Die Kreislaufwirtschaft, ein Modell, das in der Region verbreitet werden soll, ist bereits integrativ in anderen Schlüsseldokumenten der Provinz eingebunden, wie dem Klimaplan 2040 und der RIS3. Diese beiden Strategiedokumente bilden den Rahmen für die Bereiche Innovation, Dekarbonisierung und nachhaltiger Entwicklung.

Mit Hinblick auf den Bausektor setzen verschiedene Unternehmen die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft bereits in einer Reihe von Best Practices um. Auch ist die Bereitschaft gegeben, den Anteil von recyceltem Beton in öffentlichen Ausschreibungen zu erhöhen, wo dies technisch möglich ist. Der Anteil übersteigt dabei deutlich die 5%, die in den nationalen CAM (Mindestumweltkriterien) festgelegt wurden. Nachdem das Potenzial der Kreislaufwirtschaft im Bausektor für Südtirol unter Berücksichtigung des geltenden Rechtsrahmens beschrieben wurde, fokussierte sich dieser Bericht auf die Analyse der verwendeten Materialien im Bausektor. Dies erfolgte anhand von Daten, wissenschaftlichen Studien sowie durch den Austausch mit Experten/Expertinnen aus relevanten Fachbereichen, einschließlich Interviews und Workshops.

Die durchgeführte SWOT-Analyse hat die Stärken und Schwächen der Materialien sowie die damit verbundenen Risiken und Chancen aufgezeigt, um die Dynamiken besser zu verstehen, die zu einer höheren Zirkularität im Bauwesen führen können. Hinsichtlich des Wiederverwendungspotenzials zeigt sich, dass inerte Materialien in Südtirol leichter recycelt werden können, während für nicht-inerte Materialien noch keine ausreichende kritische Masse vorhanden ist, um einen funktionierenden Markt für recycelte Produkte zu etablieren. Ein weiterer identifizierter Handlungsbedarf betrifft den Mangel an Infrastrukturen für die Verarbeitung und Deponierung von Materialien (zum Beispiel Rückbau, Demontage, Behandlung, Recycling) sowie die hohen Arbeitskosten, die dazu führen, dass diese Materialien oft zur Entsorgung in andere Regionen (insbesondere nach Österreich oder in benachbarte italienische Regionen wie Venetien und Lombardei) transportiert werden. Zudem zeigt die SWOT-Analyse die Notwendigkeit auf, die Komponenten von Gebäuden stärker an die Prinzipien des Ökodesigns anzupassen, um einen einfacheren Rückbau und die Wiederverwendung von abgetragenen Baustoffen zu ermöglichen. Dies erfordert eine engere Zusammenarbeit zwischen Technikern/Technikerinnen und Planern/Planerinnen. Darüber hinaus sollte eine stärkere Integration der Recyclingaktivitäten mit den selektiven Rückbauprozessen angestrebt werden, um effizienter und sicherer eine größere Menge an recycelten Materialien zu gewinnen.

Die Ergebnisse der SWOT-Analyse bildeten die Grundlage für die im Kapitel 7 vorgeschlagenen Maßnahmen, die nach Materialien gegliedert sind. Auf dieser Basis wurden im Kapitel 8 Key Performance Indikatoren entwickelt, um den Beitrag dieser Materialien zur Kreislaufwirtschaft messbar zu machen.

Dieses Dokument stellt somit eine fundierte Grundlage für politische Entscheidungstragende auf Provinzebene dar, um konkrete Maßnahmen und Richtlinien für die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaftsstrategie in Südtirol zu erarbeiten. Abschließend ist anzumerken, dass die begrenzte Verfügbarkeit, die Fragmentierung und in einigen Fällen die Divergenz der vorhandenen Daten eine Einschränkung dieser Studie darstellen. Ein Teil dieser auf Annahmen basierenden Daten bedarf einer vertieften Untersuchung, um den Ressourcenverbrauch, die

Abfallproduktion und die Verbesserungspotenziale in der Recyclingkette des Bausektors in Südtirol präziser abzubilden. Zudem wäre es wünschenswert, die Abfallverfolgung zukünftig öffentlich zugänglich und detaillierter zu gestalten, damit sowohl Legislative als auch Privatpersonen von den Informationen profitieren und darauf aufbauend fundierte Maßnahmen ergreifen können.

11. Quellen

- [1] Europäische Kommission und Directorate-General for Kommunikation, *Circular economy action plan – For a cleaner and more competitive Europe*. Publications Office of the European Union, 2020. doi: 10.2779/05068
- [2] ESPON, Interact, Interreg Europe, e URBACT, «Pathways to a circular economy in cities and regions». 2016. Zur Verfügung auf: https://urbact.eu/sites/default/files/policy_brief_on_circular_economy.pdf
- [3] K. Richardson *et al.*, «Earth beyond six of nine planetary boundaries», *Science Advances*, Bd. 9, 37, S. 2458, 2023, doi: 10.1126/sciadv.adh2458
- [4] Ellen MacArthur Foundation, «Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe», 2015. Zur Verfügung auf: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/growth-within-a-circular-economy-vision-for-a-competitive-europe>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [5] Fraunhofer Institute, «Innovation und Forschung Südtirol 2030», 2021, Zur Verfügung auf: <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/458906>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [6] Ellen MacArthur Foundation, «The butterfly diagram: visualising the circular economy», 2019. Zur Verfügung auf: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [7] Republik Österreich, «Österreichische Strategie zur Kreislaufwirtschaft». Zur Verfügung auf: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/Kreislaufwirtschaft/strategie.html. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [8] G. Bressanelli, N. Sacconi, D. C. A. Pigosso, e M. Perona, «Circular Economy in the WEEE industry: a systematic literature review and a research agenda», *Sustainable Production and Consumption*, Bd. 23, S. 174–188, lug. 2020, doi: 10.1016/j.spc.2020.05.007
- [9] S. Morsetto, «Targets for a circular economy», *Resources, Conservation and Recycling*, Bd. 153, S. 104553, . 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104553
- [10] M. Camilleri, «Closing the loop for resource efficiency, sustainable consumption and production: a critical review of the circular economy», *IJSD*, Bd. 1, S. 1, 2018, doi: 10.1504/IJSD.2018.10012310
- [11] OECD, *Extended Producer Responsibility: A Guidance Manual for Governments*. OECD, 2001. doi: 10.1787/9789264189867-en. Zur Verfügung auf: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/extended-producer-responsibility_9789264189867-en. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [12] W. Vermeulen *et al.*, *WHITE PAPER on Pathways for Extended Producer Responsibility on the road to a Circular Economy*. 2021. doi: 10.13140/RG.2.2.11527.93602
- [13] A. Orasmaa, L. Laurila, e H. Liimatainen, «Rethinking ownership. Producer ownership models in a circular economy», 2020, Zur Verfügung auf: <https://media.sitra.fi/app/uploads/2020/12/rethinking-ownership.pdf>
- [14] McKinsey Global Institute, «Risk, resilience, and rebalancing in global value chains», 2020. Zur Verfügung auf: https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/risk-resilience-and-rebalancing-in-global-value-chains#. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [15] Autonome Provinz Bozen Südtirol, « Beschluss der Landesregierung Nr. 595 in der Sitzung vom 18. Juli 2023: Genehmigung des KlimaPlans Südtirol 2040», 2023. Zur Verfügung auf: https://lexbrowser.provinz.bz.it/doc/de/231000/beschluss_vom_18_juli_2023_nr_595.asS. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [16] « Lexbrowser - Beschluss vom 18. Juli 2023, Nr. 595». Zur Verfügung auf: https://lexbrowser.provinz.bz.it/doc/de/231000/beschluss_vom_18_juli_2023_nr_595.aspx. [Aufgerufen am: 7. Oktober 2024]

- [17] « Landessozialplan 2030», *issuu*. Zur Verfügung auf: https://issuu.com/landsuedtirol-provinciabolzano/docs/landessozialplan_2030. [Aufgerufen am: 18. September 2024]
- [18] « Landesplan für nachhaltige Mobilität - Projekte». Zur Verfügung auf: <https://mobilitaet.provinz.bz.it/de/projekte> [Aufgerufen am: 18. September 2024]
- [19] « Das Landestourismusentwicklungskonzept 2030+ für Südtirol», *issuu*. Zur Verfügung auf: https://issuu.com/landsuedtirol-provinciabolzano/docs/1652350509_ltek_de_final. [Aufgerufen am: 18. September 2024]
- [20] «Waldagenda2030_IT.pdf». Zur Verfügung auf: https://www.provinz.bz.it/land-forstwirtschaft/forstdienst-foerster/downloads/Waldagenda2030_DE.pdf. [Aufgerufen am: 18. September 2024]
- [21] «LandWIRTschaft 2030f». Zur Verfügung auf: https://assets-eu-01.kc-usercontent.com/787a0907-db8e-01b4-1d53-09d7e342892f/941c814b-2ff9-480c-81c8-de135d6f91bd/567756_LandWIRTschaft2030_de_pdf.pdf. [Aufgerufen am: 18. September 2024]
- [22] KlimaHaus, «Energieklasse D big G D - G», 2024. Zur Verfügung auf: <https://www.klimahaus.it/de/gebaeudezertifizierung/klimahaus-klassen/klasse-d-bis-g-1469.html>. [Aufgerufen am: 30. Mai 2024]
- [23] Europäische Kommission, « Richtlinie 2009/125/EG zur Einführung eines Rahmens zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für energieverbrauchsrelevante Produkte», 2009. Zur Verfügung auf: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/125/oj>
- [24] Autonome Provinz Bozen Südtirol, «Innovation und Forschung Südtirol 2030 – Smart Specialisation Strategy (RIS3) der Autonomen Provinz Bozen – Südtirol », 2021. Zur Verfügung auf: <https://innovation-forschung.provinz.bz.it/de/home>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [25] ISTAT, «Principali aggregati territoriali di Contabilità Nazionale: valore aggiunto per branca di attività», 2024. Zur Verfügung auf: http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCCN_PILT
- [26] F. Krausmann *et al.*, «Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Bd. 114, S. 201613773, Feb. 2017, doi: 10.1073/pnas.1613773114
- [27] Baukollegium Südtirol, «Tätigkeitsbericht 2022». 2023.
- [28] Global Alliance of Buildings and Construction, «2021 Global Status Report for Buildings and Construction», *UNEP - UN Environment Programme*, 19. Oktober 2021. Zur Verfügung auf: <http://www.uneS.org/resources/report/2021-global-status-report-buildings-and-construction>. [Aufgerufen am: 29. Mai 2024]
- [29] Europäische Kommission, « Bau- und Abbruchabfälle », 2024. Zur Verfügung auf: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en?etranolive=1&prefLang=de&etrans=de [Aufgerufen am: 29. Mai 2024]
- [30] Europäische Kommission, « Gebäude und Bauwesen», 2024. Zur Verfügung auf: https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/buildings-and-construction_en?prefLang=de&etrans=de. [Aufgerufen am: 29. Mai 2024]
- [31] V. Augiseau e S. Barles, «Studying construction materials flows and stock: A review», *Resources, Conservation and Recycling*, Bd. 123, S. 153–164, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.resconrec.2016.09.002
- [32] D. Guo e L. Huang, «The State of the Art of Material Flow Analysis Research Based on Construction and Demolition Waste Recycling and Disposal», *Buildings*, Bd. 10, Art. 10. Okt 2019, doi: 10.3390/buildings9100207
- [33] J. Bastos e L. Rosado, «Regional Metabolism: A Material and Product Flow Accounting Model for Trentino, Italy», in *Smart and Sustainable Planning for Cities and Regions*, A. Bisello, D. Vettorato, M. Bottero, e D. Kolokotsa, A c. di, in Green Energy and Technology. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, S. 47–59. doi: 10.1007/978-3-031-39206-1_4. Zur Verfügung auf: https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-39206-1_4. [Aufgerufen am: 29. Mai 2024]

- [34] C. Sendra, X. Gabarrell, e T. Vicent, «Material flow analysis adapted to an industrial area», *Journal of Cleaner Production*, Bd. 15, S. 1706–1715, Nov. 2007, doi: 10.1016/j.jclepro.2006.08.019
- [35] T. E. Graedel, «Material Flow Analysis from Origin to Evolution», *Environ. Sci. Technol.*, Bd. 53, 21, S. 12188–12196, Nov. 2019, doi: 10.1021/acs.est.9b03413
- [36] W. Wang, D. Jiang, D. Chen, Z. Chen, W. Zhou, e B. Zhu, «A Material Flow Analysis (MFA)-based potential analysis of eco-efficiency indicators of China's cement and cement-based materials industry», *Journal of Cleaner Production*, Bd. 112, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.06.103
- [37] ASTAT, «Attività edilizia e recuperi edilizi in Alto Adige (Dati provvisori) - 2022», *Istituto provinciale di statistica*, 2022. Zur Verfügung auf: https://astat.provincia.bz.it/it/news-pubblicazioni-info.asp?news_action=4&news_article_id=678709. [Aufgerufen am: 29. Mai 2024]
- [38] N. Heeren e S. Hellweg, «Tracking Construction Material over Space and Time: Prospective and Geo-referenced Modeling of Building Stocks and Construction Material Flows», *Journal of Industrial Ecology*, Bd. 23, 1, S. 253–267, 2019, doi: 10.1111/jiec.12739
- [39] L. Schebek *et al.*, «Material stocks of the non-residential building sector: the case of the Rhine-Main area», *Resources, Conservation and Recycling*, Bd. 123, S. 24–36, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.resconrec.2016.06.001
- [40] ENEA, «Le detrazioni fiscali per l'efficienza energetica e l'utilizzo delle fonti rinnovabili di energia negli edifici esistenti», 2023. Zur Verfügung auf: <https://www.efficientaenergetica.enea.it/component/jdownloads/?task=download.send&id=619&catid=9&Itemid=101>. [Aufgerufen am: 29. Mai 2024]
- [41] C. Zandonella Callegher, G. Grazieschi, E. Wilczynski, U. Filippi Oberegger, e S. Pezzutto, «Assessment of Building Materials in the European Residential Building Stock: An Analysis at EU27 Level», *Sustainability*, Bd. 15, S. 8840, Mai 2023, doi: 10.3390/su15118840
- [42] Dänische Regierung, «Strategy for Circular Economy. More value and better environment through design, consumption, and recycling», 2018.
- [43] W. Wuyts, A. Miatto, K. Khumvongsa, G. Jing, S. Aalto, e L. Huang, «How Can Material Stock Studies Assist the Implementation of the Circular Economy in Cities?», *Environmental Science & Technology*, Bd. 56, Nov. 2022, doi: 10.1021/acs.est.2c05275
- [44] X. Yang, M. Hu, C. Zhang, e B. Steubing, «Urban mining potential to reduce primary material use and carbon emissions in the Dutch residential building sector», *Resources Conservation and Recycling*, Bd. 180, S. 106215, Mai. 2022, doi: 10.1016/j.resconrec.2022.106215
- [45] Europäische Kommission, « Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien », 2008. Zur Verfügung auf: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/2018-07-05?eliuri=eli%3A2008%3A98%3A2018-07-05&locale=de>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [46] Europäische Kommission, «Reporting on material recovery of C&D waste Guidance for the reporting of the data according to Commission Decision 2011/753/EU and Commission Implementing Decision (EU) 2019/1004», 2022, Zur Verfügung auf: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/342366/351811/C%26D+-+Guidance+on+Construction+and+Demolition+waste+reporting.pdf/6063625b-e9f0-8d24-be25-c3fa88aed0f1?t=1622469335376>
- [47] Europäische Kommission, « Richtlinie (EU) 2018/851 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle », 2018. Zur Verfügung auf: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [48] Europäische Kommission, « Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates », 2011. Zur Verfügung auf: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/305/oj>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]

- [49] Generaldirektion der Europäischen Kommission für Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU, «EU Construction & Demolition Waste Management Protocol», 2016, Zur Verfügung auf: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/20509/?locale=de>
- [50] Generaldirektion der Europäischen Kommission für Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU, « Leitlinien für Abbruch- und Umbauarbeiten an Gebäuden vorgeschaltete Abfallaudits», 2018, Zur Verfügung auf: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/31521/?locale=de>
- [51] Europäische Kommission, «Circular economy principles for building design», 2020, Zur Verfügung auf: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/39984?locale=de>
- [52] Europäische Kommission, « Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung)», 2010. Zur Verfügung auf: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [53] Europäische Kommission, « Richtlinie (EU) 2023/1791 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. September 2023 zur Energieeffizienz und zur Änderung der Verordnung (EU) 2023/955 (Neufassung)», 2023. Zur Verfügung auf: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [54] Europäische Kommission, « Verordnung (EU) Nr. 995/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Oktober 2010 über die Verpflichtungen von Marktteilnehmern, die Holz und Holzserzeugnisse in Verkehr bringen». Zur Verfügung auf: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2010/995/oj>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [55] Ministerium für Ökologische Transition, «Decreto Ministeriale n.342 del 19 settembre 2022», 2022. Zur Verfügung auf: https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/PNRR/DM_342_del_19_settembre_2022_Adozione_del_cronoprogramma_della_Strategia_nazionale_per_l%E2%80%99economia_circolare.pdf. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [56] Italienische Republik, «Legge n. 221 del 28 dicembre 2015: Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali», 2015. Zur Verfügung auf: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2016/1/18/16G00006/sg>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [57] Italienische Republik, «Decreto Legislativo n.116 del 3 settembre 2020: Attuazione della direttiva (UE) 2018/851 che modifica la direttiva 2008/98/CE relativa ai rifiuti e attuazione della direttiva (UE) 2018/852 che modifica la direttiva 1994/62/CE sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio», 2020. Zur Verfügung auf: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/09/11/20G00135/sg>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [58] Italienische Republik, «Decreto Legislativo n.192 del 19 agosto 2005: Attuazione della direttiva (UE) 2018/844, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, della direttiva 2010/31/UE, sulla prestazione energetica nell'edilizia, e della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia», 2005. Zur Verfügung auf: <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2005;192~art4-com1>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [59] Italienische Republik, «Decreto Legislativo n.102 del 4 luglio 2014: Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE», 2014. Zur Verfügung auf: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2014/07/18/14G00113/sg>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [60] Ministerium für Infrastruktur und Verkehr, «Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni», 2018. Zur Verfügung auf: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/2/20/18A00716/sg>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [61] Ministerium für Infrastruktur und Verkehr, «Criteri Ambientali Minimi per l’Affidamento del Servizio di Progettazione ed Esecuzione dei Lavori di Interventi Edilizi», 2022. Zur Verfügung auf: https://gS.mite.gov.it/sites/default/files/2022-08/GURI_183_06_08_22_Allegato_Edilizia.pdf. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]

- [62] Ministerium für Ökologische Transition, «Decreto n.152 del 27 settembre 2022: Regolamento che disciplina la cessazione della qualifica di rifiuto dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione e di altri rifiuti inerti di origine minerale, ai sensi dell'articolo 184-ter, comma 2, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana», 2022. Zur Verfügung auf:
https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2022-10-20&atto.codiceRedazionale=22G00163&elenco30giorni=false.
 [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [63] Autonome Provinz Bozen Südtirol, « Beschluss der Landesregierung vom 18.07.2005, Nr. 2594, Genehmigung der 2. Aktualisierung des "Abfallbewirtschaftungskonzeptes 2000" (Kapitel 5, 7 und 9)», Landesagentur für Umwelt und Klimaschutz, 1999. Zur Verfügung auf:
<https://umwelt.provinz.bz.it/de/auswahl-gesetzgebung-umwelt>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [64] Autonome Provinz Bozen Südtirol, « Beschluss der Landesregierung vom 18.07.2005, Nr. 2594, Genehmigung der 2. Aktualisierung des "Abfallbewirtschaftungskonzeptes 2000" (Kapitel 5, 7 e 9)», Landesagentur für Umwelt und Klimaschutz, 2005. Zur Verfügung auf:
<https://umwelt.provinz.bz.it/de/auswahl-gesetzgebung-umwelt>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [65] Autonome Provinz Bozen Südtirol, « Beschluss der Landesregierung vom 20.12.2016, Nr. 143, Genehmigung der 3. Aktualisierung des "Abfallbewirtschaftungskonzeptes 2000" (Kapitel 5 und 7)», Landesagentur für Umwelt und Klimaschutz, 2016. Zur Verfügung auf:
<https://umwelt.provinz.bz.it/de/auswahl-gesetzgebung-umwelt>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [66] Autonome Provinz Bozen Südtirol, « Beschluss der Landesregierung vom 26. September 2017, Nr. 1028, Abfallwirtschaftsplan für Sonderabfälle der Autonomen Provinz Bozen - Südtirol», Landesagentur für Umwelt und Klimaschutz, 2017. Zur Verfügung auf:
<https://umwelt.provinz.bz.it/de/auswahl-gesetzgebung-umwelt>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [67] Autonome Provinz Bozen Südtirol, « Beschluss der Landesregierung vom 28. Dezember 2021, Nr. 1139, Genehmigung der 4. Aktualisierung des "Abfallbewirtschaftungskonzeptes 2000"», Landesagentur für Umwelt und Klimaschutz, 2021. Zur Verfügung auf:
<https://umwelt.provinz.bz.it/de/auswahl-gesetzgebung-umwelt>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [68] Autonome Provinz Bozen Südtirol, « Landesgesetz vom 26. Mai 2006, Nr. 4 - Abfallbewirtschaftung und Bodenschutz», 2006. Zur Verfügung auf:
https://lexbrowser.provinz.bz.it/doc/de/lp-2006-4/landesgesetz_vom_26_mai_2006_nr_4.aspx.
 [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [69] Autonome Provinz Bozen Südtirol, « Beschluss vom 14. Juli 2020, Nr. 513 Technische Richtlinien für die Errichtung und den Betrieb von Recyclinghöfen», 2020. Zur Verfügung auf:
https://lexbrowser.provinz.bz.it/doc/de/220420/beschluss_vom_14_juli_2020_nr_513.aspx.
 [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [70] Autonome Provinz Bozen Südtirol, «Dekret des Landeshauptmanns vom 16. Dezember 1999, Nr. 69, Durchführungsverordnung von Baurestmassen und die Qualität von Recycling-Baustoffen», 16. Dezember 1999. Zur Verfügung auf: <http://assets.gestione-rifiuti.it/legislazione-regionale/TrentinoAltoAdige/BOLZANO-Decreto-del-Presidente-della-Giunta-Provinciale-16-dicembre-1999,n.69.pdf>. [Aufgerufen am: 30. Mai 2024]
- [71] Autonome Provinz Bozen Südtirol, «Beschluss vom 11. April 2017, Nr. 398 Richtlinien zu Qualität und Gebrauch von Recyclingbaustoffen», 2017. Zur Verfügung auf:
https://lexbrowser.provinz.bz.it/doc/de/207239/beschluss_vom_11_april_2017_nr_398.aspx.
 [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [72] Autonome Provinz Bozen Südtirol, «Beschluss der Landesregierung Nr. 1030 Sitzung vom 27/09/2016 - Bestimmungen für die Wiederverwertung von Bauabfällen und für die Qualität von recycelten Baumaterialien», Landesagentur für Umwelt und Klimaschutz, 2016. Zur Verfügung auf: <https://umwelt.provinz.bz.it/de/auswahl-gesetzgebung-umwelt>. [Aufgerufen am: 29. Mai 2024]

- [73] Autonome Provinz Bozen Südtirol, « Landesgesetz vom 10. Juli 2018, Nr. 9 - Raum und Landschaft», 2018. Zur Verfügung auf: https://lexbrowser.provinz.bz.it/doc/de/212899/landesgesetz_vom_10_juli_2018_nr_9.aspx. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [74] IFEU e SYNECO, «Recupero dei materiali di demolizione di CaseClima», 2012, Zur Verfügung auf: https://ambiente.provincia.bz.it/downloads/Progetto_demolizione_Casaclima.pdf
- [75] «Die KlimaHaus Klassen». Zur Verfügung auf: <https://www.klimahaus.it/de/gebaeudezertifizierung/klimahaus-klassen-1409.html>. [Aufgerufen am: 7. Oktober 2024]
- [76] Autonome Provinz Bozen Südtirol, «Dekret des Landeshauptmanns vom 20. April 2020, Nr. 161 - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Energiebonus in Umsetzung der europäischen Richtlinien (EU) 2018/844, 2009/28/EG, 2010/31/EU und 2012/27/EU», 2020. Zur Verfügung auf: https://lexbrowser.provinz.bz.it/doc/de/219301/dekret_des_landeshauptmanns_vom_20_april_2020_nr_16.aspx. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [77] J. Bastos, M. Rizzari, E. Agosti, V. D'Alonzo, C. Hoffmann, e D. Vettorato, «Analisi dello stato dell'arte: Report sui settori e attività produttive per promuovere l'Economia Circolare», Zenodo, ott. 2021. doi: 10.5281/ZENODO.6389393. Zur Verfügung auf: <https://zenodo.org/record/6389393>. [Aufgerufen am: 27. Mai 2024]
- [78] F. Knappe, A. Diebel, J. Reinhardt, e S. Theis, «Recupero die materiali di demolizione di CaseClima», Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, 2012
- [79] N. Pahl e A. Richter, *SWOT Analysis: Idea, Methodology and a Practical Approach*. GRIN Verlag, 2009. Zur Verfügung auf: <https://books.google.it/books?id=Tub1VFyFVesC>
- [80] F. R. D. Oliveira, R. F. D. Santos, S. L. B. França, e L. A. D. Rangel, «Strategies and Challenges for the Circular Economy: a Case Study in Portugal and a Panorama for Brazil», *Braz. arch. biol. technol.*, Bd. 63, S. e20180646, 2020, doi: 10.1590/1678-4324-2020180646
- [81] H. Xiao, Z. Li, X. Jia, e J. Ren, «Chapter 2 - Waste to energy in a circular economy approach for better sustainability: a comprehensive review and SWOT analysis», in *Waste-to-Energy*, J. Ren, A. c. di, Academic Press, 2020, S. 23–43. doi: 10.1016/B978-0-12-816394-8.00002-1. Zur Verfügung auf: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128163948000021>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [82] L. A. B. Paes, B. S. Bezerra, R. M. Deus, D. Jugend, e R. A. G. Battistelle, «Organic solid waste management in a circular economy perspective – A systematic review and SWOT analysis», *Journal of Cleaner Production*, Bd. 239, S. 118086, Dez. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118086
- [83] Simon Pezzutto, Roberto Vaccaro, Pietro Zambelli, Farnaz Mosannenzadeh, Daniele Vettorato, e Adriano Bisello, «Deliverable 2.1 SWOT analysis report of the refined concept/baseline», 2015.
- [84] S. Antwi-Afari, S. T. Ng, e Md. U. Hossain, «A review of the circularity gap in the construction industry through scientometric analysis», *Journal of Cleaner Production*, Bd. 298, S. 126870, mag. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126870
- [85] B. C. Guerra *et al.*, «Circular economy applications in the construction industry: A global scan of trends and opportunities», *Journal of Cleaner Production*, Bd. 324, S. 129125, nov. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129125
- [86] Amr S. Allam, Rafaela Panizza, e Madzak Nik Bakht, «A SWOT Analysis for Deconstruction of the Canadian Built Environment», 2023, Zur Verfügung auf: https://www.researchgate.net/publication/374617652_A_SWOT_Analysis_for_Deconstruction_of_the_Canadian_Built_Environment
- [87] A. Sáez-de-Guinoa, D. Zambrana-Vasquez, V. Fernández, e C. Bartolomé, «Circular Economy in the European Construction Sector: A Review of Strategies for Implementation in Building Renovation», *Energies*, Bd. 15, 13, S. 4747, Jun. 2022, doi: 10.3390/en15134747

- [88] C. Díaz-López, M. Carpio, M. Martín-Morales, e M. Zamorano, «Defining strategies to adopt Level(s) for bringing buildings into the circular economy. A case study of Spain», *Journal of Cleaner Production*, Bd. 287, S. 125048, Mär. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125048
- [89] M. Ghobadi e S. Sepasgozar, «Circular economy strategies in modern timber construction as a potential response to climate change», *Journal of Building Engineering*, Bd. 77, S. 107229, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.jobbe.2023.107229
- [90] T. T. H. Do, T. B. T. Ly, N. T. Hoang, e V. T. Tran, «A new integrated circular economy index and a combined method for optimization of wood production chain considering carbon neutrality», *Chemosphere*, Bd. 311, Pt 2, S. 137029, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.137029
- [91] M. R. Cabral e S. Blanchet, «A State of the Art of the Overall Energy Efficiency of Wood Buildings—An Overview and Future Possibilities», *Materials*, Bd. 14, 8, Art. 8, Jan. 2021, doi: 10.3390/ma14081848
- [92] Y. Arkhangelskaya, «Economic assessment of a wood building: Life cycle cost and key stakeholders' decision-making», Jun. 2018. Zur Verfügung auf: <https://www.semanticscholar.org/paper/Economic-assessment-of-a-wood-building%3A-Life-cycle-Arkhangelskaya/781a836ab2318a11f76981bd97f4536389526b90>. [Aufgerufen am: 29. Mai 2024]
- [93] Warsaw University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Warsaw, Poland, A. Nicał, K. Sikora, e University of Wollongong in Dubai, Faculty of Engineering and Information Sciences, Dubai, UAE, «Application of Wooden Modular Construction for the Needs of the Elderly», *Oper. Res. Eng. Sci. Theor. Appl.*, Bd. 5, 1, S. 107–120, Apr. 2022, doi: 10.31181/oresta240322121n
- [94] W. Ferdous, Y. Bai, T. D. Ngo, A. Manalo, e S. Mendis, «New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings – A state-of-the-art review», *Engineering Structures*, Bd. 183, S. 883–893, Mär. 2019, doi: 10.1016/j.engstruct.2019.01.061
- [95] E. Kylkilahti *et al.*, «A consumer-driven bioeconomy in housing? Combining consumption style with students' perceptions of the use of wood in multi-storey buildings», *Ambio*, Bd. 49, 12, S. 1943–1957, Dez. 2020, doi: 10.1007/s13280-020-01397-7
- [96] A. Alwisy, S. Bu Hamdan, B. Barkokebas, A. Bouferguene, e M. Al-Hussein, «A BIM-based automation of design and drafting for manufacturing of wood panels for modular residential buildings», *International Journal of Construction Management*, Bd. 19, 3, S. 187–205, Mai. 2019, doi: 10.1080/15623599.2017.1411458
- [97] «Regelung der Altholzbehandlung in Italien, Deutschland, Österreich und in der Schweiz - Free Download PDF». Zur Verfügung auf: <https://silo.tips/download/regelung-der-altholzbehandlung-in-italien-deutschland-sterreich-und-in-der-schwe>. [Aufgerufen am: 29. August 2024]
- [98] C. Mostert, H. Sameer, D. Glanz, e S. Bringezu, «Climate and resource footprint assessment and visualization of recycled concrete for circular economy», *Resources, Conservation and Recycling*, Bd. 174, S. 105767, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105767
- [99] F. Colangelo, T. G. Navarro, I. Farina, e A. Petrillo, «Comparative LCA of concrete with recycled aggregates: a circular economy mindset in Europe», *Int J Life Cycle Assess*, Bd. 25, 9, S. 1790–1804, Sep. 2020, doi: 10.1007/s11367-020-01798-6
- [100] M. Ma, V. Tam, K. Le, e O.-K. Robert, «Factors affecting the price of recycled concrete: A critical review», *Journal of Building Engineering*, Bd. 46, S. 103743, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.jobbe.2021.103743
- [101] Autonome Provinz Bozen Südtirol, «SDG 12 - Verantwortungsvolle Konsum- und Produktionsmuster - Recycling von Materialien», 2024. Zur Verfügung auf: <https://nachhaltigkeit.provinz.bz.it/de/projekte/recycling-von-materialien>. [Aufgerufen am: 29. Mai 2024]
- [102] «UNI-EN-206.pdf». Zur Verfügung auf: <https://www.attardigrouS.it/sites/default/files/certificazioni/norme-calcestruzzo/UNI-EN-206.pdf>. [Aufgerufen am: 25. Oktober 2024]

- [103] «atecap_corretta_prescrizione_cls.pdf». Zur Verfügung auf: https://www.atecaS.it/download/atecap_corretta_prescrizione_cls.pdf. [Aufgerufen am: 25. Oktober 2024]
- [104] Holcim (Schweiz) AG, «Technische und normative Grundlagen des Recyclingbetons», 2022. Zur Verfügung auf: https://www.holcim.ch/sites/switzerland/files/2023-08/221118_hch_grundlagen_recyclingbeton_2022_a4_dep.pdf. [Aufgerufen am: 29. Mai 2024]
- [105] Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V., «Re-use und Recycling von Ziegeln. Status quo und Perspektiven», 2020.
- [106] J. Fořt e R. Černý, «Transition to circular economy in the construction industry: Environmental aspects of waste brick recycling scenarios», *Waste management (New York, N.Y.)*, Bd. 118, S. 510–520, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.wasman.2020.09.004
- [107] A. L. Murmu e A. Patel, «Towards sustainable bricks production: An overview», *Construction and Building Materials*, Bd. 165, S. 112–125, Mär. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.038
- [108] C. Wong, K. H. Mo, Y. Soon Poh, U. J. Alengaram, e T.-C. Ling (Bill), «Potential use of brick waste as alternate concrete-making materials: A review», *Journal of Cleaner Production*, Bd. 195, Mai. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.193
- [109] Z. He *et al.*, «Research progress on recycled clay brick waste as an alternative to cement for sustainable construction materials», *Construction and Building Materials*, Bd. 274, S. 122113, Mär. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122113
- [110] Baukollegium Südtirol, «Bauschutt - Entstehung und Wiederverwertung», 2022. Zur Verfügung auf: https://www.youtube.com/watch?v=K4ruK0e6wRk&ab_channel=Baukollegium-CollegioCostruttori. [Aufgerufen am: 29. Mai 2024]
- [111] «NSSGAGreenhouseGasEmissionsReport04-26-21.pdf». Zur Verfügung auf: <https://www.nssga.org/sites/default/files/2021-05/NSSGAGreenhouseGasEmissionsReport04-26-21.pdf>. [Aufgerufen am: 29. August 2024]
- [112] Regierung des Vereinigten Königreichs, «Environmental taxes, reliefs and schemes for businesses», *GOV.UK*, 2024. Zur Verfügung auf: <https://www.gov.uk/green-taxes-and-reliefs/aggregates-levy>. [Aufgerufen am: 29. Mai 2024]
- [113] ARPA Lombardia, «Market Inerti», 2024. Zur Verfügung auf: <https://marketinerti.arpalombardia.it/home>. [Aufgerufen am: 30. Mai 2024]
- [114] UNI Ente Italiano di Normazione, «Guida al mondo normativo e legislativo del vetro per edilizia», 2022.
- [115] Glass for Europe, «Recycling of end-of-life building glass», 5 Juni 2013. Zur Verfügung auf: <https://glassforeurope.com/recycling-of-end-of-life-building-glass/>. [Aufgerufen am: 29. Mai 2024]
- [116] Deloitte Sustainability, «Economic study on recycling of building glass in Europe», 2016. Zur Verfügung auf: <https://www.glassforeurope.com/wp-content/uploads/2018/04/Economic-study-on-recycling-of-building-glass-in-Europe-Deloitte.pdf>. [Aufgerufen am: 29. Mai 2024]
- [117] K. Sadowski, «Comparison of the Carbon Payback Period (CPP) of Different Variants of Insulation Materials and Existing External Walls in Selected European Countries», *Energies*, Bd. 16, 1, Art. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/en16010113
- [118] M. Stauder, «Holzströme in Südtirol», 2012. Zur Verfügung auf: <https://docplayer.org/115353496-Holzstroeme-in-suedtirol-2012.html>. [Aufgerufen am: 28. Mai 2024]
- [119] Unternehmerverband Südtirol, «Verstärkte Holznutzung: unsere Ressource 2015-2020». 2015. Zur Verfügung auf: https://www.proramus.com/smartedit/documents/content/sub/_published/TIS_charta_IT_einzeelseiten.pdf

- [120] «Material flows and resource productivity - Eurostat». Zur Verfügung auf:
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/environment/information-data/material-flows-resource-productivity>. [Aufgerufen am: 1. August 2024]
- [121] EUROSTAT, «Enterprises by NUTS 2 regions and NACE Rev.2 activity». Eurostat, 2024. doi:
10.2908/SBS_R_NUTS2021. Zur Verfügung auf:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/page/SBS_R_NUTS2021. [Aufgerufen am: 1. August 2024]
- [122] «Energy accounts - Eurostat». Zur Verfügung auf:
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/environment/information-data/energy-accounts>.
[Aufgerufen am: 1. August 2024]
- [123] EUROSTAT, «Circular material use rate by material type». Eurostat, 2022. doi:
10.2908/ENV_AC_CURM. Zur Verfügung auf:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/page/ENV_AC_CURM. [aufgerufen am: 1. August 2024]