

Das Train-the-Trainer-Handbuch in 6 verschiedenen Sprachen



TECONAUT

USING DEEP TECH TO FACILITATE THE ECO
TRANSITION IN THE NAUTICAL SECTOR



Co-funded by
the European Union

Ein digitales Handbuch in Englisch, Spanisch, Französisch, Griechisch, Polnisch, Deutsch und Türkisch.

Projektnummer	101139940
Titel des Dokuments	Das Train-the-Trainer- Handbuch in 6 verschiedenen Sprachen
Datum	12. Januar 2026
Dokumenttyp	Richtlinien
Verteilung	NTUA
Verbreitungsebene	Öffentlich
Version	1

Haftungsausschluss

Gefördert von der Europäischen Union. Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind jedoch ausschließlich die der Autoren und spiegeln nicht notwendigerweise die der Europäischen Union oder der EACEA wider. Weder die Europäische Union noch die Förderstelle übernehmen dafür die Verantwortung.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

2 Die Rolle dieses Handbuchs

2.1 Zweck

2.2 Nutzer und Zielgruppe

2.3 Kontext

3 Kursübersicht und Begleitmaterial zu den Lektionen

4 Schulungsleitfaden

4.1 Schulungsansatz und -anleitung

4.2 Praktische Tipps für Trainer

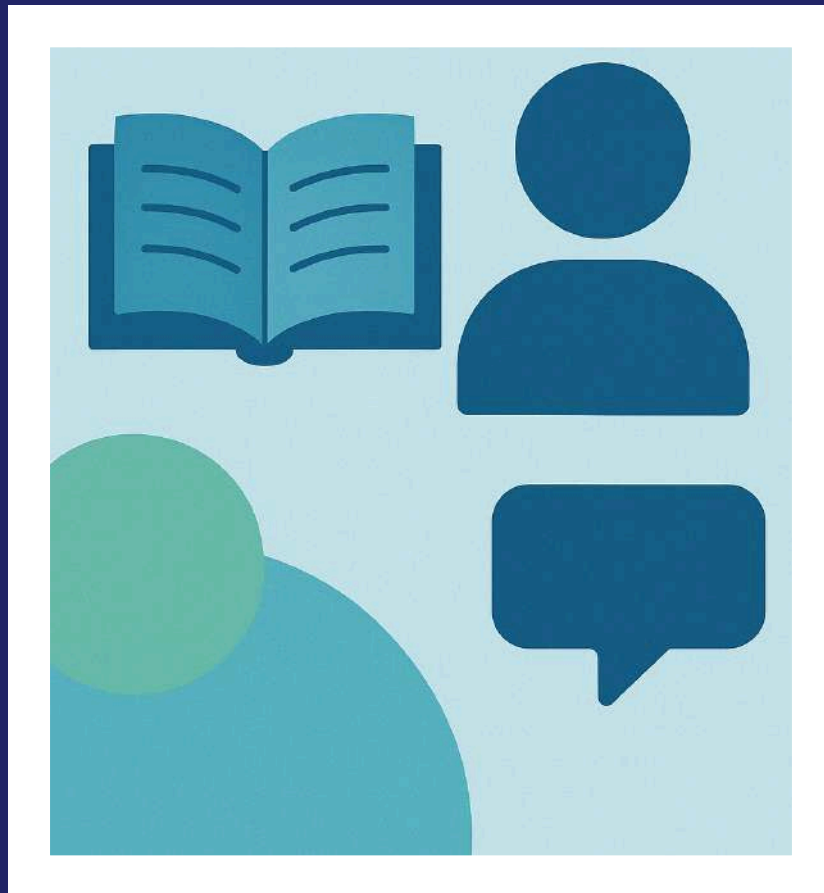
5. Liste der Materialien und Ausrüstung

Anhang: Unterstützende Präsentationen und Videos



1

Einführung



Co-funded by
the European Union

ERASMUS-EDU-2023-PI-ALL-INNO

1. Einleitung

Dieses Handbuch dient als praktisches Nachschlagewerk für Ausbilder im Rahmen des EU-geförderten Projekts TEcoNaut – einer europäischen Initiative zur Stärkung der Zusammenarbeit zwischen Hochschulen, Berufsbildungseinrichtungen und der Bootsbauindustrie. Ziel des Projekts ist es, den zukünftigen Qualifikationsbedarf zu ermitteln, bestehende Qualifikationslücken zu schließen und die langfristige Zusammenarbeit im gesamten Sektor zu fördern.

Mit dem Fokus auf beruflicher Aus- und Weiterbildung im Bereich nachhaltiger Materialien für den Bootsbau unterstützt TEcoNaut den Übergang der Branche zu innovativen, umweltverträglichen Technologien.

Genauer gesagt, zielt das TEcoNaut-Projekt darauf ab, sein Hauptziel durch Folgendes zu erreichen:

- Die Entwicklung eines Lehrgangs zu Deep-Tech-Materialien für die berufliche Aus- und Weiterbildung mit Schwerpunkt auf deren Einsatz und Anwendung sowie eines Train-the-Trainer-Programms.
- Durchführung einer eingehenden Phase zur Ermittlung von Kompetenzlücken, deren Ergebnisse mit ESCO verknüpft werden und die die neue EU Green Taxonomy nutzen.
- Die Förderung eines unternehmerischen Denkens bei Studenten und zukünftigen Arbeitskräften im „ökologischen“ Schiffbausektor, um ihnen zukünftige Geschäftsmöglichkeiten in der Verwendung nachhaltiger Materialien und der Kreislaufwirtschaft von Bootsbaumaterialien aufzuzeigen und gleichzeitig ihre Resilienzfähigkeiten zu stärken.
- Wir entwickeln ein praxisorientiertes Traineeprogramm für Studierende an Hochschulen, das ihnen ermöglicht, Deep-Tech-Kompetenzen in Unternehmen anzuwenden. Die dringend benötigte grüne Deep-Tech-Welle im Bootsbau kann nur durch die Zusammenarbeit von Hochschulen, die Deep-Tech-Materialien erforschen, Unternehmen, die Boote nachhaltig und umweltfreundlich mit diesen Materialien bauen, und Berufsbildungszentren, die qualifiziertes Personal bereitstellen, erfolgreich entwickelt werden.

Dieses Handbuch ergänzt den **TEcoNaut-Kurs: Nachhaltige Werkstoffe im Bootsbau**. Es bietet Anleitungen, empfohlene Vorgehensweisen und strukturierte Ressourcen, um die effektive Durchführung der Lernmodule zu unterstützen und den Ausbildern zu helfen, die definierten Lernziele zu erreichen.



2

Die Aufgabe dieses Handbuchs



Co-funded by
the European Union

ERASMUS-EDU-2023-PI-ALL-INNO

2. Die Aufgabe dieses Handbuchs

2.1 Zweck

Dieses Handbuch dient als zentrales Nachschlagewerk für die Lehrenden des TEcoNaut-Kurses. Es bietet praktische Hinweise zu Lehrmethoden, Ressourcen und ergänzenden Materialien, um effektives Lernen zu fördern und eine einheitliche Durchführung der Kursmodule zu gewährleisten.

Darüber hinaus bietet das Handbuch weiterführende Informationen zu verschiedenen Kursthemen, um Lehrenden zusätzlichen Kontext für die Beantwortung fortgeschrittener Fragen der Lernenden zu bieten. Durch die Integration von Lehrmitteln, Referenzmaterialien und praktischen Hinweisen unterstützt das Lehrerhandbuch Lehrende dabei, ein qualitativ hochwertiges Lernerlebnis in einer anregenden, interaktiven Umgebung zu gestalten.

Genauer gesagt, unterstützt das Handbuch die Ausbilder bei Folgendem:

- Anwendung effizienter und lernzentrierter Schulungsansätze
- Klassenaktivitäten und Gruppendynamik zu steuern
- Überwachung des Fortschritts im Hinblick auf die definierten Lernziele
- Beantwortung von Fragen der Schüler, die über den Kerninhalt des Kurses hinausgehen.

Dieses Handbuch ist nicht als einschränkend gedacht. Ausbilder werden ermutigt, das Material entsprechend ihrer fachlichen Kompetenz und den Bedürfnissen ihrer Lernenden anzupassen und zu erweitern.

2.2 Nutzer und Zielgruppe

Dieses Handbuch richtet sich in erster Linie an Ausbilder im Bereich der beruflichen Aus- und Weiterbildung und konzentriert sich auf nachhaltigen Bootsbau. Es kann auch als Nachschlagewerk verwendet werden von:

- Pädagogen an Hochschulen
- Ausbildungsspezialisten in der Schiffbau- und Bootsbauindustrie
- Fachkräfte, die an der Unterstützung oder Durchführung von VET-Aktivitäten im Rahmen des TEcoNaut-Kurses beteiligt sind.

2.3 Kontext

Dieses Handbuch bietet einen umfassenden Rahmen zur Unterstützung von Ausbildern bei der Durchführung des TEcoNaut-Kurses. Der Rahmen entspricht den Qualifikationsanforderungen des EQF-Niveaus 4 und gewährleistet somit die Übereinstimmung mit anerkannten europäischen Standards für die Berufsausbildung (siehe <https://europass.europa.eu/en/description-eight-eqf-levels>).

Der Inhalt des Lehrerhandbuchs wird im Folgenden dargestellt. Es ist so aufgebaut, dass es Ausbildern klare Anleitungen, praktische Hilfsmittel und strukturierte Unterstützung in allen Phasen des Ausbildungsprozesses bietet.

3

Kursübersicht und
Begleitinformationen

4

Schulungsleitfaden

5

Liste der Materialien

Anhang

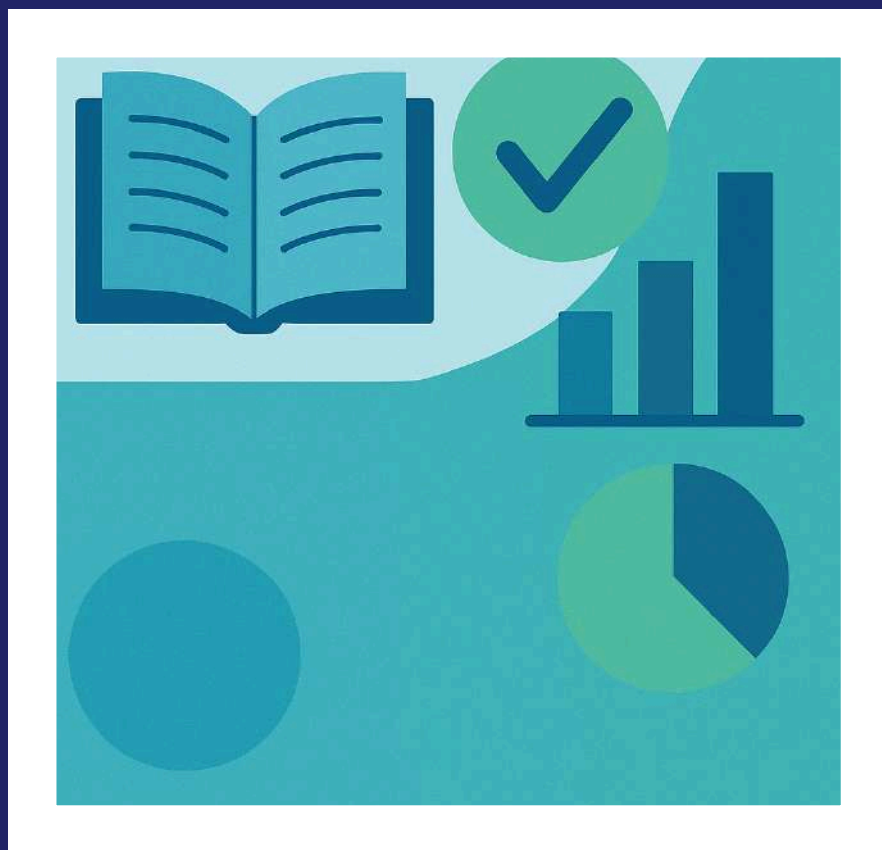
Unterstützende
Präsentationen und Videos

Abschnitt 3 bietet einen Überblick über die einzelnen Lerneinheiten, ergänzt durch weiterführende Informationen zu verschiedenen Themenbereichen und Tipps zur Durchführung der beschriebenen Aktivitäten. Abschnitt 4 dient als Leitfaden für Lehrmethoden und die Gestaltung eines interaktiven Unterrichts. Abschnitt 5 enthält die Liste der benötigten Materialien für die praktischen Übungen und zum besseren Verständnis der Fachbegriffe im Bootsbau. Der Anhang umfasst die Präsentationen eines Workshops, der im Rahmen des TecoNaut-Projekts in Frankreich stattfand und Einblicke in Werkstoffe und deren mechanische Eigenschaften bietet.



3

Kursübersicht und Begleitinformationen zu den Lektionen



3. Kursübersicht und Begleitmaterial zu den Lektionen

In diesem Abschnitt wird der gesamte Kurs vorgestellt. Es wird erläutert, wie die Lerninhalte in Einheiten, Module, Unterthemen, zugehörige Aktivitäten und ergänzende Kursinformationen gegliedert sind. Jede Einheit behandelt einen thematischen Schwerpunkt und gewährleistet so ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Theorie und Praxis. Die beigefügten Tabellen (siehe die entsprechenden Tabellen im Kursplan) liefern wichtige Informationen für die Entwicklung der Kursmaterialien, darunter Themen, angestrebte Lernergebnisse, geschätzte Dauer sowie vorgeschlagene Lehr- und Trainingsmethoden. Sie unterstützen die Kursleiter bei der effektiven Planung und Durchführung des Kurses. Die Tabellen bieten den Lernenden zudem einen transparenten Überblick über die Kursinhalte und Erwartungen. Anleitungen zu den Aktivitäten (siehe die entsprechenden Tabellen mit **Anleitungen zu den Aktivitäten**) und Informationen zur Niveausteigerung (siehe die entsprechenden Tabellen mit Informationen zur Niveausteigerung) sind für jede Einheit in Tabellenform übersichtlich dargestellt.

Der Kurs besteht aus **fünf Einheiten**. Die Teilnehmer werden in folgenden Bereichen geschult:

Einheit 1: Einführung in die Nachhaltigkeit im Bootsbau

Einheit 2: Faserverstärkte Kunststoffe und ihre Eigenschaften

Einheit 3: Fertigung und Reperatur

Einheit 4: Lebenszyklusanalyse & Business Case

Einheit 5: Karriereplanung, Chancen und Herausforderungen

Diese Themen unterstützen gemeinsam die Entwicklung sowohl der technischen Kompetenz als auch eines breiteren Nachhaltigkeitsbewusstseins im Bootsbausektor.

Die nachfolgenden Beschreibungen erläutern Zweck und Umfang jeder Spalte in den Tabellen der Kursübersicht und gewährleisten so eine einheitliche Interpretation und Verwendung in allen Schulungskontexten.

Modul

Die Spalte stellt die einzelnen Module der jeweiligen Einheit dar.

Unterthema

Diese Spalte bezieht sich auf jedes Unterthema des Moduls.

Hinweis: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema in der entsprechenden Tabelle „Aktivitätenanweisungen“ aufgeführt sind.

Aufschlüsselung der Unterthemen

Diese Spalte bietet detaillierte Informationen zu den Themen und Unterthemen jeder Einheit und spiegelt die Inhalte des Kursplans wider. Sie bietet einen strukturierten Überblick über die Inhalte jedes Themas und unterstützt so eine logische Abfolge und eine umfassende Behandlung des Stoffes.

Die thematische Aufteilung hilft den Ausbildern, ihre Unterrichtsstunden effektiv zu planen und zu organisieren, und führt die Lernenden gleichzeitig durch eine klare, schrittweise Erkundung des Themas.

Hinweis: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Level-Up-Informationen (fortgeschrittenen Informationen) hin, die in der jeweiligen Level-Up-Informationstabelle dargestellt sind.

Lernziel

Die Spalte „Lernergebnisse“ beschreibt die Kenntnisse und Fertigkeiten, die Lernende durch die einzelnen Aktivitäten erwerben oder entwickeln sollen. Diese Ergebnisse wurden so definiert, dass sie mit den übergeordneten Lehrplanzielen der jeweiligen Kurseinheit übereinstimmen.

Die Lernergebnisse dienen sowohl für Ausbilder als auch für Lernende als wichtige Indikatoren und gewährleisten, dass jede Aktivität einen sinnvollen Beitrag zur angestrebten Kompetenzentwicklung leistet.

Dauer

Diese Spalte gibt die geplante Zeit für jede Lektion oder Aktivität an. Die angegebene Dauer sollte den im Programmplan festgelegten Zeiten entsprechen, um den Trainern die Planung der Sitzungen zu erleichtern und die Einheitlichkeit in allen Trainingsumgebungen zu gewährleisten.

Lehr- und Ausbildungsmethoden

In dieser Spalte werden geeignete Lehr- und Ausbildungsmethoden für das jeweilige Teilthema vorgeschlagen.

Die **Anleitungstabellen zu den Aktivitäten** enthalten alle im Unterricht durchführbaren Aktivitäten, die den Schülern helfen, die im Lehrplan vermittelten grundlegenden Konzepte und Kenntnisse umfassend zu verstehen. Die Aktivitäten sind tabellarisch dargestellt und bieten so einen strukturierten Überblick über jede Unterrichtseinheit mit klaren Anweisungen und Hinweisen für Lehrkräfte zur effektiven Organisation der Aufgaben und zur optimalen Betreuung der Schüler.

Die **Informationstabelle „Level Up“** bietet Ausbildern einen erweiterten Überblick über fortgeschrittene Konzepte, Referenzmaterialien und ergänzende Ressourcen, die den Hauptlehrplan vervollständigen. Sie soll Lehrende dabei unterstützen, das Verständnis der Lernenden für nachhaltige Werkstoffe, Fertigungsmethoden, regulatorische Rahmenbedingungen und Branchenentwicklungen im modernen Bootsbau zu vertiefen. Durch den strukturierten Zugriff auf wissenschaftliche Publikationen, technische Normen, professionelle Werkzeuge und Fallstudien aus der Praxis vermittelt dieser Abschnitt Lehrenden das notwendige Kontextwissen, um Lernende sicher über die Grundlagen hinaus in ein breiteres berufliches und ökologisches Umfeld zu führen.

Einheit 1 bietet umfassende Ressourcen, die Studierende in Nachhaltigkeitskonzepte, Innovationen im Bereich nachhaltigerer Werkstoffe und Methoden der Umweltbewertung für die maritime und küstennahe Industrie einführen. Sie umfasst Referenzmaterialien zum nachhaltigen Hafenmanagement, zur langfristigen Klimastrategie des Europäischen Green Deals, zu aktuellen Forschungsergebnissen über intelligente Werkstoffe auf Holz- und Polymerbasis sowie zu Normen wie ISO 12215, die die Materialeigenschaften von Booten definieren. Weitere Inhalte unterstreichen die Bedeutung der Lebenszyklusanalyse (LCA) für die Ermittlung der Umweltbelastung über die gesamte Lebensdauer eines Schiffes hinweg und beleuchten die Perspektiven der Kreislaufwirtschaft in Bezug auf Abfallmanagement und Ressourceneffizienz.

Einheit 2 konzentriert sich auf Fasern, Harze, Verbundstrukturen, Recyclingtechnologien und das mechanische Verhalten im modernen Bootsbau. Die Referenzen umfassen wissenschaftliche Publikationen mit Vergleichen von Fasereigenschaften, Testergebnissen und dem Einfluss der Harze auf Leistung und Haltbarkeit. Die Einheit behandelt außerdem wichtige ISO-Normen, praktische Ressourcen zur Verbundwerkstoffmechanik sowie detaillierte Fallstudien zu Materialfehlern, dem Einsatz von Additiven, Kompatibilisatoren und Sandwichstrukturen.

Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Kreislaufwirtschaft. Zahlreiche Quellen untersuchen thermische, mechanische und chemische Recyclingverfahren, den Energiebedarf verschiedener Prozesse und aktuelle Brancheninitiativen, die auf biobasierte Alternativen, Naturfasern und nachhaltige Verbundwerkstoffe abzielen.

Einheit 3 bietet Lehrkräften praxisorientierte Materialien zu Verbundwerkstoff-Herstellungsprozessen, Faserarchitektur und Qualitätssicherung in der Produktion. Anhand technischer Leitfäden, Hersteller-Websites, wissenschaftlicher Artikel und Demonstrationsvideos werden Laminierverfahren, Harzinjektion, Fehlervermeidung und die einzelnen Schritte zur Herstellung von Bauteilen aus Naturfaser- oder Hybridverbundwerkstoffen erläutert. Darüber hinaus werden Lernende mit neuen nachhaltigen Fertigungsansätzen, Beispielen für Nachrüstung und Wiederverwendung, Reparaturmethoden sowie Brancheneinblicken in die Umweltauswirkungen des Bootsbaus vertraut gemacht. Qualitätskontrolle, Lösungen für das Abfallmanagement und Möglichkeiten zum Recycling von Produktionsresten werden ebenfalls behandelt.

Einheit 4 fasst die wichtigsten regulatorischen Rahmenbedingungen, Methoden zur Ermittlung des ökologischen Fußabdrucks und laufende europäische Initiativen zur Dekarbonisierung des Bootssektors zusammen. Zu den Referenzen gehören offizielle ISO-Normen, Dokumentationen zum Produkt-Umweltfußabdruck (PEF), LCA-Leitlinien, Branchenstudien und Berichte auf politischer Ebene. Diese Ressourcen helfen Lehrkräften, Nachhaltigkeit im breiteren rechtlichen und industriellen Kontext zu veranschaulichen und aufzuzeigen, wie Vorschriften die Materialwahl, Fertigungsprozesse, die Verantwortung am Ende der Nutzungsdauer und den Übergang zu umweltschonenderen Schiffskonstruktionen beeinflussen.

Einheit 5 beleuchtet den politischen Rahmen, Fördermöglichkeiten, Einblicke in den Arbeitsmarkt und die sich wandelnden Qualifikationsanforderungen, die die Zukunft des Bootsbaus prägen. Sie integriert Materialien zum EU Green Deal, zu „Fit für 55“, zu Abfalltransportvorschriften und zu Finanzierungsmechanismen wie NextGenEU. Die Einheit präsentiert außerdem Fallstudien von Werften, die innovative, nachhaltige Praktiken anwenden, Videos und Leitfäden zu traditionellem Handwerk und modernen Techniken sowie eine Reihe von Ressourcen, die relevante Berufe, Netzwerkstrategien, Fachveranstaltungen und neue technologische Kompetenzen im Sektor vorstellen.

In den folgenden Tabellen werden alle oben genannten Informationen detailliert für jede Einheit des TEcoNaut-Kursmaterials dargestellt.



Einheit 1: Einführung in die Nachhaltigkeit im Bootsbau



Einheit 1: Einführung in die Nachhaltigkeit im Bootsbau / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Aufschlüsselung des Unterthemas	Lernziel (LZ)	Dauer in h	Lehr- & Ausbildungsmethoden
1.1. Grundlagen der Nachhaltigkeit in der maritimen Industrie	1.1.1 Grundsätze der Nachhaltigkeit in der maritimen Industrie	1. Einführung in die drei Säulen der Nachhaltigkeit 2. Spezifische Herausforderungen im maritimen Kontext: Emissionen, Ressourcennutzung, Materialabfall 3. Anwendung von Nachhaltigkeit bei Schiffsdesign, -bau und -wartung.	LZ 1: Verständnis des grundlegenden Konzepts der Nachhaltigkeit. LZ 2: Identifizierung der wichtigsten ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Herausforderungen im maritimen Sektor. LZ 3: Fähigkeit, Handlungen und Entscheidungen auf der Grundlage der drei Säulen der Nachhaltigkeit zu klassifizieren. LZ 4: Bewusstsein für die langfristigen Auswirkungen technischer Entscheidungen auf Mensch und Umwelt.	2 ½	Problem-based learning
	1.1.2 Historische Entwicklung: Biobasierte Werkstoffe vs. Glasfaser	1. Einführung in die Materialentwicklung im Bootsbau 2. Zeitleiste der Materialentwicklung 3. Vergleich von Materialien (Beispiele)	LZ 1: Kenntnisse über die historische Entwicklung von Materialien für den Bootsbau. LZ 2: Fähigkeit zum Vergleich von konventionellen, synthetischen und biobasierten Werkstoffe im Allgemeinen. LZ 3: Bewertung der Materialauswahl auf der Grundlage des historischen Kontexts, der technischen Anforderungen und der Nachhaltigkeitskriterien.	2 ½	Classroom-based learning (interactive lecture with material samples)

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 1: Einführung in die Nachhaltigkeit im Bootsbau / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Aufschlüsselung des Unterthemas	Lernziel (LZ)	Dauer in h	Lehr- & Ausbildungsmethoden
1.1. Grundlagen der Nachhaltigkeit in der maritimen Industrie	1.1.3 Rechtlicher Rahmen: Zertifizierungen und Vorschriften	1. Überblick über internationale und regionale Seeverkehrsvorschriften (z. B. IMO, ISO 14001, EU-Richtlinien) 2. Einführung in die Zertifizierung nachhaltiger Materialien und Schiffe 3. Die Rolle von Vorschriften bei der Durchsetzung und Förderung nachhaltiger Praktiken.	LZ 1: Einführung in die Seeverkehrsvorschriften. LZ 2: Überblick über relevante Vorschriften und Richtlinien. LZ 3: Rolle der Vorschriften für nachhaltige Praktiken.	1	Präsenzunterricht (fallbasierte Vorlesung)

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Modul	Unterthema	Aufschlüsselung des Unterthemas	Lernziel (LZ)	Dauer in h	Lehr- & Ausbildungsmethoden
1.2 Umweltauswirkungen und Abfallwirtschaft	1.2.1 Lebenszyklusanalyse (LCA) in der Bootsindustrie	1. Einführung in die Lebenszyklusanalyse (LCA) – Definition und Zweck 2. Phasen im Lebenszyklus eines Bootes: 3. Ermittlung von Emissionen, Abfällen und Ressourcenverbrauch in jeder Phase. 4. CO2-Fußabdruck und seine Komponenten bei der Bootsproduktion und -nutzung. 5. Vergleich der Umweltauswirkungen verschiedener Materialien	LZ 1: Konzept der Ökobilanz LZ 2: Die wichtigsten Phasen im Lebenszyklus eines Bootes identifizieren und beschreiben. LZ 3: Die typischen Umweltauswirkungen jeder Lebenszyklusphase erkennen.	2	Präsenzunterricht
	1.2.2 Abfallbewirtschaftungsstrategien: Prinzipien der Kreislaufwirtschaft und 3R-Rahmenwerk	1. Einführung in das Thema Abfall in der Bootsbauindustrie: 2. Das 3R-Framework verstehen 3. Einführung in die Kreislaufwirtschaft	LZ 1: Die Prinzipien der 3R-Abfallhierarchie verstehen LZ 2: Die Kreislaufwirtschaft verstehen LO 3: Häufige Abfallarten im Bootsbauprozess identifizieren. Lernziel 4: Verständnis der 3R- und Kreislaufwirtschaftsprinzipien	2	Präsenzunterricht

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 1: Einführung in die Nachhaltigkeit im Bootsbau / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Aufschlüsselung des Unterthemas	Lernziel (LZ)	Dauer in h	Lehr- & Ausbildungsmethoden
1.2 Umweltauswirkungen und Abfallwirtschaft	1.2.3 Grenzen der Nachhaltigkeit: Herausforderungen beim Recycling im Vergleich zu nachwachsenden Rohstoffen	1. Einführung in die nachhaltige Entwicklung. 2. Herausforderungen beim Recycling: a) Technische Schwierigkeiten beim Recycling von Verbundwerkstoffen (z. B. Glasfaser, Kohlenstofffaser). b) Wirtschaftliche Barrieren: Kosten des Recyclings im Vergleich zu den Kosten des neuen Materials. c) Begrenzte Infrastruktur und Technologie für das Recycling von Meeresabfällen. 3. Erneuerbare Energien – Vor- und Nachteile 4. Recycling vs. erneuerbare Ressourcen	LZ 1: Die ökologischen und technischen Grenzen sowohl des Recyclings als auch der erneuerbaren Materialien verstehen. LZ 2: Unterscheidung zwischen recycelbaren und erneuerbaren Materialien in praktischen Anwendungen. LZ 3: Kenntnis der Nachhaltigkeitsbeschränkungen und deren verantwortungsvolle Anwendung.	2	Unterrichtsbasiertes Lernen

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 1: Einführung in die Nachhaltigkeit im Bootsbau / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Aufschlüsselung des Unterthemas	Lernziel (LZ)	Dauer in h	Lehr- & Ausbildungsmethoden
1.3 Innovationen und Zukunftsperspektiven	1.3.1 Zukünftige Trends: Neue Materialien, abfallfreie Fertigung	1. Innovationen und Zukunftsperspektiven 2. Konzept der abfallfreien Fertigung	LZ 1: Kenntnisse über neue nachhaltige Materialien und Technologien im Bootsbau. LZ 2: Verständnis des Konzepts der abfallfreien (Zero-Waste) Fertigung.	1 ½	Klassenzimmerbasiertes und problemorientiertes Lernen
	1.3.2 Herausforderungen in der Lieferkette und regulatorische Hürden	1. Einführung in die Lieferkette im Bootsbausektor 2. Logistische Herausforderungen 3. Vorschriften und Normen	LZ 1: Die Struktur und Funktion der Lieferkette im Bootsbau verstehen.	1 ½	Klassenzimmerbasiertes und problemorientiertes Lernen

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 1: Einführung in die Nachhaltigkeit im Bootsbau / Anleitung zu den Aktivitäten



Unterthema	Aktivität	Beschreibung
1.1.1 Grundsätze der Nachhaltigkeit in der maritimen Industrie	<i>Nachhaltigkeitskompass-Kartierung</i>	Ziel: Den Studierenden helfen, Herausforderungen der Nachhaltigkeit in die Bereiche Umwelt, Soziales und Wirtschaft einzuordnen. Vorgehensweise: Präsentieren Sie den Studierenden realweltliche Szenarien im maritimen Kontext (z. B. Ölkatastrophen, Arbeitsausbeutung, Treibstoffeffizienz). Aufgabe: Bilden Sie in kleinen Gruppen ein Nachhaltigkeitskompass (Ökonomie/Sozialismus/Ökonomie/Sozialismus), um jedes Szenario dort einzutragen. Ergebnis: Nachhaltigkeit als ganzheitliches Rahmenkonzept verstehen.
1.1.2 Historische Entwicklung: Biobasierte Werkstoffe vs. Glasfaser	<i>Herausforderung im Materialzeitplan</i>	Ziel: Die Materialveränderungen im Bootsbau im Laufe der Zeit untersuchen. Vorgehensweise: Karten mit Informationen zu Bootsbaumaterialien (Holz, Fiberglas, Flachs, Kohlefaser), historischen Ereignissen und deren erster Verwendung im maritimen Bereich bereitstellen. Aufgabe: Die Gruppen platzieren Karten auf einer Zeitleiste; diskutieren Sie, welche Innovationen auf Nachhaltigkeit ausgerichtet waren. Ergebnis: Die Entwicklung von Materialien und aufkommende nachhaltige Alternativen erkennen.
1.2.1 Lebenszyklusanalyse (LCA) im Bootsbau	<i>Lebenszyklus-Puzzle</i>	Ziel: Die verschiedenen Phasen im Lebenszyklus eines Bootes und ihre Auswirkungen verstehen. Vorgehensweise: Bereitstellung von ausgeschnittenen Karten zur Verfügung, die die einzelnen Phasen (Rohstoffgewinnung, Transport, Verwendung, Entsorgung) und die Arten der Auswirkungen (Kohlenstoffemissionen, Toxizität, Wasserverbrauch) darstellen. Aufgabe: Die Teams erstellen ein Ablaufdiagramm des Lebenszyklus und verknüpfen dann jede Phase mit ihren Auswirkungen. Ergebnis: Visualisieren Sie, wie sich Designentscheidungen auf den gesamten ökologischen Fußabdruck eines Bootes auswirken.

Einheit 1: Einführung in die Nachhaltigkeit im Bootsbau / Anleitung zu den Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
1.2.3 Grenzen der Nachhaltigkeit: Herausforderungen beim Recycling im Vergleich zu nachwachsenden Rohstoffen	<i>Debatte Recycling vs. Erneuerbare Energien</i>	Ziel: Die Vor- und Nachteile verschiedener Nachhaltigkeitsstrategien untersuchen. Vorgehensweise: Die Schüler in zwei Gruppen aufteilen: Team A: Befürwortet das Recycling von Verbundwerkstoffen. Team B: Unterstützt erneuerbare Alternativen wie Flachs oder Bioharze. Aufgabe: Jedes Team erarbeitet Argumente auf der Grundlage von Leistung, Kosten, Einschränkungen und Infrastruktur. Ergebnis: Vertieftes Verständnis der Zielkonflikte und Herausforderungen im Bereich der nachhaltigen Materialnutzung in der Praxis.
1.3.1 Zukünftige Trends: Neue Materialien, abfallfreie Fertigung	<i>Zukunft des Bootsbaus – Debatte um 3D-Druck</i>	Ziel: Erforschen, wie moderne Technologien, z. B. 3D-Druck, das Bootsdesign, die Materialien und die Konstruktionsmethoden verändern könnten. Vorgehensweise: Eine strukturierte Debatte oder Diskussion im Klassenzimmer, basierend auf der Frage: „Wird der 3D-Druck die Art und Weise, wie Boote in Zukunft gebaut werden, revolutionieren?“ Wichtige Vor- und Nachteile vorstellen, Schüler in Gruppen mit unterschiedlichen Zukunftsszenarien (optimistisch, vorsichtig, kritisch) einteilen. Aufgabe: Die Schüler argumentieren oder präsentieren verschiedene zukünftige Ergebnisse (vollständig gedruckte Boote, Hybridmodelle, Einschränkungen) und diskutieren die Auswirkungen auf Materialien, Nachhaltigkeit, Vorschriften und Fähigkeiten. Ergebnis: Zukunftsorientiertes Denken, kritisches Diskussionsvermögen, tieferes Verständnis der Auswirkungen von Innovationen.

Einheit 1: Einführung in die Nachhaltigkeit im Bootsbau / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen der Einheit 1



Thema für Level-Up-Informationen	Link	Kurzfassung der Inhalte	Notizen
1. Einführung in die drei Säulen der Nachhaltigkeit 2. Spezifische Herausforderungen im maritimen Kontext: Emissionen, Ressourcennutzung, Materialabfall	https://europeanboatingindustry.eu/images/Introduction%20to%20Sustainability%20in%20Marinas/Introduction-to-Sustainability-in-Marinas---2nd-Edition.pdf?t=1688484739 https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en	Text über bewährte Verfahren für nachhaltiges Management, einschließlich Energieeffizienz, Abfallmanagement und Umweltschutzmaßnahmen in der Küsteninfrastruktur. Inhalte zum Europäischen Green Deal: Der strategische Fahrplan der EU zur Klimaneutralität bis 2050, zur Förderung der Prinzipien der Kreislaufwirtschaft, zur nachhaltigen Transformation der Industrie und zum Schutz der biologischen Vielfalt.	Öffentlich zugängliches Dokument zu bewährten Verfahren
1. Einführung in die Materialentwicklung im Bootsbau 3. Vergleich von Materialien (Beispiele)	Eine Sonderausgabe von Forests (ISSN 1999-4907): Holz in intelligente Materialien verwandeln: Innovationen in Verarbeitung und Anwendung (https://www.mdpi.com/journal/forests/special_issues/3K75GD42HU) Pagnotta, L. Nachhaltige Netzmaterialien für maritime und landwirtschaftliche Anwendungen: Ein Überblick über Polymer- und Verbundwerkstoffentwicklungen. Polymers 2025, 17, 1454. https://doi.org/10.3390/polym17111454	Diese Ausgabe widmet sich den neuesten Fortschritten bei Verarbeitungstechniken, Materialmodifizierungsstrategien und den funktionalen Anwendungen von Holz oder Bambus und hat zum Ziel, den Lesern ein umfassendes Verständnis dafür zu vermitteln, wie sich diese natürlichen Materialien als Reaktion auf den technologischen Fortschritt weiterentwickeln können. Diese Arbeit bietet einen umfassenden und aktuellen Überblick über Polymer- und Verbundwerkstoffe, die in Netzsystemen für maritime und landwirtschaftliche Anwendungen eingesetzt werden, und bewertet deren mechanische Leistungsfähigkeit, Umweltverhalten und Eignung für eine nachhaltige Entwicklung.	Veröffentlichung, öffentlich zugänglich

Einheit 1: Einführung in die Nachhaltigkeit im Bootsbau / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen der Einheit 1



Thema für Level-Up-Informationen	Link	Kurzfassung der Inhalte	Notizen
1. Überblick über internationale und regionale Seeschiffahrtsvorschriften (z. B. IMO, ISO 14001, EU-Richtlinien) 2. Einführung in die Zertifizierungen für nachhaltige Materialien und Schiffe 3. Die Rolle der Regulierung bei der Durchsetzung und Förderung nachhaltiger Praktiken.	ISO 12215	Diese Teile der ISO 12215 definieren Materialeigenschaften (z. B. Laminate, Kerne, Holz, Metalle).	Bezahlt, Standard-/Anforderungsdokument
1. Einführung in die Lebenszyklusanalyse (LCA) – Definition und Zweck 2. Phasen im Lebenszyklus eines Bootes 3. Ermittlung von Emissionen, Abfällen und Ressourcenverbrauch in jeder Phase.	<u>LCA-Handbuch.</u> https://www.europeanboatingindustry.eu/eu-affairs/lca-blue-boat-horizon	Ein Nachschlagewerk zur Methodik der Lebenszyklusanalyse (LCA), das die Folgenabschätzung, Systemgrenzen, Dateninterpretation und Entscheidungshilfen in der Umweltanalyse umfasst. Der Inhalt fördert den Einsatz von Lebenszyklusanalysen (LCA) im Freizeitbootssektor, um die Umweltauswirkungen während der gesamten Konstruktions-, Bau- und Betriebsphase der Schiffe zu bewerten und zu reduzieren.	Website, öffentlich zugänglich

Einheit 1: Einführung in die Nachhaltigkeit im Bootsbau / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen der Einheit 1



Thema für Level-Up-Informationen	Link	Kurzfassung der Inhalte	Notizen
2. Das 3R-Framework verstehen: 3. Einführung in die Kreislaufwirtschaft	"Enhancing Waste Resource Efficiency: Circular Economy for Sustainability and Energy Conversion"; Hadad Elroi, Grzymala Z., WójcikCzerniawska A., Szewczyk P. (2023)	Ein Beispielttext, der untersucht, wie Strategien der Kreislaufwirtschaft und der 3R-Ansatz (Reduzieren, Wiederverwenden, Recyceln) die Energieeffizienz der Abfallbehandlung und die Ressourcennutzung in nachhaltigen Abfallwirtschaftssystemen verbessern können.	Veröffentlichung, öffentlich zugänglich
2. Konzept der abfallfreien Produktion (Waste-Free Manufacturing)	https://teconaut.eu/en/-/Lerninhalte-zu-bestehenden-und-potenziellen-Deep-Tech-Materialien	Projektplattform, die Einblicke in fortschrittliche und innovative Materialien für die Schifffahrt und andere Branchen bietet, mit Schwerpunkt auf technischen Eigenschaften, Nachhaltigkeit und praktischen Anwendungen.	Website, öffentlich zugänglich



Einheit 2: Faserverbund- werkstoffe und ihre Eigenschaften



Modul	Unterthema	Aufschlüsselung des Unterthemas	Lernziel (LZ)	Dauer in h	Lehr- & Ausbildungsmethoden
2.1 Allgemeine Materialeigenschaften	2.1.1 Materialeigenschaften: Merkmale und Anwendungen	1. Einführung in die im Bootsbau verwendeten Materialien. 2. Überblick über die wichtigsten Materialgruppen: Naturfasern, Recyclingfasern, Mineralfasern und Polymermatrices. 3. Wichtige Materialeigenschaften: mechanische (Zug-, Biege- und Druckfestigkeit), physikalische (Dichte, Feuchtigkeitsaufnahme), chemische Beständigkeit (UV- und Salzwasserbeständigkeit) und Verarbeitbarkeit. 4. Abstimmung der Materialeigenschaften auf Anwendungsbereiche (z. B. Rümpfe, Decks, Innenausbauten). 5. Grundlagen der Nachhaltigkeitsbewertung: Lebenszyklusbetrachtung, Erneuerbarkeit, Recyclingfähigkeit.	LZ 1: Bewertung der allgemeinen Eigenschaften nachhaltiger Materialien; LZ 2: Untersuchung der chemischen Eigenschaften von Verbundwerkstoffen; LZ 3: Ermittlung grundlegender Kriterien für die Auswahl nachhaltiger Materialien für den Bootsbau.	1	Interaktiver Vortrag mit Proben
	2.1.2 Mechanische Eigenschaften	1. Review of key mechanical property terms: tension, bending, compression, torsion, impact resistance. 2. Explanation of how fiber orientation, resin type, and lay-up affect mechanical performance. 3. Introduction to the composite structure: interaction of fiber and matrix. 4. Practical examples: how mechanical demands differ between hulls, bulkheads, and panels. 5. First contact with basic mechanical test methods (e.g., flexural test setup, hand deflection). 6. Interpreting mechanical performance data in simplified form.		2	Vortrag mit Demonstrationen

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Modul	Unterthema	Aufschlüsselung des Unterthemas	Lernziel (LZ)	Dauer in h	Lehr- & Ausbildungsmethoden
2.1 Allgemeine Materialeigenschaften	2.1.3 Chemische Eigenschaften von FVK	1. Einführung in chemische und umweltbedingte Stressfaktoren: UV-Strahlung, Feuchtigkeit, Salzwasser, Temperatur. 2. Unterschiede im Abbauverhalten von Naturfasern und synthetischen Verbundwerkstoffen. 3. Typische Schadenssymptome: Blasenbildung, Delamination, Verfärbung, Faserbruch. 4. Einfluss der Harzart auf die Dauerhaftigkeit (z. B. Polyester vs. Epoxidharz vs. biobasierte Harze). 5. Grundlegende Strategien zur Vorbeugung und zum Schutz. 6. Einfache Tests, die außerhalb eines Prüflabors durchgeführt werden können (z. B. Einweichen, UV-Alterung mit einer Lampe).	LZ 1: Bewertung der allgemeinen Eigenschaften und Leistungsmerkmale nachhaltiger Materialien; LZ 2: Untersuchung der chemischen Eigenschaften von Verbundwerkstoffen; LZ 3: Ermittlung grundlegender Kriterien für die Auswahl nachhaltiger Materialien für den Bootsbau.	1	Interaktiver Vortrag mit Fotos und Beispielen
	2.1.4 Werkstoffauswahl und Nachhaltigkeit im individuellen Lebenszyklus	1. Nachhaltigkeitsaspekte bei der Materialauswahl: Umwelt, Gesundheit/Sicherheit, Technik und Wirtschaftlichkeit. 2. Lebenszyklusphasen: Rohstoffgewinnung, Produktion, Nutzung, Wartung, Entsorgung oder Recycling. 3. Überblick über die Umweltauswirkungen: Emissionen, Energieverbrauch, Transport. 4. Anforderungen und Herausforderungen der Recyclingfähigkeit von Verbundwerkstoffen. 5. Kompromisse: Abwägen von Leistung, Langlebigkeit und ökologischem Fußabdruck. 6. Einführung in qualitative Entscheidungsmatrizen oder Vergleichstabellen.		2	Geführte Gruppendiskussion

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Modul	Unterthema	Aufschlüsselung des Unterthemas	Lernziel (LZ)	Dauer in h	Lehr- & Ausbildungsmethoden
2.1 Allgemeine Materialeigenschaften	2.1.5 Häufige Fehler beim Verarbeiten von FVK	1. Überblick über häufige Herstellungsfehler bei Verbundwerkstoffen 2. Typische Ursachen beim Handauflegeverfahren und bei der Vakuuminfusion. 3. Auswirkungen von Fehlern auf die mechanische und chemische Leistungsfähigkeit. 4. Techniken zur Sichtprüfung und grundlegende Einstufung der Fehler Schwere. 5. Zusammenhang zwischen Prozesskontrolle und Teilequalität.	LZ 1: Bewertung der allgemeinen Eigenschaften und Leistungsmerkmale nachhaltiger Materialien; LZ 2: Untersuchung der chemischen Eigenschaften von Verbundwerkstoffen; LZ 3: Ermittlung grundlegender Kriterien für die Auswahl nachhaltiger Materialien für den Bootsbau.	1	Vortrag mit Demonstration

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 2: Faserverstärkte Kunststoffe und ihre Eigenschaften / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Aufschlüsselung des Unterthemas	Lernziel (LZ)	Dauer in h	Lehr- & Ausbildungsmethoden
2.2 Werkstoffe und nachhaltige Komponenten	2.2.1 Verstärkungsfasern	1. Einführung in Verstärkungsfasern 2. Verschiedene Fasern 3. Unterscheidung zwischen technischen und nicht-technischen Fasern 4. Physikalische Eigenschaften: Festigkeit, Steifigkeit, Feuchtigkeitsaufnahme, Dichte. 5. Umweltauswirkungen: Erneuerbarkeit, Recyclingfähigkeit, Energieverbrauch bei der Herstellung. 6. Typische Anwendungen im Bootsbau	LZ 1: Identifizieren und beschreiben Sie Rohstoffe und nachhaltige Komponenten, die in Verbundwerkstoffen verwendet werden.	2 ½	Explorative Gruppenaktivität mit Proben
	2.2.2 Textilien: Gewebe in faserverstärkten Kunststoffen	1. Überblick über textile Architekturen in Verbundwerkstoffen: – Gewebte Stoffe (z. B. Leinwandbindung, Körperbindung) – Vliesstoffe (Matten, Filze) – Unidirektionale (UD) Verstärkungen – Rovings usw. 2. Einfluss der Faserorientierung auf Festigkeit und Steifigkeit. 3. Drapierbarkeit: Wie flexibel ein Gewebe ist und wie gut es sich gekrümmten Oberflächen anpasst. 4. Typische Anwendungen der einzelnen Textiltypen im Bootsbau. 5. Zusammenhang zwischen Architektur, Komplexität des Faseraufbaus und mechanischen Eigenschaften.		2 ½	Interaktive Demo mit Beispielen

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 2: Faserverstärkte Kunststoffe und ihre Eigenschaften / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Aufschlüsselung des Unterthemas	Lernziel (LZ)	Dauer in h	Lehr- & Ausbildungsmethoden
2.2 Werkstoffe und nachhaltige Komponenten	2.2.3 Polymere Matrizen: Thermoplaste, Duroplaste, biobasierte Harze	Funktionale Rolle der Matrix in Verbundwerkstoffen. Duroplaste vs. Thermoplaste: Eigenschaften (z. B. Aushärtungsverhalten, Zähigkeit, Reparierbarkeit) Verarbeitungseigenschaften Einführung in biobasierte Harze (z. B. Bio-Epoxidharz). Recyclingfähigkeit der Matrixoptionen. Logik der Materialauswahl: mechanische Anforderungen vs. Nachhaltigkeitsziele.	LO: Rohstoffe und nachhaltige Komponenten, die in Verbundwerkstoffen verwendet werden, identifizieren und beschreiben.	1	Kurzpräsentation mit Vergleichsdiagramm
	2.2.4 Additive & Kompatibilisatoren : Ihre Rolle in der Nachhaltigkeit	1. Was sind Additive? (Grunddefinition: Stoffe, die Kunststoffen zugesetzt werden, um deren Eigenschaften zu verbessern.) 2. Gängige Additivarten: - Flammschutzmittel - UV-Stabilisatoren - Weichmacher (für Flexibilität) 3. Was sind Kompatibilisatoren? - Mittel, die die Verbindung von Fasern und Harz verbessern. 4. Warum sie wichtig sind: - Bessere Haftung, längere Lebensdauer der Bauteile, erhöhte Sicherheitsmerkmale 5. Umweltaspekte: - Additive können die Recyclingfähigkeit verringern oder die Toxizität erhöhen. 6. Grundidee von „grünen“ Additiven (biobasierte oder ungiftige Alternativen).		½	Impulspräsentation mit Mustertest

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 2: Faserverstärkte Kunststoffe und ihre Eigenschaften / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Aufschlüsselung des Unterthemas	Lernziel (LZ)	Dauer in h	Lehr- & Ausbildungsmethoden
2.2 Rohstoffe und nachhaltige Komponenten	2.2.5 Nachhaltige Sandwichkerne: Balsaholz, Kork, recyceltes PET, Holz, Papierwabenstoff	• Einführung in die Sandwichbauweise bei Verbundwerkstoffen. • Gängige nachhaltige Kernmaterialien: • Balsaholz • Kork • Recycelter PET-Schaum • Papierwabenkerne • Sperrholz und andere Holzkerne • Vergleich der Kerneigenschaften: • Steifigkeit • Gewicht • Feuchtigkeitsbeständigkeit • Aspekte der Verarbeitung: Schneiden, Kleben, Kompatibilität mit Harzsystemen. • Umweltbelastung / Ökologischer Fußabdruck: • Erneuerbar vs. recycelt • Beschaffung, Energieaufwand in der Produktion, Wiederverwendungspotenzial.	LO: Rohstoffe und nachhaltige Komponenten, die in Verbundwerkstoffen verwendet werden, identifizieren und beschreiben.	1 ½	Kurzpräsentation mit Vergleichsdiagramm

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Modul	Unterthema	Aufschlüsselung des Unterthemas	Lernziel (LZ)	Dauer in h	Lehr- & Ausbildungsmethoden
2.2 Rohstoffe und nachhaltige Komponenten	2.2.6 Recycelte Elemente: Verwendung wiederverwendeter Verbundwerkstoffe.	1. Was kann wiederverwendet oder recycelt werden? 2. Herausforderungen bei der Verwendung von Recyclingmaterialien. 3. Praktische Wiederverwendungsstrategien im Bootsbau. 4. Wiederverwendungsgerechtes Design. 5. Vorteile für die Umwelt.	LO: Rohstoffe und nachhaltige Komponenten, die in Verbundwerkstoffen verwendet werden, identifizieren und beschreiben.	2	Lernen im Klassenzimmer

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Modul	Unterthema	Aufschlüsselung des Unterthemas	Lernziel (LZ)	Dauer in h	Lehr- & Ausbildungsmethoden
2.3 Biobasierte und umweltfreundliche Verbundwerkstofflösungen	2.3.1 Fallstudien: Boote gebaut mit Naturfasern	1. Einleitung: Warum Naturfasern im Bootsbau verwenden? 2. Präsentation ausgewählter Fallstudien: - Bootstypen (z. B. Jollen, Segelboote, Komponenten) - Verwendete Fasern und Harzsysteme - Herstellungsverfahren 3. Motivation hinter jedem Projekt (z. B. CO₂-Reduzierung, Marketing, Vorschriften) 4. Gewonnene Erkenntnisse und Herausforderungen (Kosten, Haltbarkeit, Skalierung) 5. Übertragung auf den Kontext der Lernenden: Was kann angewendet oder vermieden werden?	LO: Biobasierte Verbundwerkstofflösungen und deren Anwendungen verstehen.	3	Dozentengeleitete Präsentation mit Gruppenvergleich
	2.3.2 Umweltfreundliche Lösungen: Biobasierte Polymere, Klebstoffe, recycelbare Verbundwerkstoffe, Cradle-to-Cradle-Design.	1. Biobasierte Werkstoffe im Fokus: – Bioharze und -klebstoffe (pflanzenbasiert, VOC-arm) – Unterschiede zwischen biobasierten und biologisch abbaubaren Werkstoffen 2. Recyclbare vs. recycelte Verbundwerkstoffe: – Auswirkungen auf Design und Materialauswahl 3. Nachhaltigkeitsphilosophien: – Cradle-to-Cradle (Kreislaufwirtschaft) vs. Cradle-to-Grave (lineare Nachhaltigkeit) 4. Strategien für Kreislaufdesign: – Demontagegerechtes Design – Materialtrennung – Modulare, reparierbare Komponenten 5. Praktische Relevanz: Wo diese Konzepte im maritimen Sektor Anwendung finden.		2	Interaktive Gruppen-Designaufgabe (projektbasiertes Lernen)

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Anleitung für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
2.1.2 Mechanische Leistungsfähigkeit	<i>Laminatvergleich zum Anfassen – Faserorientierung und mechanisches Verhalten verstehen</i>	Ziel: Die Studierenden untersuchen, wie sich die Faserorientierung und der Laminataufbau auf das mechanische Verhalten auswirken, und beobachten dabei Steifigkeit, Flexibilität und Torsionsverhalten. Hinweise für die Lehrkraft: Der Ablauf der Aktivität kann je nach den im Workshop verfügbaren Ressourcen angepasst werden. Vorbereitung: Stellen Sie 3–4 kleine Verbundlamine mit gleicher Matrix, aber unterschiedlicher Faseranordnung (unidirektional, kreuzweise, $\pm 45^\circ$, optional gewebte Naturfasern) her. Format A5 oder kleiner. Gruppenarbeit: Die Schüler testen manuell Biegung, Verdrehung und Kompression; dokumentieren das Verhalten; diskutieren, welche Lamine für welche Bootsteile geeignet sind. Lernziele: Den Einfluss der Faserorientierung erkennen; taktile Erfahrungen mit der mechanischen Terminologie verknüpfen; das Verständnis des Laminierprozesses auf reale Bootsbauteile anwenden.
2.1.2 Mechanische Leistungsfähigkeit	<i>Fehlerarten – Ein genauerer Blick</i>	Ziel: Die Studierenden beobachten reale Versagensbeispiele von Verbundwerkstoffen, um die Versagensarten zu identifizieren. Hinweise für Lehrende: Konzipiert für ein tieferes Verständnis durch taktile Beobachtung; anpassbar an die Verfügbarkeit. Vorbereitung: Sammeln Sie vorgeschädigte Verbundwerkstoffproben, die Faserbrüche, Matrixrisse und Delaminationen aufweisen. Beschriftung nur für Dozenten. Ablauf: 1) Praktische Beobachtung defekter Proben. 2) Gruppendiskussion zur Verknüpfung visueller Merkmale mit Fehlertyp und -ursachen. 3) Kontextbezogener Bezug zu Bootsbauteilen. Lernziele: Verbundwerkstoff-Versagensarten erkennen; Zusammenhänge zwischen Spannung, Materialstruktur und Bruch verstehen; Versagen mit Risiken im Bootsbau in Verbindung bringen.

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Anleitung für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
2.1.2 Mechanische Leistungsfähigkeit	<i>Praxistest – Spüren Sie die Leistung</i>	Ziel: Mechanische Begriffe durch physikalische Tests greifbar machen. Hinweise für den Unterricht: Erfordert einfache, vorbereitete Materialproben. Vorbereitung: Proben: PET-Schaum-Sandwichlaminat, wasserfestes Sperrholz, Vollfaserlaminat (z. B. Flachs + Epoxidharz). Optional: Stahlkugel für den Falltest. Teil 1: Manueller Ablenkungstest: Die Schüler beobachten Biegung, Rückprall und akustische Hinweise. Teil 2: Falltest: Auf Rückprallverhalten, Risse und das Risiko innerer Beschädigungen achten. Schutzbrille erforderlich. Teil 3: Protokolle: Die Schüler dokumentieren Verhaltensweisen und abgeleitete Eigenschaften. Lernziele: Verhalten mit mechanischen Begriffen verknüpfen; Unterschiede zwischen Kernmaterialien erfahren; über die Auswirkungen auf Sicherheit und Haltbarkeit reflektieren.
2.1.2 Mechanische Leistungsfähigkeit	<i>Spannungs-Dehnungs-Verhalten – Materialdaten erkennen und interpretieren</i>	Ziel: Den Lernenden helfen, Spannungs-Dehnungs-Kurven zu interpretieren und sie mit dem realen Materialverhalten in Verbindung zu bringen. Hinweise für den Unterricht: Verbindet physikalische Tests und ingenieurtechnische Daten; fortgeschrittene Mathematikkenntnisse sind nicht erforderlich. Vorbereitung: Drucken Sie vereinfachte Spannungs-Dehnungs-Kurven für Flachs-, Glasfaser- und Kohlenstoffverbundwerkstoffe sowie Druckkurven für Schaumstoff/Sperrholz aus. Optionale leere Diagramme. Teil 1: Überblick über die Spannungs-Dehnungs-Kurvenbereiche (elastisch, Streckgrenze, Bruchgrenze). Teil 2: Kurvenverlauf für verschiedene Materialien vergleichen; Bezug zu früheren Beobachtungen herstellen. Teil 3: Erörtern Sie die Grenzen der Daten und die Unvorhersehbarkeit (Richtung, Stoßbelastung vs. langsame Belastung). Teil 4: Miniprojekt: Auswahl von Materialien für ein fiktives Bootsteil. Lernziele: Spannungs-Dehnungs-Kurven verstehen; Materialien analytisch vergleichen; den Zusammenhang zwischen Daten und physikalischer Erfahrung erkennen.

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Anleitung für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
2.1.5 Fertigungsfehler	<i>Identifikation von Fertigungsfehlern</i>	Ziel: Den Lernenden helfen, typische Laminatdefekte zu erkennen und deren Ursachen und Folgen zu verstehen. Hinweise für den Unterricht: Viele Lernende beobachten Fehler, verstehen aber nicht deren Entstehung. Vorbereitung: Bitte stellen Sie Muster/Fotos der Defekte bereit: Luftblasen/Hohlräume, trockene Stellen, Faserfehlausrichtung, Delamination. Zusätzlich benötigen wir ein Arbeitsblatt mit einer Defekttabelle: Anzeichen, Ursachen, Auswirkungen und Präventionsmaßnahmen. Teil 1: Die Inspektionsstationen werden rotiert; die Lernenden füllen ein Arbeitsblatt aus und stellen Hypothesen zu den Ursachen auf. Teil 2: Gruppendiskussion über die Sichtbarkeit von Fehlern, langfristige Auswirkungen und Erfahrungen aus dem Workshop. Optional: Erzeugen Sie absichtlich Beispielfehler; zeigen Sie ein Video vom Infusionsfehler. Lernziele: Visuelle Anzeichen erkennen; Produktionsursachen verstehen; Fehlervermeidung erlernen; QA-Denken stärken.

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Anleitung für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
2.2.1 Rohstoffkategorien	<i>Erforschung von Fasern (Naturfasern, Mineralfasern, Recyclingfasern)</i>	Ziel der Aktivität: Die Schülerinnen und Schüler untersuchen und vergleichen verschiedene Verstärkungsfasern durch praktische Inspektion und Analyse und stellen Verbindungen zwischen den Fasern und ihren Anwendungen im maritimen Bereich sowie dem Thema Nachhaltigkeit her. Vorbereitung: Bereitstellung von Proben aus Flachs, Hanf, Jute (Naturfaser), Basalt (Mineralfaser), recyceltem PET (rPET) und regenerierter Zellulose. Bereitstellung von Faseridentifikationskarten mit Angaben zu Herkunft, Eigenschaften (Dichte, Steifigkeit, Haltbarkeit), maritimen Anwendungen und Umweltaspekten. Bereitstellung eines passenden Arbeitsblatts (Fasertyp, gängige Verwendung, Nutzen/Abwägung im Hinblick auf Nachhaltigkeit). Optionale Hilfsmittel: Lupe, Mikroskop, Lineal. Teil 1: Rotation der Faserstationen. Die Schüler durchlaufen die Stationen, berühren/untersuchen Fasern, lesen Informationsblätter und füllen Arbeitsblätter aus. Teil 2: Reflexion in der gesamten Klasse; Sortierung der Fasern in die Gruppen Natur/Mineral/Recycelt, Diskussion über Festigkeit, Nachhaltigkeit und Überraschungen. Optional: Blindes Raten der Identifizierung; Anwendungsdiskussion zur Auswahl von Fasern für Deckpaneele usw.

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Anleitung für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
2.2.2 Textilien	<i>Workshop zu Textilformen: Gewebe, Vliesstoffe, UD (unidirektional)</i>	Aktivitätsziel: Die Studierenden verstehen durch praktische Tests und Drapierübungen, wie sich verschiedene Textilformen beim Laminieren (Lay-up) von Verbundwerkstoffen verhalten. Vorbereitung: Bereitstellung von Geweben (Leinwandbindung, Körperbindung), unidirektionalen (UD) Gelegen, Vliesmatten sowie kleinen Formen (Halbkugel, Ecke, Schalen), Klebeband, Scheren, Markern und Sprühkleber (optional). Arbeitsblätter für die Identifikation und Drapiernotizen. Teil 1 – Orientierung & Anisotropie-Demo: Die Studierenden markieren die Faserrichtung auf den UD-Gelegen und ziehen längs sowie quer zu den Fasern, um die Anisotropie zu beobachten. Diskussion über die Auswirkungen auf die Lastpfade im Bootsbau. Teil 2 – Drapier-Challenge: Die Studierenden versuchen, die Textilien über gekrümmte Formen zu legen, beobachten Faltenbildung, nehmen Entlastungsschnitte vor, vergleichen das Drapierverhalten und halten fest, welche Textilien sich am besten drapieren lassen. Lernergebnisse (Learning Outcomes): Textilformen identifizieren; die Beziehung zwischen Bindungsart/Faserrichtung und Drapierbarkeit verstehen; die Bedeutung der Faserorientierung für Festigkeit und Nachhaltigkeit erkennen.

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Anleitung für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
2.2.5 Nachhaltige Sandwichkerne	<i>Workshop: Vergleich von Kernmaterialien</i>	Lernziel: Die Schüler vergleichen nachhaltige Kernmaterialien (Balsaholz, Kork, rPET-Schaum, Papierwaben, optional PVC als Referenz) durch Inspektion, Gewichtsvergleich, Durchbiegungstests und Begründungen zur Nachhaltigkeit. Benötigte Materialien: Musterplatten jedes Kerns; Profilkarten; Arbeitsblätter für Struktur/Gewicht/Steifigkeit; Versuchsaufbau für die Durchbiegungsprüfung (Bücher + Dübel); Maßstab; Lineal oder Last. Verfahren: 1. Einleitung: Überblick über die Kernfunktion des Sandwichs; Fragestellung: „Was macht ein gutes Kernmaterial aus?“ 2. Gruppenrotation: Die Studierenden bearbeiten jeweils eine Kernprobe, führen grundlegende Tests durch und notieren ihre Beobachtungen. 3. Vergleich & Begründung: Die Studierenden füllen eine Entscheidungsmatrix aus: bester Anwendungsfall pro Kern, Kompromisse (Steifigkeit, Wasserbeständigkeit, Kosten, Nachhaltigkeit). 4. Diskussion: Welches Material hat sie überrascht, wo sollte man Kork/Waben verwenden, und welches Balsaholz ist unterhalb der Wasserlinie vertrauenswürdig? Lernziel: Materialunterschiede durch taktilen Vergleich verstehen; Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit erkennen; strukturierte Materialauswahl üben.

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Anleitung für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
2.2.6 Recycelte Elemente	<i>Workshop: Wiederverwendung von Verbundwerkstoffresten</i>	Lernziel: Die Lernenden entwickeln praktische Wiederverwendungsstrategien, verstehen die Grenzen des Recyclings und reflektieren Nachhaltigkeit im Rahmen der Werkstatttroutinen. Benötigte Materialien: Kiste mit Werkstattresten (Laminatabschnitte, unbenutzte Fasermatten, abgelaufene Prepregs, Harzbecher, Kernausschnitte, defekte Vorrichtungen). Arbeitsblätter für ein Brainstorming zur Wiederverwendung. Visualisierung der Abfallhierarchie. Verfahren: 1. Die Ausgangslage schaffen: Das Konzept „Nicht wegwerfen, sondern umdenken“ vorstellen; die Umweltauswirkungen von Verbundabfällen hervorheben. 2. Gruppenarbeit: Die Schüler sortieren Reste, identifizieren Wertgegenstände und entwickeln Ideen zur Wiederverwendung (strukturell, Werkzeuge, Verpackung, Schulung, kreativ). Dabei sind Sicherheitsrisiken und Abfallvermeidung zu berücksichtigen. 3. Dokumentation: Die Gruppen erstellen einen Wiederverwendungsplan für 2-3 Gegenstände, listen Grenzen auf und diskutieren, ob Abfall hätte vermieden werden können. 4. Präsentationen (optional): Gruppen stellen ihre Ideen vor. Lernziel: Die Grenzen des Recyclings verstehen; praktische Wiederverwendungsstrategien entwickeln; Nachhaltigkeitsgedanken in die täglichen Entscheidungen der Werkstatt einbeziehen.

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Anleitung für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
2.3.2 Umweltfreundliche Lösungen	Workshop für zirkuläre Designkomponenten	Lernziel: Die Studierenden wenden das Prinzip der Kreislaufwirtschaft in einer praktischen Designaufgabe an. Der Fokus liegt auf dem Verständnis von Systemen: Materialbeschaffung, Nutzung, Entsorgung, Abwägungen zur Nachhaltigkeit und Auswirkungen auf die Fertigung. Benötigte Materialien: Design-Vorgabenblätter (Beispielkomponenten oder selbst definiert); Flipcharts oder großes Papier; Materialkarten/Datenblätter (Bio-Epoxyd, Polyester, Thermoplaste; Flachs, Glas, Basalt, rPET; Balsaholz, rPET-Schaum, Kork, Wabenstruktur); optional Videos/Fallstudien zu zirkulären Schiffdesigns; Arbeitsblatt zur Dokumentation von Materialien und zirkulären Strategien. Ablauf des Workshops: 1. Auftakt – Was bedeutet „kreislauffähig“? Einführung in die Konzepte Cradle-to-Cradle vs. Cradle-to-Grave; Beispiele für Boote, die für die Demontage, modulare Wiederverwendung und umweltschonende Materialien (z. B. Flachsverbundwerkstoffe) konzipiert sind. 2. Aufgabenbeschreibung – Kreislaufwirtschaftliche Bauteilkonstruktion: Gruppen entwerfen ein kleines Bootsbauteil unter Anwendung von Kreislaufprinzipien. Sie wählen Materialien aus, berücksichtigen Produktion und Reparatur und erstellen einen Plan für Wiederverwendung/Recycling. 3. Gruppenphase: Brainstorming, Skizzieren, Recherchieren. Erstellung einer A3-/Flipchart-Präsentation mit Materialauswahl, Kreislaufstrategien, Kompromissen und Optionen zur Weiterverwendung. 4. Teampräsentationen: Die Gruppen stellen ihre Entwürfe vor; Feedback von Kommilitonen/Dozenten. Lernziel: Die Studierenden verstehen die Zielkonflikte im Bereich Nachhaltigkeit; wenden Lebenszyklusbetrachtungen auf Verbundbauteile an; demonstrieren Strategien für Kreislaufdesign, die über das Recycling hinausgehen; kommunizieren ökologische Argumentationen. Tipps für Trainer: Verweisen Sie auf reale Unternehmenspraktiken oder laden Sie einen Gastredner ein; ermutigen Sie dazu, vom Lebensende aus „rückwärts zu denken“.

Thema für vertiefende Informationen	Reference Link	Übersicht der Referenzinhalte	Anmerkungen
3. Wichtige Materialeigenschaften: mechanische (Zug-, Biege-, Druckfestigkeit), physikalische (Dichte, Feuchtigkeitsaufnahme), chemische Beständigkeit (UV-, Salzwasserbeständigkeit) und Verarbeitbarkeit	Beckman, I. P., Lozano, C., Freeman, E., & Riveros, G. (2021). Fiber Selection for Reinforced Additive Manufacturing. <i>Polymers</i> , 13(14), 2231. https://doi.org/10.3390/polym13142231 (https://www.mdpi.com/2073-4360/13/14/2231)(table 4...)	Wissenschaftliche Publikation über Eigenschaften verschiedener Fasern (mit Tabellen, Diagrammen, ...)	Öffentlich wissenschaftliche Veröffentlichungen
Begriffe: Wiederholung von Zug, Biegung, Druck, Torsion und Schlagfestigkeit. Einflussfaktoren: Auswirkung von Faserorientierung, Harztyp und Lagenaufbau auf die Performance. Verbundstruktur: Zusammenspiel von Faser und Matrix. Praxisbeispiele: Unterschiedliche mechanische Anforderungen bei Rumpf, Schotten und Platten. Prüfverfahren: Einstieg in mechanische Tests (z. B. Biegeversuche, manuelle Durchbiegung). Datenanalyse: Vereinfachtes Interpretieren mechanischer Leistungsdaten.	https://eoceanic.com/sailing/tips/8/187/understanding_composites_for_larger_boat_projects/ ISO 12215-5:2019 ; ISO 12215-7:2019 ; ISO 12215-8:2019 ; ISO 12215-9:2019 ; ISO 12215-10:2019 https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081022924000011	Präsentation mit vielen Diagrammen und expliziten Werten zu mechanischen Eigenschaften und Merkmalen von Materialien (Fasern, Harze, ...) Baunormen für kleine Boote (oder: Bauvorschriften für Sportboote) Wissenschaftliche Publikation über mechanische Prüfverfahren für Verbundwerkstoffe	Website, Standarddokumentation, wissenschaftliche Publikation, öffentlich zugänglich (ISO ist kostenpflichtig)

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Vertiefende Informationen zur Aufteilung der Unterthemen von Einheit 2

Thema für vertiefende Informationen	Reference Link	Übersicht der Referenzinhalte	Anmerkungen
1. Einführung in chemische und umweltbedingte Stressfaktoren: UV-Strahlung, Feuchtigkeit, Salzwasser, Temperatur. 4. Einfluss des Harztyps auf die Beständigkeit (z. B. Polyester vs. Epoxid vs. biobasiert).	Ali, Dr-Ahmed & Mohamed, Hamdy & ElSafty, Adel & Benmokrane, Brahim. (2017). INFLUENCE OF RESIN TYPE ON PHYSICAL, MECHANICAL AND DURABILITY PERFORMANCE OF GLASS-FRP BARS.	Konferenzbeitrag über Versuche an glasfaserverstärkten Kunststoffstäben mit verschiedenen Harztypen (Isopolyester, Vinylester, Polyurethan und Epoxidharz)	Konferenzbeitrag, verfügbar nach Genehmigung durch die Autoren
1. Nachhaltigkeitsdimensionen bei der Materialauswahl: Umwelt, Gesundheit/Sicherheit, Technik und Wirtschaft. 2. Lebenszyklusphasen: Rohstoffgewinnung, Produktion, Nutzung, Wartung, Entsorgung oder Recycling. 3. Überblick über Umweltauswirkungen: Emissionen, Energieverbrauch, Transport. 4. Anforderungen und Herausforderungen an die Recyclingfähigkeit von Verbundwerkstoffen. 5. Kompromisse: Abwägung von Leistung, Langlebigkeit und ökologischem Fußabdruck. 6. Einführung in qualitative Entscheidungsmatrizen oder Vergleichstabellen.	https://as-proceeding.com/index.php/icaens/article/download/1035/971 Xianhui Zhao, Katie Copenhaver, Lu Wang, Matthew Korey, Douglas J. Gardner, Kai Li, Meghan E. Lamm, Vidya Kishore, Samarthya Bhagia, Mehdi Tajvidi, Halil Tekinalp, Oluwafemi Oyedeki, Sanjita Wasti, Erin Webb, Arthur J. Ragauskas, Hongli Zhu, William H. Peter, Soydan Ozcan, Recycling of natural fiber composites: Challenges and opportunities, Resources, Conservation and Recycling, Volume 177, 2022, 105962, ISSN 0921-3449, https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105962. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344921005711) Chapter 5 of Eco-Boat building guide	Kurze wissenschaftliche Publikation über Recyclingmethoden: mechanische, thermische und chemische Wissenschaftliche Publikation über die Auswirkungen von Recycling auf die Qualität und die mechanischen Eigenschaften von Naturfasern Überblick über die LCA-Methodik	Öffentliche, wissenschaftliche Publikationen

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen der Einheit 2



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Notes
	https://www.addcomposites.com/post/defects-and-damage-in-composite-materials-and-structures#headline2	Expliziter, einfacher und praxisorientierter Leitfaden zu Verbundwerkstoffen, Defekten und deren Auswirkungen, mit vielen Verknüpfungen zu anderen verwandten und relevanten Themen	Öffentlich, Website
	https://www.marineshift360.org/#lcatool https://www.openlca.org/	Vorstellung des kostenlosen Tools MarineShift360, Zugriff auf das Tool durch Erstellung eines Kontos, insbesondere zur „Educational Light“-Lizenz. Zugriff auf das kostenlose und professionelle LCA-Tool OpenLCA durch Herunterladen (Open-Source-Software).	Kostenlose, browserbasierte Anwendung, Open-Source-LCA-Software
	https://www.youtube.com/watch?v=yn9UScW_Yjc https://www.youtube.com/watch?v=3Lt87LKaZUU	Präsentationen über Fasern mit Mustern und Merkmalen, Herkunft, Umweltauswirkungen und geografischer Verteilung	Öffentlich, YouTube videos

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen der Einheit 2



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Notes
Überblick: Textilarchitekturen in Verbundwerkstoffen. Faserorientierung: Einfluss auf Festigkeit und Steifigkeit. Drapierbarkeit: Flexibilität und Anpassung eines Textils an gekrümmte Oberflächen.	Amit Rawal, Abhijit Majumdar, Vijay Kumar V, Die Autoren 2023. Veröffentlicht von Oxford University Press: Textilarchitektur für Verbundwerkstoffe: Zurück zu den Grundlagen (https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1808412/FULLTEXT01.pdf). Yasser S. Mohamed, Ahmed Abdelbary, Theoretische und experimentelle Studie zum Einfluss der Faserorientierung auf die Zugeigenschaften von unidirektionalem Kohlenstofffaser/Epoxid-Verbundwerkstoff, Alexandria Engineering Journal, Band 67, 2023, Seiten 693–705, ISSN 1110-0168 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S110016822008420).	Wissenschaftliche Publikation, die sich einfach mit gewebten, nicht gewebten, gestrickten und geflochtenen Textilien befasst Wissenschaftliche Publikation über Experimente an verschiedenen Verbundwerkstoffproben mit unterschiedlicher Faserorientierung	Öffentlich, Wissenschaftliche Veröffentlichungen

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen der Einheit 2



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Notes
	https://www.youtube.com/watch?v=yQo4ucV3jfA	Beachten Sie die Hinweise zu Sicherheitsmaßnahmen und Sicherheitshinweisen.	Public, YouTube video
3. Was sind Haftvermittler? - Zusätze, die die Bindung zwischen Faser und Harz verbessern. Relevanz: Bessere Haftung, längere Lebensdauer des Bauteils, Sicherheitsmerkmal.	Sakshi Shantharam Kamath, Ravi Kumar Chandrappa, Additive in natural fiber reinforced polymer composites-a review, Materials Today: Proceedings, Volume 50, Part 5, 2022, Pages 1417-1424, ISSN 2214-7853, https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.331 . (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532105776X) https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/compatibilizer https://www.youtube.com/watch?v=4zpQwirFsbk https://www.youtube.com/watch?v=tiS8ArzEA58 https://www.youtube.com/watch?v=TNM8-pPPk-M https://www.youtube.com/watch?v=Bqb7iA6AG-g	Wissenschaftliche Überprüfung von Zusatzstoffen, die mit Naturfasern verwendet werden Mehrere Artikel über Kompatibilisatoren. Vorlesung über Sandwichkonstruktionen (fortgeschrittenes Niveau, Berechnung mechanischer Parameter, ...). Präsentation der Vorteile der Sandwichbauweise mit einfachen, aber anschaulichen Demonstrationen und Hervorhebung von Balsaholz als besonders effizientem Kernmaterial Konstruktion des IY Open60AAL mit Schwerpunkt auf Balsaholz und Laminierung Vergleich mehrerer Kernmaterialien	Wissenschaftliche Publikationen, erfordern Genehmigung der Autoren

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen der Einheit 2



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Notes
1. What can be reused or recycled? 2. Challenges in using recycled materials.	https://www.youtube.com/watch?v=ynGKEYIYXQo Daniele Tortorici, Yi Chen, Leon Mishnaevsky, Susanna Laurenzi, Recycling carbon fibers by solvolysis: Effects of porosity and process parameters, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 190, 2025, 108667, ISSN 1359-835X, https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2024.108667 . (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X24006651)	Kreislaufwirtschaftsprojekt für Verbundwerkstoffe Wissenschaftliche Publikation über Solvolyse Wissenschaftliche Publikation zum Vergleich der Energieaspekte von Pyrolyse und Solvolyse Wissenschaftliche Publikation über Recyclingmethoden und -probleme für Verbundwerkstoffe	YouTube-Video, wissenschaftliche Publikationen, Website-Artikel, öffentlich zugänglich (außer den wissenschaftlichen Publikationen)

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen der Einheit 2

Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Notes
1 Was kann wiederverwendet oder recycelt werden? 2 Herausforderungen bei der Verwendung von recycelten Materialien.	Kooduvalli, K., Unser, J., Ozcan, S. & Vaidya, U. K. (2022). Eingeschränkte Energie in Pyrolyse- und Solvolysenverfahren zum Recycling von kohlenstofffaserverstärkten Epoxid-Verbundwerkstoff-Abfallströmen. Recycling, 7(1), 6. https://doi.org/10.3390/recycling7010006 https://www.mdpi.com/2313-4321/7/1/6 Yongxiang Yang, Rob Boom, Brijan Irion, Derk-Jan van Heerden, Pieter Kuiper, Hans de Wit, Recycling von Verbundwerkstoffen, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, Band 51, 2012, Seiten 53–68, ISSN 0255-2701, https://doi.org/10.1016/j.cep.2011.09.007 . https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0255270111002029		Wissenschaftliche Publikation, Website-Artikel, öffentlich zugänglich
1 Präsentation ausgewählter Fallstudien: Bootstypen (z. B. Jollen, Segelboote, Komponenten) Verwendete Fasern und Harzsysteme, Herstellungsverfahren 2 Motivation hinter dem jeweiligen Projekt (z. B. CO₂-Reduktion, Marketing, gesetzliche Vorschriften)	https://www.youtube.com/watch?v=uD7UxIwumWU https://www.proboat.com/2022/05/greenboats-flax/ https://www.compositesworld.com/news/alliance-for-european-flax-linen-and-hemp-reports-increasing-flax-fiber-adoption-in-marine https://www.metstrade.com/news/sustainability/bio-based-and-recyclable-materials-prove-themselves	ANT ARCTIC LAB Projekt (vulkanische Faser) Bericht über die Erfolge von Greenboats Artikel über verschiedene Projekte mit unterschiedlichen Fasern und verschiedenen Booten. Artikel über verschiedene Projekte mit unterschiedlichen Nachhaltigkeitskonzepten	YouTube-Video, Website-Artikel, öffentlich zugänglich

Einheit 2: Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen der Einheit 2



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Notes
1 Biobasierte Materialien im Fokus: Bio-Harze und Klebstoffe (pflanzenbasiert, emissionsarm/VOC-arm) Unterschiede zwischen biobasiert und biologisch abbaubar 2 Strategien für zirkuläres Design (Kreislaufwirtschaft): Konstruktion für einfache Demontage (Design for Disassembly) Materialtrennung Modulare, reparierbare Komponenten	https://entropyresins.com/bioinfusion/ https://greenpoxy.org/ Durmisevic, Elma, Fikkert, Rick und Otheguy, Mariano. (2013). DfD als Methodik zur Verbesserung der Nachhaltigkeit von Offshore-Unterkünften. Technology Review 2013. (https://www.researchgate.net/publication/258837862_DfD_as_a_Methodology_to_Improve_the_Sustainability_of_Offshore_Accommodation)	Webseite eines der wenigen Hersteller biobasierter Epoxidharze (Entropy Resins) Webseite eines der wenigen Hersteller biobasierter Epoxidharze (Greenpoxy - Sicomin) Wissenschaftliche Publikation über DfD	Öffentlich zugänglich, Website, wissenschaftliche Publikationen



Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur



Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (hrs)	Lernmethoden
3.1 Nachhaltige Fertigungsmethoden	3.1.1 Werkzeuge, Ausrüstung, Oberflächenvorbereitung	1. Einführung in Handwerkzeuge und Ausrüstung für die Verbundwerkstoffverarbeitung: - Scheren, Walzen, Abziehfolien, Bürsten, Vakuumbeutel, Infusionspumpen 2. Grundlagen der Oberflächenvorbereitung: - Reinigen, Schleifen, Entfetten - Bedeutung der Oberflächenqualität für die Verklebung 3. Sicherheitsaspekte beim Umgang mit Werkzeugen und Chemikalien 4. Unterschiede im Werkzeugeinsatz bei nachhaltigen vs. konventionellen Materialien 5. Visuelle Indikatoren für „laminierfertige“ Oberflächen	Lernziel (LO): Die Lernenden identifizieren und nutzen sicher grundlegende Werkzeuge und Geräte für die Herstellung von Verbundwerkstoffen. Sie verstehen einfache Schritte der Oberflächenvorbereitung und führen diese selbstständig durch.	4	Praktische Vorführung mit den Geräten. Kurze, vom Ausbilder geleitete Einführung.
	3.1.2 Textile Strukturen: Arbeiten mit Naturfasertextilien	1. Einführung in Naturfasertextilien für Verbundwerkstoffe: - Flachs, Hanf, Jute, Kenaf 2. Textilformen: - Gewebe, Vliesstoffe, unidirektionale Matten 3. Wichtigste Eigenschaften von Naturtextilien: - Drapierbarkeit, Dicke, Faserausrichtung, Feuchtigkeitsempfindlichkeit 4. Einfluss der Textilstruktur auf die mechanischen Eigenschaften und die Verarbeitbarkeit 5. Anwendungsbereiche im Bootsbau: Innenverkleidungen, nichttragende Elemente usw.	Lernziel (LO): Die Lernenden identifizieren Textilarten aus Naturfasern und beschreiben, wie deren Struktur den Herstellungsprozess und die Leistungsfähigkeit des Bauteils beeinflusst.	8	Praktische Übung zur Materialhandhabung, unterstützt durch Anleitung der Lehrkraft.

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (hrs)	Lernmethoden
3.1 Nachhaltige Fertigungsmethoden	3.1.3 Laminiertechniken: Applikation von biobasierten Harzen mit Naturfasern	1. Einführung in die grundlegenden Laminierschritte: - Schneiden der Fasern, Mischen der Harze, Auftragen des Harzes mit Rolle oder Pinsel 2. Materialeigenschaften: - Verarbeitung von Flachs- oder Basalttextilien - Benetzungsverhalten biobasierter Harzsysteme 3. Wichtige Prozessaspekte: - Verarbeitungszeit, Faserverschiebung, Lagenanordnung 4. Praktische Tipps für erfolgreiches offenes Laminieren 5. Aushärtung und Nachbearbeitung (kurzer Überblick) 6. Vorbereitung auf den Vergleich in der nächsten Sitzung (3.1.4): Die Platten werden beschädigt und später repariert.	Lernziel (LO): Die Lernenden demonstrieren ein grundlegendes Handlaminierverfahren unter Verwendung von Naturfasern und biobasierten Harzen. Sie befolgen die wesentlichen Prozessschritte und stellen eine Laminatplatte her, die für die visuelle Inspektion und den Vergleich geeignet ist.	11	Geführte praktische Aufgabe

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (hrs)	Lernmethoden
3.1 Nachhaltige Fertigungsmethoden	3.1.4 Herausforderungen: Verarbeitungsschwierigkeiten und Optimierung nachhaltiger Materialien.	Gruppe A: Naturfasern, Handlaminieren (offenes Verfahren) Gruppe B: Glasfasern, Handlaminieren Demonstration durch die Lehrkraft: Naturfasern mit Vakuuminfusion (geschlossenes Verfahren). Behandelte Themen: Materialhandhabung und Benetzungsverhalten. Beobachtete Verarbeitungsschwierigkeiten: Harzaufnahme, Ausfransen der Fasern, Verarbeitungszeit (Topfzeit). Visuelle Qualität des Laminats: Blasen, trockene Stellen, Falten. Bedeutung geschlossener Verfahren für bestimmte Naturfasern Diskussion der Lernenden: Welches Verfahren war einfacher? Welche Probleme sind aufgetreten? Input der Lehrkraft: Zusammenfassung der Vor- und Nachteile jeder Kombination	Lernziel (LO): Die Lernenden erfahren die zentralen Herausforderungen bei der Arbeit mit nachhaltigen Materialien und vergleichen deren Verarbeitbarkeit sowie visuelle Qualität mit konventionellen Verbundwerkstoffen. Sie erkennen die Bedeutung geeigneter Verarbeitungsverfahren für unterschiedliche Fasern.	12	Gruppenvergleich und Diskussion

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (hrs)	Lernmethoden
3.2 Retrofitting- und Reparaturstrategien für Boote	3.2.1 Nachrüstungsstrategien: Integration nachhaltiger Materialien in bestehende Boote	Austausch von nicht-strukturellen Teilen: Innenschale des Bootes, Duschen, Waschbecken, Bodenplatten, Pantry	Lernziel (LO): Die Lernenden lernen, ein beschädigtes Laminat zu analysieren, es für das Laminieren / die Reparatur vorzubereiten und die Reparatur fachgerecht auszuführen.	15	Geführte praktische Reparaturaufgabe
	3.2.2 Reparaturtechniken: Standardisierte Reparaturmethoden für nachhaltige Verbundwerkstoffe.	1. Schaden analysieren (Größe, Material, Art der Rekonstruktion) 2. Beschädigtes Material entfernen 3. Schleifen und Polieren 4. Rekonstruktion.		15	Geführte praktische Reparaturaufgabe

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (hrs)	Lernmethoden
3.3 Abfallreduzierung und Effizienz bei Verbundwerkstoff-Prozessen	3.3.1 Qualitätssicherung: Überwachung der Material- und Energieflusseffizienz	1. Was ist Qualitätssicherung (QS) in der Verbundwerkstofffertigung? – Rolle der QS für Nachhaltigkeit und Langlebigkeit 2. Einfache QS-Techniken für die Verbundwerkstoffproduktion in Kleinserie 3. Materialflussindikatoren: – Harzverbrauch pro Platte, Faserverschnitttrate 4. Energiebezogene Faktoren: – Prozesszeit, Heizgeräte, Beleuchtung 5. Dokumentationsinstrumente: – Protokollblätter, Sichtprüfung, Fotodokumentation 6. Reflexion: Wie trägt die Dokumentation zur Effizienzsteigerung und Abfallreduzierung bei?	Lernziel (LO): Die Lernenden verstehen das Konzept der Qualitätssicherung in der Herstellung von Verbundwerkstoffen. Sie sind in der Lage, grundlegende Indikatoren des Material- und Energieflusses während der Fertigung zu überwachen und darüber zu reflektieren, wie die Effizienz verbessert werden kann.	5	Demonstration + angeleitete Gruppenaktivität

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (hrs)	Lernmethoden
3.3 Abfallreduzierung und Effizienz bei Verbundwerkstoff-Prozessen	3.3.2 Methoden zur Abfallreduzierung: Präzisionsschneiden, Materialwiederverwendung, biobasierte Verbrauchsmaterialien.	1. Was verursacht Abfall in Verbundwerkstoffprozessen? – Häufige Ursachen: Verschnitt, Übermischen, Einwegwerkzeuge 2. Materialwiederverwendung: – Ideen für die Verwendung von Verschnittresten: Füllmaterial, Formrückseite, Prototypenteile 3. Biobasierte Verbrauchsmaterialien: – Recyclebare Mischbecher, kompostierbare Handschuhe, biologisch abbaubare Trennfolien (Ist das wirklich eine Option?!) 4. Beispiele für bewährte Verfahren aus der Industrie 5. Gruppenaufgabe: Abfall bei der Planung und Vorbereitung eines kleinen Bauteils minimieren 7. Reflexion: Was hat funktioniert? Wo ist noch Abfall entstanden?	Lernziel (LO): Die Lernenden wenden grundlegende Strategien zur Reduzierung von Materialabfällen bei der Herstellung von Verbundwerkstoffen an. Sie planen die Arbeitsschritte so, dass der Materialeinsatz optimiert wird, untersuchen die Wiederverwendung von Verschnitt und identifizieren nachhaltige Alternativen für Verbrauchsmaterialien.	5	Gruppenplanungsaufgabe & Reflexion

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Anleitungen für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
3.1.1 Werkzeuge, Ausrüstung, Oberflächenvorbereitung	<i>Workshop – Werkzeugidentifizierung und Laminierungsschritte</i>	Beschreibung: Die Studierenden arbeiten in Gruppen. Jede Gruppe erhält mehrere Werkzeuge. Auf einer Tafel sind die wichtigsten Schritte des Laminierens sowie die wichtigsten Sicherheitsregeln und -hinweise notiert. Die Gruppen müssen die einzelnen Schritte bzw. Sicherheitsregeln und -vorgaben ihren jeweiligen Werkzeugen zuordnen und dies begründen. Ausrüstung: Gängige Werkzeuge zum Laminieren; Whiteboard oder Ähnliches. Ziel: Die Schüler sollen sich mit den grundlegenden Werkzeugen vertraut machen und deren korrekte Verwendung im Hinblick auf Sicherheit und Effizienz des Laminierens verstehen. Erwartetes Ergebnis: Die Studierenden wissen, welches Werkzeug sie wann und wie unter Berücksichtigung der Sicherheit und einer effektiven Laminierung einsetzen müssen.
3.1.2 Textile Strukturen	<i>Vergleich der Proben</i>	Beschreibung: Die Schüler erhalten mehrere Stoffproben aus verschiedenen Fasern. Sie vergleichen diese und notieren deren Eigenschaften und Verhalten. Ausrüstung: Diverse Stoffmuster. Ziel: Die Studierenden sollen mit Laminiergeweben vertraut gemacht werden und diese erkennen können. Erwartetes Ergebnis: Die Schüler können erkennen, aus welchen Fasern die einzelnen Stoffe bestehen und die Eigenschaften der Stoffe verstehen.

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Anleitungen für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
3.1.2 Textile Strukturen	<i>Diagrammvergleich und -zusammenhang</i>	Beschreibung: Diagramme zur Stoffresistenz werden angezeigt, ohne die Stoffart preiszugeben. Die Schüler müssen die Diagramme anhand der beobachteten Eigenschaften den Stoffproben zuordnen. Ausrüstung: Stoffeigenschaftentabellen. Ziel: Die Schüler sollen einen Zusammenhang zwischen Stoffeigenschaften und Verhalten herstellen. Erwartetes Ergebnis: Die Studierenden können die für die Endbearbeitung erforderlichen Stoffe auswählen.

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Anleitungen für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
3.1.3 Laminiertechniken	<i>Praktisches Handauflegeverfahren</i>	Beschreibung: Jeder Lernende erhält eine Form und Materialien (Gewebe, Werkzeuge, PSA, Harz, Härter, Verbrauchsmaterialien), um ein Handauflegeverfahren durchzuführen. Ausrüstung: Formen, Gewebe, Werkzeuge, Harz, Härter, PSA, Verbrauchsmaterialien. Ziel: Den Lernenden das Laminieren beibringen und das Verständnis für kritische Punkte im Prozess vermitteln. Erwartetes Ergebnis: Die Lernenden sind in der Lage, mithilfe des offenen Handauflegeverfahrens fachgerecht zu laminieren.
3.1.3 Laminiertechniken	<i>Kollaborative Vakuuminfusion</i>	Beschreibung: Der Ausbilder demonstriert eine vollständige Laminierung mittels Vakuuminfusion. Die Lernenden nehmen teil; wichtige Punkte werden beobachtet und besprochen. Ausrüstung: Form, Gewebe, Harz, Härter, Werkzeuge, PSA, Verbrauchsmaterialien, Vakuumpumpe. Ziel: Einführung in die Vakuuminfusion und Aufzeigen kritischer Punkte. Erwartetes Ergebnis: Die Lernenden verstehen, wie mittels Vakuuminfusion laminiert wird.

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Anleitungen für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
3.1.4 Herausforderungen	<i>Laminiervergleich (konventionell vs. nachhaltig)</i>	Beschreibung: Die Lernenden laminieren ein kleines Bauteil mit konventionellen Materialien und anschließend erneut mit nachhaltigen Materialien, wobei sie während beider Prozesse Anmerkungen und Beobachtungen festhalten. Am Ende vergleichen sie ihre Erfahrungen und präsentieren eine Zusammenfassung. Ausrüstung: Gewebe, Harz, Härter, Werkzeuge, PSA, Verbrauchsmaterialien. Ziel: Die Lernenden sollen beide Materialarten in der Praxis erleben und eigene Vergleiche anstellen. Erwartetes Ergebnis: Die Lernenden verstehen die Vor- und Nachteile beider Materialarten.

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Anleitungen für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
3.2.1 Umrüstungsstrategien	<i>Gruppenpräsentation zu Sanierungsprojekten</i>	Beschreibung: Die Studierenden arbeiten in Gruppen an der Recherche von Projekten zur Gebäudesanierung oder zur Integration nachhaltiger Materialien. Sie präsentieren eine 5-minütige Zusammenfassung in einem Format ihrer Wahl (Folien, Poster, Video, Bilder etc.). Der Dozent teilt die Themen ein, um Überschneidungen zu vermeiden. Ausstattung: Computer, Whiteboard, Projektor. Ziel: Untersuchung der Nachrüstung und der damit verbundenen Herausforderungen. Erwartetes Ergebnis: Die Studierenden verstehen Nachrüstungsmethoden, erkennen Herausforderungen, fassen zusammen und extrahieren die wichtigsten Ideen.
3.2.2 Reparaturtechniken	<i>Spiel mit Schleifpapier und Schleifscheiben</i>	Beschreibung: Die Schüler ordnen Schleifpapiere/Schleifscheiben (verschiedener Sorten) den Körnungsbezeichnungen zu und sortieren sie. Anschließend erklärt der Ausbilder, welche Körnung für welche Oberfläche, welches Werkzeug und welche Aufgabe geeignet ist. Ausrüstung: Schleifpapier/Schleifscheiben, Körnungsetiketten. Ziel: Die Studierenden mit Körnungen und Arten von Schleifpapieren/Schleifscheiben vertraut machen. Erwartetes Ergebnis: Die Studierenden verstehen die Grit-Skala und deren angemessene Anwendung.

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Anleitungen für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
3.2.2 Reparaturtechniken	<i>Praktische Reparaturübung</i>	Beschreibung: Nach einer Vorführung erhält jeder Schüler ein absichtlich beschädigtes laminiertes Muster. Sie wählen eine Reparaturmethode, erklären diese, holen die Zustimmung des Lehrers ein und führen die Reparatur durch. Ausrüstung: Beschädigte Verbundwerkstoffprobe, Rohmaterialien, Harz, Härter, Gewebe, Laminierwerkzeuge, PSA, Verbrauchsmaterialien. Ziel: Die Fähigkeit der Schüler entwickeln, Reparatursituationen zu analysieren und die richtigen Methoden anzuwenden. Erwartetes Ergebnis: Die Schüler können beschädigte Verbundwerkstoffe reparieren und geeignete Reparaturstrategien auswählen.

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Anleitungen für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
3.3.1 Qualitätssicherung in Prozessen	<i>Planung von Reflexions- und Qualitätssicherungstechniken</i>	Beschreibung: Die Studierenden analysieren in Gruppen einen vorgegebenen Prozess und planen die Implementierung von Qualitätssicherungstechniken und -indikatoren. Sie erstellen ein Diagramm, das die einzelnen Schritte und Verbesserungsvorschläge aufzeigt. Ausrüstung: Computer. Ziel: Die Anpassung von QA-Tools zur Prozessverbesserung fördern. Erwartetes Ergebnis: Die Studierenden können QA-Methoden auf Basis von Prozessmerkmalen implementieren und analysieren.
3.3.2 Abfallreduzierung	<i>Abfall-Brainstorming</i>	Beschreibung: Der Ausbilder präsentiert Beispiele für Abfall beim Bootsbau, inklusive Zahlen und Statistiken. Die Studierenden entwickeln Strategien zur Abfallreduzierung. Die Gruppe erstellt eine Liste mit umsetzbaren Vorschlägen. Ausstattung: Whiteboard. Ziel: Das Bewusstsein für Abfall und seine Auswirkungen schärfen; die Bedeutung frühzeitiger Planung hervorheben. Erwartetes Ergebnis: Die Studierenden betrachten Abfallmanagement als unerlässlich für die Unternehmensorganisation.

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Anleitungen für die Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
3.3.2 Abfallreduzierung	<i>Prozessplanung mit integrierter Abfallreduzierung</i>	Beschreibung: Die Gruppen erhalten ein fertiges Produkt. Sie erstellen einen vollständigen Aufgabenplan mit Beschreibungen, die erläutern, wie Abfall in jedem Schritt minimiert werden kann. Ergebnis: ein Ordner mit einer Aufgabentabelle und detaillierten Aufgabenblättern. Ausrüstung: Computer. Ziel: Förderung einer ganzheitlichen Prozessplanung mit dem Ziel der Abfallreduzierung. Erwartetes Ergebnis: Die Studierenden integrieren Aspekte der Abfallvermeidung in alle Prozessschritte.

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen von Einheit 3



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Notes
Einführung in Handwerkzeuge und Geräte für die Verarbeitung von Verbundwerkstoffen: Scheren, Entlüftungsroller, Abreißgewebe (Peel Plies), Pinsel, Vakuumbbeutel, Infusionspumpen Grundlagen der Oberflächenvorbereitung: Reinigen, Schleifen, Entfetten Bedeutung der Oberflächenqualität für die Verklebung Sicherheitsaspekte beim Umgang mit Werkzeugen und Chemikalien Visuelle Indikatoren für „laminierbereite“ Oberflächen	https://aerospaceengineeringblog.com/composite-manufacturing/ https://compositeslab.com/composites-manufacturing-processes/ https://aerospaceengineeringblog.com/composite-manufacturing/	Website mit Artikeln, die Anleitungen für verschiedene Schritte im Bootsbau mit Verbundwerkstoffen bieten (praxisorientiertes Schreiben, einige Videos, verständliche Erklärungen) Website mit kurzen Erläuterungen zu Prozessen, Materialien und Werkzeugen (gut strukturiert) Website mit Prozessbeschreibungen anhand einfacher und anschaulicher Schemata	Öffentliche Websites

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen von Einheit 3



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Notes
Textilformen: Gewebe, Vliesstoffe (Non-wovens), unidirektionale Matten (UD-Matten) Schlüsseleigenschaften von Naturtextilien: Drapierbarkeit, Dicke, Faserausrichtung, Feuchtigkeitsempfindlichkeit Einfluss der Textilstruktur auf die mechanische Leistung und Verarbeitbarkeit Anwendungsbereiche im Bootsbau: Innenverkleidungen, nicht-strukturelle Elemente etc.	https://www.isomatex.com/tenron/ https://www.circular-structures.com/ https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/ecotechnil-in-des-solutions-a-base-de-fibres-naturelles-au-service-de-lindustrie-134081/ (+ EcoTechnilin) S. Maiti, M. R. Islam, M. A. Uddin, S. Afroj, S. J. Eichhorn, N. Karim, Nachhaltige faserverstärkte Verbundwerkstoffe: Ein Überblick. Adv. Sustainable Syst. 2022, 6, 2200258. https://doi.org/10.1002/adsu.202200258 (https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adsu.202200258)	Webseiten von Stoffanbietern Artikel über ein Unternehmen, das Matten aus verschiedenen Naturfasern herstellt und versucht, auch eine Recyclingindustrie aufzubauen. Wissenschaftliche Veröffentlichung über nachhaltige Verbundwerkstoffe	Öffentliche Websites, Unternehmenswebsite s und wissenschaftliche Artikel

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen von Einheit 3



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Notes
Einführung in die grundlegenden Laminierschritte: - Zuschneiden von Fasern, Mischen von Harzen, Auftragen von Harz mit Roller oder Pinsel 2. Materialbesonderheiten: - Handhabung von Flachs- oder Basalttextilien - Tränkungsverhalten von biobasierten Harzsystemen 3. Zentrale Prozessaspekte: - Verarbeitungszeit, Faserverschiebung, Schichtenplatzierung 4. Praktische Tipps für das erfolgreiche offene Laminieren	https://www.addcomposites.com/post/what-are-the-fundamental-steps-of-composites-manufacturing_ https://www.youtube.com/watch?v=tE6KDNvyTuU	Ein klarer, einfacher und praxisorientierter Leitfaden über Verbundwerkstoffe, Defekte und Aufprall, mit vielen Auswirkungen auf andere verwandte und relevante Themen. Video über den Bau eines Kanus aus Flachsfasern und Balsaholz mit Schwerpunkt auf bestimmten Arbeitsschritten	Öffentlichkeit, Blog und YouTube-Video
	https://www.youtube.com/watch?v=RrVy7jaSABM https://www.youtube.com/watch?v=AD98L9XICTU https://www.youtube.com/watch?v=Q09ZFVA6nR8	Präsentation von Laminiertechniken mit Vergleichen Video über die Verwendung von Flachsfasern und Harzinjektion Video über das Laminieren von Glasfasern (mit Einblicken in wichtige Punkte (Zeitaufwand für den gesamten Prozess, ...))	Öffentlichkeit, YouTube-Videos (Demonstrationen)

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen von Einheit 3



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Notes
	https://www.imoca.org/en/news/news/lifting-the-lid-on-boat-build-impacts-for-a-more-sustainable-industry	Kein Nachrüsten, sondern ein Bericht über die Verwendung nachhaltiger Materialien in einem Rennboot (Imoca), mit einem expliziten Video.	Öffentlichkeit, Artikel über nachhaltiges Nachrüsten und Rumpfwiederverwendung

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen von Einheit 3

Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Notes
4. Rekonstruktion.	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127523008614	Wissenschaftliche Publikation über einen potenziellen neuen Weg zur Reparatur von Verbundwerkstoffen	Öffentlichkeit, wissenschaftliche Arbeit
1. Was ist Qualitätssicherung (QS) in der Verbundwerkstoffherstellung? - Rolle der QS bei Nachhaltigkeit und Haltbarkeit 2. Einfache QS-Techniken für die Verbundwerkstoffproduktion im kleinen Maßstab	https://www.addcomposites.com/post/quality-assurance-and-quality-control-in-composites-manufacturing_	Beschreibung der Themen, die für die Qualitätssicherung untersucht werden sollen	Öffentlichkeit, Blogbeitrag über Methoden der Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle (QS/QK) für die Verbundwerkstoffherstellung

Einheit 3: Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen von Einheit 3



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Notes
2. Materialwiederverwendung: - Ideen für die Nutzung von Verschnitt: Füllstoff, Formenbau-Unterbau, Prototypenteile 3. Biobasierte Verbrauchsmaterialien: - Recyclbare Mischbecher, kompostierbare Handschuhe, biologisch abbaubare Trennfolien (Diskussion: Ist das wirklich eine Option?!) 4. Praxisbeispiele aus der Industrie	https://compositesuk.co.uk/industry-support/environmental/what-can-i-do-with-my-waste/	Nicht-erschöpfende Liste von Lösungen für Verbundwerkstoffabfälle und Verschnitt	Öffentlichkeit, Branchenartikel mit einer Auflistung von Abfallmanagement - und Recyclingoptionen



Einheit 4: Lebenszyklus- analyse und Wirtschaftlich- keitsberechnung



Einheit 4: Lebenszyklusanalyse und Business Case / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (hrs)	Lernmethoden
4.1 Bewertung der Umweltauswirkungen durch Ökobilanzierung (LCA)	4.1.1 Grundlagen der LCA	1. Einführung in die Lebenszyklusanalyse (LCA) 2. Umweltwirkungskategorien in der LCA 3. Anwendung der LCA auf Bootsbaumaterialien 4. Identifizierung von Umwelt-Hotspots im Produktlebenszyklus 5. Nutzung der LCA für fundierte Design- und Beschaffungsentscheidungen 6. LCA als Instrument für Geschäftsstrategie und Einhaltung gesetzlicher Vorschriften	Lernziel (LO): „Definieren, was eine Ökobilanz (LCA) ist, und ihre vier Hauptphasen beschreiben. Den Zweck der Anwendung von LCA in der Bootsbauindustrie identifizieren. Die wichtigsten Umweltwirkungskategorien gemäß der PEF-Methode auflisten und beschreiben. Erklären, wie LCA die Entscheidungsfindung unterstützt, indem sie Produkt- oder Materialoptionen auf der Grundlage von Lebenszyklusausswirkungen vergleicht.“	2	Unterrichtsbasiertes Lernen

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 4: Lebenszyklusanalyse und Business Case / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (hrs)	Lernmethoden
4.1 Bewertung der Umweltauswirkungen durch Ökobilanzierung (LCA)	4.1.2 Ökologischer Fußabdruck: Kohlenstoffemissionen, Energieverbrauch	1. CO ₂ -Emissionen im Bootsbau 2. Energieverbrauch über den gesamten Lebenszyklus eines Bootes 3. Materialvergleich anhand von CO ₂ - und Energiedaten 4. Fallstudie: Recycling von Glasfaserverbundwerkstoffen 5. Anwendung von ISO- und PEF-Standards in der Ökobilanz	Lernziel (LO): „Zwischen Kohlenstoffemissionen und Energieverbrauch unterscheiden und deren Rolle in der Umweltwirkungsabschätzung erklären. Häufige Quellen für Kohlenstoffemissionen und Energieverbrauch im Bootsbau identifizieren. Grundlegende Umweltdaten wie CO ₂ -Äquivalent-Emissionen und den Energieverbrauch in Megajoule (MJ) interpretieren. Den ökologischen Fußabdruck von zwei Bootstypen oder Materialkonfigurationen anhand vereinfachter Daten vergleichen.“	3	Unterrichtsbasiertes Lernen

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 4: Lebenszyklusanalyse und Business Case / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (hrs)	Lernmethoden
4.1 Bewertung der Umweltauswirkungen durch Ökobilanzierung (LCA)	4.1.3 Identifizierung von Hotspots: Schlüsselbereiche in Bezug auf Material-, Energie- und Abfallfragen	1. Was sind Umwelt-Hotspots in der Ökobilanz? 2. Materialbezogene Schwerpunkte im Bootsba 3. Energieverbrauch als kritischer Einflussbereich 4. Abfallerzeugung und Herausforderungen am Ende des Produktlebenszyklus 5. Strategien zur Reduzierung von Umwelt-Hotspots 6. Fallstudie: Hotspot-Analyse aus der ICOMIA-Studie zur Dekarbonisierung des Antriebssektors	Lernziel: Definieren Sie, was ein Hotspot im Kontext der Lebenszyklusanalyse ist. Identifizieren Sie typische Material-, Energie- und Abfall-Hotspots im Lebenszyklus des Bootsbaus. Erläutern Sie, wie die Hotspot-Analyse dabei hilft, Verbesserungen im Bereich der Nachhaltigkeit zu priorisieren. Die Ergebnisse realer Fallstudien interpretieren, um zu beurteilen, wo die Umweltauswirkungen konzentriert sind.	3	Unterrichtsbasiertes Lernen

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 4: Lebenszyklusanalyse und Business Case / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (hrs)	Lernmethoden
4.2 Wirtschaftliche Machbarkeit von nachhaltigen Materialien	4.2.1 Wirtschaftlichkeit sanalyse: Kostenvergleich von nachhaltigen gegenüber konventionellen Materialien	1. Wichtigste Kostenfaktoren bei der Materialauswahl für den Bootsbau 2. Lebenszykluskostenanalyse: Vom Kauf bis zum Ende der Nutzungsdauer 3. Fallvergleich: Batterieelektrischer Antrieb vs. Antrieb mit erneuerbaren Kraftstoffen 4. Gezielte Nachhaltigkeitsinvestitionen und Wirtschaftlichkeit 5. Mehr als nur der Preis: Anreize, Markenbildung und langfristiger Wert 6. Fundierte Entscheidungen durch Lebenszykluskosten-Nutzen-Analyse	Lernziel (LO): Die wichtigsten Kostenkomponenten bei der Materialauswahl identifizieren (z. B. Anschaffungskosten, Wartung, Lebensende). Die wirtschaftlichen Auswirkungen der Verwendung nachhaltiger Materialien im Vergleich zu konventionellen Materialien vergleichen. Einen grundlegenden Lebenszykluskosten-Rahmen anwenden, um die Materialauswahl zu bewerten. Erkennen, wie sich ökologische und ökonomische Faktoren überschneiden können, um kluge Materialentscheidungen zu treffen.	1 ½	Unterrichtsbasiertes Lernen

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 4: Lebenszyklusanalyse und Business Case / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (hrs)	Lernmethoden
4.2 Wirtschaftliche Machbarkeit von nachhaltigen Materialien	4.2.2 Rendite (Return on Investment): Langfristige finanzielle Vorteile nachhaltiger Entscheidungen	1. Den ROI im nachhaltigen Bootsbau verstehen 2. Bewertung der langfristigen Vorteile nachhaltiger Materialien 3. Wirtschaftliche und strategische Treiber jenseits von Anschaffungskosten 4. Herausforderungen und Unsicherheiten bei der ROI-Berechnung 5. Nutzung der Ökobilanz (LCA) zur Unterstützung von Investitionsentscheidungen 6. Fallstudie: ROI durch Materialwechsel in einer kleinen Bootswerft	Lernziel (LO): Den Return on Investment (ROI) definieren und auf nachhaltige Designentscheidungen anwenden. Beschreiben, wie nachhaltige Materialien langfristige Einsparungen oder einen Mehrwert generieren können. Nicht-finanzielle Vorteile (z. B. Branding, Attraktivität für Kunden, regulatorische Bereitschaft) im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit identifizieren. Eine Fallstudie analysieren, um festzustellen, ob ein Materialwechsel sowohl ökologische als auch finanzielle Erträge bringt.	1 ½	Unterrichtsbasiertes Lernen

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (hrs)	Lernmethoden
4.3 Geschäftsmodelle für Nachhaltigkeit im Bootsbau	4.3.1 Zirkuläre Geschäftsmodelle: Lineare vs. zirkuläre Wirtschaft im Bootsbau	1. Vom linearen zum zirkulären System: Bootsbau-Systeme neu denken 2. Kernstrategien der Kreislaufwirtschaft im Bootsbau-Design 3. Fallstudie: APER und das Kreislaufrecycling von Booten in Frankreich 4. Anwendung der PEF-Methode auf die Auswahl zirkulärer Materialien 5. Zirkuläres Design in der Praxis: Zweitnutzung und modulare Komponenten 6. Zirkuläre Modelle als strategische Antwort auf Regulierung und Marktnachfrage	Lernziel (LO): Den Unterschied zwischen linearen und zirkulären Wirtschaftsmodellen beschreiben. Für den Bootsbau relevante zirkuläre Strategien identifizieren (z. B. Modularität, Rücknahmesysteme, Wiederverwendung). Die Bedeutung der Verantwortung für den Lebenszyklus und von Vorschriften wie der erweiterten Produzentenverantwortung (EPR) erklären. Interpretieren, wie zirkuläre Geschäftsmodelle Abfall reduzieren, Kosten senken und die Marktwettbewerbsfähigkeit unterstützen können.	1 ½	Unterrichtsbasiertes Lernen

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 4: Lebenszyklusanalyse und Business Case / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (hrs)	Lernmethoden
4.3 Geschäftsmodelle für Nachhaltigkeit im Bootsbau	4.3.2 Design for Disassembly (DfD) – Demontagegerechtes Design): Maximierung der Materialrückgewinnung am Lebensende	1. Was ist Design für die Demontage (DfD) im Bootsbau? 2. DfD in der Praxis: Beispiele für demontagefreundliches Design 3. DfD und seine Rolle in Vorschriften und Umweltzeichen 4. Lebenszyklusplanung ab der Entwurfsphase 5. Vorteile von DfD für Nachhaltigkeit, Sicherheit und Wiederverkaufswert	Lernziel (LO): Erklären, was demontagegerechtes Design (Design for Disassembly – DfD) bedeutet und warum es wichtig ist. Praktische DfD-Strategien auflisten, die beim Bootsdesign und -bau angewendet werden. Den Zweck und die Bestandteile eines Materialpasses beschreiben. Erkennen, wie DfD und Materialrückverfolgung die Recyclingfähigkeit, Sicherheit und Einhaltung von EU-Vorschriften unterstützen.	1 ½	Unterrichtsbasiertes Lernen

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 4: Lebenszyklusanalyse und Wirtschaftlichkeitsberechnung / Anleitung zu den Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
4.1.1 LCA: Basics	<i>An den Stationen zur Erkundung des Lebenszyklus durchlaufen die Schüler verschiedene Materialstationen (z. B. Glasfaser, Flachs, Aluminium). Sie identifizieren wichtige Lebenszyklusphasen und die damit verbundenen Umweltauswirkungen und ordnen die Materialien den PEF-Wirkungskategorien zu.</i>	Bewertung: Zuordnungsübung zu LCA-Terminologie und -Phasen; Mini-Quiz zu den vier LCA-Phasen; fallbasierte Frage zur Lastenverlagerung. Ziel: Einführung in die LCA-Methodik und Unterstützung der Studierenden dabei, zu erkennen, wie Materialien die Auswirkungen über den gesamten Lebenszyklus beeinflussen. Erwartetes Ergebnis: Die Studierenden können die vier Phasen der Lebenszyklusanalyse (LCA) erklären, Wirkungskategorien identifizieren und das Denken im Lebenszyklus anwenden, um Materialien zu vergleichen.
4.1.2 Fußabdruck	<i>Die Teams der Comparative Carbon Challenge analysieren zwei Schiffsprofile und schätzen die Kohlenstoffemissionen und den Energieverbrauch. Sie erörtern die Vor- und Nachteile verschiedener Antriebssysteme und Materialien.</i>	Bewertung: Berechnungen von MJ und CO₂-Äquivalent (unter Verwendung vereinfachter Daten); schriftlicher Vergleich zweier Materialien oder Brennstoffarten; kurze Gruppendiskussion über Energie-/Umwelt-Kompromisse. Ziel: Den Studierenden helfen, die Beiträge von Energieverbrauch und Emissionen zum ökologischen Fußabdruck in den verschiedenen Lebenszyklusphasen zu verstehen. Erwartetes Ergebnis: Die Schüler können den CO₂-Fußabdruck und den Energieverbrauch definieren, Umweltdaten interpretieren und Konfigurationen vergleichen.

Einheit 4: Lebenszyklusanalyse und Wirtschaftlichkeitsberechnung / Anleitung zu den Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
4.1.3 Hotspots	<i>Im Spiel „Hotspot-Detektiv“ erhalten die Studierenden Momentaufnahmen der Lebenszyklusanalyse (LCA), die die Auswirkungen auf die verschiedenen Phasen und Komponenten aufzeigen. Sie identifizieren die kritischen Punkte und schlagen Verbesserungsstrategien vor.</i>	Bewertung: Arbeitsblatt zur Hotspot-Identifizierung; Präsentation eines Hotspot-Falls in Kleingruppen; optionale Testfrage zu Hotspot-Kategorien. Ziel: Die Fähigkeit entwickeln, Umwelt-Hotspots zu lokalisieren und zu analysieren sowie Interventionen zu priorisieren. Erwartetes Ergebnis: Die Studierenden können Material-, Energie- und Abfallschwerpunkte identifizieren und Verbesserungsvorschläge einbringen.

Einheit 4: Lebenszyklusanalyse und Wirtschaftlichkeitsberechnung / Anleitung zu den Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
4.2.1 Wirtschaftliche Analyse	<i>Kostenaufschlüsselung beim Bootsbau Studierende vergleichen die Kostenaufschlüsselungen von traditionellen gegenüber nachhaltigen Materialien. Sie analysieren Anschaffungs-, Wartungs- und Entsorgungskosten.</i>	Bewertung: Arbeitsblatt zu Lebenszykluskosten; Identifizierung von drei Kostentreibern in der Diskussion; kurze schriftliche Erklärung der Abwägungen. Ziel: Aufzeigen, wie finanzielle Erwägungen die Materialauswahl beeinflussen, und Demonstration der Gesamtbetriebskosten (Total Cost of Ownership). Erwartetes Ergebnis: Die Studierenden können wirtschaftliche Abwägungen identifizieren und Entscheidungen mithilfe von Kostenanalysen unterstützen.
4.2.2 Return of Investment (ROI)	<i>Fallstudien-Rollenspiel – Blue Horizon Boats Anhand des Falls „Blue Horizon Boats“ schlüpfen die Studierenden in die Rolle von Stakeholdern, um einen Materialwechsel und dessen ROI zu bewerten.</i>	Bewertung: ROI-Vorlage; Gruppenpräsentation der Stakeholder-Perspektiven; Reflexion über materielle und immaterielle Vorteile. Ziel: Den Studierenden helfen, den ROI in praktischen Szenarien mit nachhaltigen Materialien zu bewerten. Erwartetes Ergebnis: Die Studierenden können einen vereinfachten ROI berechnen, Vorteile identifizieren und diese klar kommunizieren.

Einheit 4: Lebenszyklusanalyse und Wirtschaftlichkeitsberechnung / Anleitung zu den Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
4.3.1 Zirkuläre Geschäftsmodelle	<i>Im Workshop „Kreislaufwirtschaftliche Neugestaltung“ gestalten die Studierenden ein lineares Bootsbauteil (z. B. Luke, Rumpfmodul) so um, dass es den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft (Wiederverwendung, Recyclingfähigkeit, Modularität) entspricht.</i>	Bewertung: Gruppenskizze/Diagramm; schriftliche Erläuterung der angewandten Kreisprinzipien; Feedback von Gleichaltrigen. Ziel: Studierende dazu anregen, Meeresprodukte durch Kreislaufwirtschaft neu zu überdenken. Erwartetes Ergebnis: Die Studierenden können Kreislaufprinzipien erklären und Bauteile im Hinblick auf verbesserte Rückgewinnung, Wiederverwendung und Haltbarkeit neu gestalten.
4.3.2 Demontagegerechte Konstruktion (DfD) / Design for Disassembly	<i>Studierende des DfD-Designlabors überarbeiten ein Bootsbauteil (Stauraumluke, Deckmodul, Sitzbank) mithilfe von DfD-Prinzipien. Sie skizzieren/modellieren das überarbeitete Teil, identifizieren Verbindungselemente und erläutern Strategien zur Materialtrennung.</i>	Bewertung: Kommentierte Designskizze; Gruppenpräsentation; schriftliche Erläuterung der Verbesserungen am Ende der Nutzungsdauer. Ziel: Einführung in das Konzept des konstruktionsgerechten Demontageverfahrens (Design for Disassembly, DfD) und dessen Beitrag zur Reduzierung der Umweltbelastung am Ende der Lebensdauer von Booten. Erwartetes Ergebnis: Die Studierenden wenden DfD-Strategien (Befestigungselemente, Modularität, Trennung) an und demonstrieren, wie diese die Nachhaltigkeit unterstützen.

Einheit 4: Lebenszyklusanalyse und Business Case / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen von Einheit 4



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Anmerkungen
1. Einführung in die Ökobilanzierung (LCA) 2. Umweltwirkungskategorien in der Ökobilanz	https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.html , https://www.iso.org/home.html , Blue Boat Horizon LCA-Projekt, EC PEF-Methode, ISO-Normen https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html https://www.iso.org/standard/37456.html https://propellingourfuture.com/ Methoden zur Ermittlung des ökologischen Fußabdrucks – Ökobilanz der Europäischen Kommission für die Kreislaufwirtschaft https://www.lifecycleinitiative.org/ https://www.marineshift360.org/ https://www.recyclermontbateau.fr/l-aper-association-pour-la-plaisance-eco-responsable/ https://europeanboatingindustry.eu/images/Reports/A144650-R20241613a-UHo-EuCIA%20final%20report%20-%20summary-signed.pdf?t=1728385417 GREC HANDBOOK https://europeanboatingindustry.eu/images/EU%20affairs/Roadmap-for-decarbonisation-vessels_Final.pdf	Offizielle Website der Kommission und ISO-Regulierungen.	Technisches Dokument (ISO), Leitfaden (Grec Handbook), Bericht (Roadmap für die Dekarbonisierung des europäischen Freizeitschiffverkehrssektors), Website (alle), Kostenlos (nur ISO ist kostenpflichtig)
4. Fallstudie: Recycling von Glasfaserverbundwerkstoffen 5. Anwendung von ISO- und PEF-Standards in der Ökobilanz	ICOMIA - RICARDO study, Propelling our future, Blue Boat Horizon LCA project, EC PEF method, https://glassfibreeurope.eu/resource-type/report-study/ ,	Studien zur Dekarbonisierung und LCA-Methodik	Website

Einheit 4: Lebenszyklusanalyse und Business Case / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen von Einheit 4



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Anmerkungen
4. Abfallerzeugung und Herausforderungen am Ende des Produktlebenszyklus 5. Strategien zur Reduzierung von Umwelt-Hotspots 6. Fallstudie: Hotspot-Analyse aus der ICOMIA-Studie zur Dekarbonisierung des Antriebssektors	ICOMIA - RICARDO study, Propelling our future, Blue Boat Horizon LCA project, EC PEF method, ISO standards, https://glassfibreeurope.eu/wp-content/uploads/2023/02/GFE_LCA-report-2023-February-2023.pdf	Studien zur Dekarbonisierung und LCA-Methodik	Free, Website
	ICOMIA - RICARDO study, Propelling our future, Blue Boat Horizon LCA project, EC PEF method, https://data.europa.eu/en/news-events/news/eus-digital-product-passport-advancing-transparency-and-sustainability	Studien zur Dekarbonisierung und LCA-Methodik	Free, Website
5. Jenseits des Preises: Anreize, Branding und langfristiger Wert	ICOMIA - RICARDO study, Propelling our future, Blue Boat Horizon LCA project, EC PEF method	Studien zur Dekarbonisierung und LCA-Methodik	Free, Website

Einheit 4: Lebenszyklusanalyse und Business Case / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen von Einheit 4



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte	Anmerkungen
3. Fallstudie: APER und das zirkuläre Recycling von Booten in Frankreich 4. Anwendung der PEF-Methode auf die zirkuläre Materialauswahl	ICOMIA - RICARDO study, Propelling our future, Blue Boat Horizon LCA project, EC PEF method, https://www.recyclermonbateau.fr/ , https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html	Studien zur Dekarbonisierung und LCA-Methodik	Free, Website
4. Planung für das Lebensende ab der Designphase 5. Vorteile von DfD für Nachhaltigkeit, Sicherheit und Wiederverkaufswert	ICOMIA - RICARDO study, Propelling our future, Blue Boat Horizon LCA project, EC PEF method, https://data.europa.eu/en/news-events/news/eus-digital-product-passport-advancing-transparency-and-sustainability	Studien zur Dekarbonisierung und LCA-Methodik	Free, Website



Einheit 5: Karriereplanung, Chancen und Herausforderungen



Einheit 5: Karriereplanung, Chancen und Herausforderungen / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (std)	Lernmethoden
5.1 Branchennachfrage nach Expertise im nachhaltigen Bootsbau	5.1.1 Branchenlandschaft: Arbeitsmarkttrends, Nachfrage nach grünen Lösungen	Lernen Sie den aktuellen Kontext des nautischen Sektors aus einer Nachhaltigkeitsperspektive kennen und identifizieren Sie die Trends, die die Entwicklung des Arbeitsmarktes und die Nachfrage nach neuen technischen Lösungen, Materialien und Prozessen prägen.	Lernziel (LO): Verständnis des strukturellen Wandels des Sektors hin zur Nachhaltigkeit sowie dessen Treiber und Hindernisse. Stärkung von Teamarbeit, analytischem Denken und freiem Sprechen der Lernenden zur Unterstützung ihrer zukünftigen Karriere.	2 ½	Unterricht im Klassenzimmer/direkte Anweisungen, Workshop/Debatte
	5.1.2 Karrierewege: Rollen in Design, Konstruktion (Engineering), Produktion, Vertrieb (Sales) und Marketing	Erkundung beruflicher Karrierewege im nachhaltigen nautischen Sektor, Verständnis für neue Rollen, die Entwicklung traditioneller Profile und die Fähigkeiten, die erforderlich sind, um in einem technischen, vernetzten und umweltverantwortlichen Umfeld erfolgreich zu sein.	Lernziel (LO): Ein umfassendes Bild der wichtigsten Berufsprofile sowie der benötigten Fähigkeiten und Kompetenzen vermitteln, um erfolgreich eine Karriere in diesen Positionen einschlagen zu können.	2 ½	Unterricht im Klassenzimmer/direkte Anweisungen, Gruppenarbeit

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Einheit 5: Karriereplanung, Chancen und Herausforderungen / Kursübersicht

Modul	Unterthema	Unterthemen-Aufschlüsselung	Lernziel (LO)	Dauer (std)	Lernmethoden
5.2 Karrierewege und Ausbildung in nachhaltigen maritimen Industrien	5.2.1 Schlüsselkompetenzen: Technische Fähigkeiten und Soft Skills, die für den Erfolg erforderlich sind	Präsentation von Schlüsselkompetenzen und Fähigkeiten im nachhaltigen Bootsbau, Identifizierung von Herausforderungen und Chancen zur Verfolgung einer Karriere in der Branche. Zuordnung von fachübergreifenden Fähigkeiten und Kompetenzen, die im nachhaltigen Bootsbau relevant sind, und Durchführung von Übungen zur Karriereplanung.	LO: Interdisziplinäre technische Fähigkeiten und Soft Skills identifizieren, aktuelle Lücken in der Ausbildung, in Karrierewegen und in Branchenpraktiken bewerten.	2 ½	Klassenzimmerbasiertes Lernen/direkte Instruktion, Workshop, Gruppendiskussion
	5.2.2 Berufliche Weiterentwicklung: Schulungen, Zertifizierungen, Netzwerkmöglichkeiten	Bewertung von Ausbildungslücken und aktuellen Branchenpraktiken, Identifizierung praktischer Schritte und Methoden zur Karriereentwicklung. Entdecken von Zertifizierungen, Schulungen, relevanten Networking-Veranstaltungen und Karriereportalen in der Branche zur Verbesserung der Beschäftigungsfähigkeit.	LO: Erkundung praktischer Strategien zur Verbesserung der Beschäftigungsfähigkeit und zur Karriereentwicklung. Klare, selbsterstellte Karrierepläne mit relevanten, identifizierten Fähigkeiten und Kompetenzen. Identifizierung und Erstellung von Listen mit relevanten Schulungen und Veranstaltungen auf lokaler und internationaler Ebene.	2 ½	Klassenzimmerbasiertes Lernen/direkte Instruktion, Workshop, Gruppendiskussion

Anmerkung 1: Fettgedruckter Text in der Spalte „Unterthema“ bedeutet, dass in der unten stehenden Tabelle detailliertere Informationen und zugehörige Aktivitäten zum jeweiligen Unterthema aufgeführt sind.

Anmerkung 2: Fett hervorgehobener Text in der Spalte „Unterthemenaufschlüsselung“ weist auf die Verfügbarkeit von Informationen zum Level-Up (fortgeschrittenen) hin, die in einer separaten Tabelle weiter unten dargestellt sind.

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
5.1.1 Branchenlandschaft	1: Strukturierte Debatte – Ist der Schifffahrtssektor bereit für einen beschleunigten grünen Wandel?	Beschreibung: Die Studierenden führen eine strukturierte Debatte darüber, ob der Schifffahrtssektor für einen beschleunigten ökologischen Wandel gerüstet ist. Aufgeteilt in zwei Teams – Pro (bereit) und Contra (nicht bereit) – analysieren und präsentieren sie Argumente auf Grundlage ökologischer, ökonomischer, technologischer und regulatorischer Faktoren. Die Debatte beleuchtet wichtige Triebkräfte (z. B. Innovation, politische Unterstützung, Verbrauchernachfrage) und Hemmnisse (z. B. hohe Kosten, mangelnde Infrastruktur, Widerstand gegen Veränderungen). Im Anschluss findet eine kurze Reflexion statt, um das Gelernte zu festigen und kritisches Denken über Nachhaltigkeit in der Schifffahrt anzuregen. Ziele der Debatte: 1. Das kritische Denken wird durch die Bewertung komplexer Nachhaltigkeitsherausforderungen gefördert. 2. Argumentationsfähigkeiten durch evidenzbasiertes Denken entwickeln. 3. Das Bewusstsein für die Umweltauswirkungen maritimer Aktivitäten und die Dringlichkeit eines grünen Wandels fördern. 4. Fördern Sie die Zusammenarbeit und den respektvollen Dialog, indem Sie gegensätzliche Ansichten anhören und konstruktiv darauf reagieren. 5. Systemisches Denken fördern, indem miteinander verbundene Einflussfaktoren und Hindernisse identifiziert werden. Erwartete Ergebnisse: -Die Studierenden erlangen ein tieferes Verständnis für die Herausforderungen und Chancen der Nachhaltigkeit im nautischen Sektor. -Die Studierenden können die wichtigsten Triebkräfte und Hindernisse für den ökologischen Wandel identifizieren und artikulieren. -Verbesserte Kommunikations- und Teamfähigkeiten durch strukturierte Debatten. -Gesteigerte Motivation, nachhaltige Lösungen zu erforschen.

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
5.1.1 Branchenlandschaft	2: Nachhaltiger Bootsbaubau weltweit – Forschungsherausforderung	Beschreibung: Die Studierenden arbeiten in Teams, um zu untersuchen, wie verschiedene Länder nachhaltigen Bootsbaubau betreiben. Jedes Team wählt ein Land aus oder wird einem zugewiesen und analysiert dessen Praktiken, Innovationen, Materialien, Vorschriften und Branchentrends im Bereich des umweltfreundlichen Bootsbaus. Die Ergebnisse werden visuell oder mündlich präsentiert (Poster, Präsentation, Video). Ziele: -Förderung von Forschungs- und Analysefähigkeiten. -Das Verständnis nachhaltiger Materialien und Technologien vertiefen. -Globale Perspektiven und Unterschiede bei maritimen Umweltproblemen hervorheben. -Förderung von Teamarbeit und Projektmanagement. -Entwicklung von Präsentations- und Kommunikationsfähigkeiten. Erwartete Ergebnisse: -Die Studierenden beschreiben nachhaltige Bootsbaupraktiken in mindestens einem Land. -Die Studierenden erlangen ein Bewusstsein für globale Ungleichheiten und übernehmen Führungsrollen im Bereich der maritimen Nachhaltigkeit. -Verbesserte Team- und Organisationsfähigkeiten. -Verbesserte Präsentationsfähigkeiten. -Die Studierenden reflektieren darüber, wie globale Best Practices lokal angewendet werden können.

Einheit 5: Berufsplanung, Chancen und Herausforderungen / Anleitung zu den Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
5.1.2 Karrieren	1: Erstellung von Karrierewegen (Gruppenarbeit)	Beschreibung: Die Studierenden erhalten Karten mit Berufsbezeichnungen im nachhaltigen Bootsbau. Sie müssen diese in eine Tabelle einordnen und jede Berufsbezeichnung folgenden Kategorien zuordnen: -Erforderliche technische Fähigkeiten -Soft Skills/Transferkompetenzen -Empfohlene Aus- und Weiterbildung -Typisches Arbeitsumfeld (Werft, Zulieferer, Beratungsunternehmen usw.)

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
5.1.2 Karrieren	2: Erstellen Sie Ihre professionelle Persönlichkeit	Beschreibung: Die Studierenden lernen verschiedene Berufsprofile im nachhaltigen Bootsbau kennen, indem sie eine vollständige Persona entwickeln. Jeder Gruppe wird eine berufliche Rolle zugewiesen, zum Beispiel: -Marineingenieur (nachhaltige Materialien) -Schiffbautechniker -Einkaufsleiter -Umweltberater -Ökoeffizienter Bootsdesigner -Qualitäts- und Zertifizierungsmanager -Ausbilder für nachhaltiges nautisches Bauwesen Die Studierenden erstellen eine professionelle Charakterfigur, die Folgendes umfasst: - Name, Alter, Erfahrung -Hintergrund -Motivationen und Herausforderungen -Technische Fähigkeiten -Soft Skills -Schul- und Berufsbildung -Typisches Arbeitsumfeld -Ihr Beitrag zur Nachhaltigkeit Präsentation: Die Gruppen halten eine 5-minütige Präsentation, in der sie aufzeigen, wie die Figur in die Wertschöpfungskette des nachhaltigen Bootsbaus passt.

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
5.2.1 Schlüssel Fähigkeiten	<i>Projektübersicht: Entwicklung umweltfreundlicher Yachtbauteile aus Biokompositen: Teams erstellen einen Konzeptentwurf für ein umweltfreundliches Yachtrumpfbauteil aus Biokompositen (Flachsfasern, Bioharz). Dies umfasst Materialauswahl, CAD-Layout, Grundlagen der Ökobilanz, Abfallminimierung und die Entwicklung eines Filtersystems.</i>	Zielgruppe: Berufsschüler mit Schwerpunkt auf Spitzentechnologie und nachhaltigen Materialien in der Yachtindustrie. Lernziele: Verstehen, wie technische Fähigkeiten in das Yachtdesign integriert werden, CAD, LCA und Materialoptimierung anwenden, ein Bewusstsein für Nachhaltigkeitsherausforderungen entwickeln, in Teams zusammenarbeiten, um Designprobleme zu lösen. Schritt für Schritt: 1. Teamaufbau & Rollenverteilung. 2. Szenariobesprechung. 3. Entwurfsphase (Materialauswahl, CAD-Planung, Ökobilanzprüfung, Abfallminimierung, Filtrationssystem). 4. Präsentation und Diskussion. Bewertungskriterien (optional): Klarheit, Machbarkeit, Disziplinintegration, Kreativität, Teamzusammenarbeit. Diskussionsfragen: Warum Biokomposite? Umweltprobleme in der traditionellen Yachtproduktion? Rolle von CAD und Ökobilanz? Vor- und Nachteile beim Ersatz traditioneller Materialien?

Einheit 5: Berufsplanung, Chancen und Herausforderungen / Anleitung zu den Aktivitäten

Unterthema	Aktivität	Beschreibung
5.2.2 Berufliche Weiterentwicklung	<i>Karriereplanung</i>	Beschreibung: Studierende entwerfen ihren Karriereplan für den Einstieg in den nachhaltigen Bootsbau. Dazu verwenden sie ein großes Blatt Papier: -Kurzfristige Schritte (Fähigkeiten, Fächer) -Mittelfristige Ziele (Praktika, Weiterbildungen, Zertifizierungen) -Langfristige Vision (spezifische Karrieren im Bereich umweltfreundlicher Yachten) Die Studierenden stellen außerdem fest: Wichtige Akteure der Branche (Unternehmen, NGOs), Veranstaltungen (Messen, Workshops, Konferenzen), Netzwerkmöglichkeiten (LinkedIn, Alumni, Mentoren) Ergebnis: Die Studierenden präsentieren ihren Fahrplan und erhalten Feedback.

Einheit 5: Karriereplanung, Chancen und Herausforderungen / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen von Einheit 5



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte
EU Green Deal Passend für Paket 55 Abfalltransportverordnung (EU) NextGenEU-Fonds Drei Länder (Frankreich, Deutschland, Niederlande) sind Vorreiter Aktuelle Hindernisse für die Nachhaltigkeit im Detail Der Artikel über das Ocean Race bietet einen allgemeineren Überblick über Hindernisse und den weiteren Weg. Interview zum Thema grüne Transformation im Sektor – Fallstudie Benetau Fallstudie zum Benetauin-Video	https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/ https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-shipments_en https://next-generation-eu.europa.eu/index_en https://www.yacht.de/en/shipyards/boatbuilding-ecolution-these-shipyards-are-working-on-sustainable-concepts/ https://teconaut.eu/en/downloads/ (Neues Dokument zu fortgeschrittenen technischen Fähigkeiten) https://www.theoceanrace.com/en/racing-with-purpose/sustainable-sports-and-innovation/sustainable-boat-building https://no-frills-sailing.com/sustainability-boatbuilding-beneteau-erwan-faucher-interview/ https://www.youtube.com/watch?v=ynGKEYIYXQo	Offizielle EU-Website zum Green Deal, dem Fit-for-55-Paket und der Abfalltransportverordnung mit den wichtigsten Punkten, Zielen und Vorgaben in verschiedenen Sprachen Detaillierte Informationen zu den NextGenEU-Fonds Wir präsentieren drei erfolgreiche Fallstudien von Unternehmen, die nachhaltige Materialien und Verfahren einsetzen, und teilen unsere Erkenntnisse und Erfahrungen. Die drei Unternehmen sind: Beneteau, The Ecoracer von Eco Yachts, Windelo, Bestevaer und Vaan. Detaillierte Recherchen zu Hightech-Materialien, deren Anwendung, erforderlichen Fähigkeiten und Kenntnissen, Hindernissen und Zukunftsaussichten, die aus einer umfangreichen Interviewreihe mit über 120 Experten zusammengetragen wurden. Seit 2017 hat The Ocean Race vier Workshops zur nachhaltigen Innovation im Bootsbau veranstaltet, die Branchenführer und Rennteams zusammenbrachten, um gemeinsam einen ambitionierten Fahrplan für 2030 zu entwickeln, der sich auf Materialien, Abfallvermeidung, Energieeffizienz und unterstützende Faktoren wie Vorschriften und Lebenszyklusanalyse konzentriert, um die Treibhausgasemissionen um 50 % zu senken. Diese Workshops haben einen detaillierten Branchenfahrplan 2030 sowie praktische Leitlinien und Berichte hervorgebracht, die sofortige Maßnahmen aufzeigen, die Bootsbauer jetzt ergreifen können, um den Übergang zu einer nachhaltigeren Zukunft zu beschleunigen. Die Fallstudie von Beneteau zeigt, wie das Unternehmen ernsthafte, technologiegetriebene Nachhaltigkeitsbemühungen unternimmt – die Entwicklung von Ökoharzen wie Elium®, die verstärkte Verwendung von Naturfasern, die Einführung von Elektro-/Hybridantrieben sowie die Implementierung von Lebenszyklusanalysen und Recyclingprogrammen – und dabei Innovation, Kundenbedürfnisse und Kosten in Einklang bringt. + Videointerview

Einheit 5: Karriereplanung, Chancen und Herausforderungen / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen von Einheit 5



Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte
Jobs in Werften & im Bootsbau (allgemein)	https://www.marineinsight.com/careers-2/different-jobs-in-a-shipyard-shipbuilding-industry/ https://no-frills-sailing.com/sustainability-boatbuilding-beneteau-erwan-faoucher-interview/	Präsentation etablierter Positionen/Berufe im Bootsbausektor wie Schweißer, Konstruktionsmechaniker (Fabricators), Installateure, Elektriker, Bootsbauer/Tischler, Rigger, Qualitätsprüfer etc.
Holzbootbau im Video Neue Technologien im traditionellen Bootsbau Wie man ein traditionelles Holzboot baut – Video Nachhaltiger Segelbootbau – Video	https://www.youtube.com/watch?v=cXkBA-h0IIU https://www.youtube.com/watch?v=YbpcJiikP44 https://www.youtube.com/watch?v=xiE0n9lhk4g https://www.youtube.com/watch?v=De8E4YS6nNM	Kurze Videos zur Vorstellung traditioneller Bootsbauprozesse sowie der erforderlichen Fähigkeiten und Kompetenzen für die Arbeit mit Holz und die Fertigstellung eines Jollen- oder Segelboots.

Einheit 5: Karriereplanung, Chancen und Herausforderungen / Weiterführende Informationen zu den Unterthemen von Einheit 5

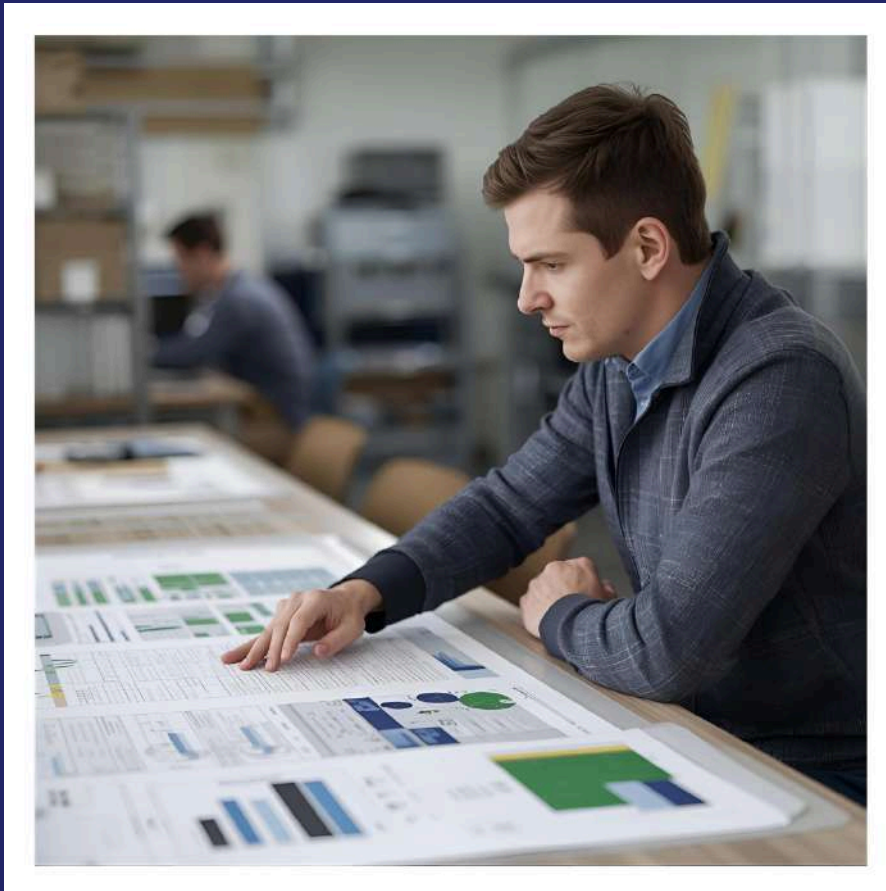


Thema für Level-Up-Informationen	Referenzlink	Kurzfassung der Referenzinhalte
Erforderliche Kompetenzen im jeweiligen Sektor, Status quo des Lehrplans und Verbesserungsbedarf Videopräsentation zum Thema Karriereaufbau Liste britischer und internationaler Veranstaltungen für Bootsbauer und Werften, die auch hervorragende Gelegenheiten zum Netzwerken bieten. Tipps zum Netzwerken LinkedIn-Gruppe „Metstrade Young Professionals“ Networking-Möglichkeiten, Vorbereitung auf internationale Veranstaltungen, Erfolgsgeschichten	https://teconaut.eu/en/downloads/ https://www.youtube.com/watch?v=g34Vk5ehGHY https://marineindustrynews.co.uk/marine-industry-events/ https://www.youtube.com/watch?v=OVf5c7NthSw https://www.linkedin.com/groups/12717817/ https://fastercapital.com/content/Boating---Yachting-Networking-Event-Navigating-Success--How-Boating-and-Yachting-Networking-Events-Can-Boost-Your-Career.html	Forschungsbericht zur Lehrplanbewertung, Richtlinien zur Kompetenzidentifizierung und -bewertung, Neue Kompetenzen im Bereich Spitzentechnologie Stellenangebote im Bootsbau, Experteninterviews und Fallstudien werden vorgestellt. Umfangreiche Liste britischer und internationaler Bootsmessen und Ausstellungen zur Jobsuche, zum Networking und zum Kennenlernen von Innovationen und Nachhaltigkeitsthemen. Tipps von Profis, wie Sie Ihr Netzwerk optimal nutzen und nachhaltig wirken können. Private Gruppe auf LinkedIn für junge Bootsbaufachleute oder Arbeiter der Branche zum Austausch, Lernen und Netzwerken. Die Bedeutung von Netzwerken, insbesondere im Bootsbausektor: Welche Vorteile bieten sie, Erfolgsgeschichten, wie bereitet man sich auf internationale Bootsgeschäfte vor und welche Trends und Innovationen sollte man im Auge behalten?



4

Schulungsleitfaden



4. Schulungsleitfaden

Dieser Abschnitt bietet praxisorientierte, anwendungsbezogene Hinweise für Ausbilder, die den TEcoNaut-Kurs durchführen.

Ziel ist es, sie dabei zu unterstützen:

- Anwendung der empfohlenen Lehr- und Lernmethoden
- Anpassung von Unterrichtsansätzen an unterschiedliche Bildungs- oder Arbeitskontexte
- Ermöglichung interaktiver und effektiver Lernerfahrungen
- Sicherstellen, dass die angestrebten Lernergebnisse, insbesondere diejenigen im Zusammenhang mit nachhaltigem Bootsbau, in allen Ausbildungsumgebungen einheitlich erreicht werden.

Die Abschnitte 4.1 und 4.2 beschreiben den Schulungsansatz und geben Hinweise für die Ausbilder. Abschnitt 4.1 bietet einen Überblick über ausgewählte und sich ergänzende Lehrmethoden, während Abschnitt 4.2 praktische Tipps für eine effektive, lernerzentrierte und kompetenzorientierte Durchführung des TEcoNaut-Kurses enthält. Mithilfe dieser Hinweise werden die Ausbilder befähigt, qualitativ hochwertigen Unterricht zu erteilen, der den Schwerpunkt des Programms auf Innovation, Nachhaltigkeit und die Entwicklung praktischer Kompetenzen widerspiegelt.

4.1 Schulungsansatz und -anleitung

Leitfaden für Ausbilder

Bei der Vorbereitung und Durchführung von Unterrichtsstunden sollten Ausbilder Folgendes beachten:

- Wählen Sie geeignete Lehrmethoden aus Abschnitt 4.1 aus und berücksichtigen Sie dabei die in den Tabellen der einzelnen Einheiten in Abschnitt 3 beschriebenen angestrebten Lernergebnisse, die verfügbaren Ressourcen und die Vorkenntnisse des Lernenden.
- Theorie und Praxis im Gleichgewicht halten, um sicherzustellen, dass jedes Konzept erklärt und angewendet wird, damit die Lernenden ein praktisches Verständnis erlangen.
- Ermöglichen Sie nach jeder Sitzung Feedback und Reflexion, um das Gelernte zu festigen und die Selbsteinschätzung zu fördern.
- Passen Sie die Methoden an das jeweilige Vermittlungsformat an – Präsenz-, Online- oder Hybridunterricht – und achten Sie dabei auf Inklusivität und Beteiligung (Detaillierte Hinweise finden Sie in Abschnitt 4.1: „Synthese von Methoden“).

Überblick über die ausgewählten Methoden

TEcoNaut nutzt eine Kombination aus fünf sich ergänzenden Lehransätzen, die das pädagogische Rückgrat des Programms bilden. Diese Methoden sollen sicherstellen, dass die Ausbildung interaktiv, kompetenzorientiert und eng an die Realitäten des Arbeitsplatzes angepasst bleibt:

1. Praxisorientiertes Lernen – Aktive Teilnahme durch praktische Übungen, die es den Lernenden ermöglichen, reale oder simulierte Aufgaben auszuführen und die erlernten Konzepte direkt anzuwenden.
2. Unterricht im Klassenzimmer – Strukturierte, von Dozenten geleitete Sitzungen, in denen theoretische Grundlagen vermittelt und Möglichkeiten für angeleitete Diskussionen geschaffen werden.
3. Online-Schulung – Webbasierte oder selbstgesteuerte Aktivitäten, die Flexibilität und Zugang zu digitalen Lernmaterialien bieten.
4. Erfahrungsorientiertes Lernen – Lernen durch Reflexion über persönliche oder kollektive Erfahrungen, wobei reale Situationen mit neuem Wissen verknüpft werden.
5. Projektbasiertes Lernen – Teambasierte Untersuchung authentischer Probleme, die eine Kombination aus Theorie und Praxis erfordern, um greifbare Ergebnisse zu erzielen.

Zusammen ermöglichen diese Ansätze den Ausbildern, ansprechende und effektive Lernerfahrungen zu vermitteln und so die Entwicklung sowohl technischer als auch nachhaltigkeitsbezogener Kompetenzen zu fördern, die für den Bootsbausektor von entscheidender Bedeutung sind.

Zusätzliche und ergänzende Methoden

Trainer können die folgenden Ansätze flexibel integrieren, um unterschiedlichen Lernzielen, Teilnehmerprofilen oder Vermittlungsformen gerecht zu werden:

- Hybrid Learning kombiniert Online- und Präsenzunterricht
- Workshops mit Schwerpunkt auf praxisorientiertem, voneinander lernendem Üben in kleinen Gruppen.
- Gruppendiskussionen und kollaboratives Lernen fördern Teamarbeit und gemeinsame Problemlösung.
- Direkte Instruktion, kurze theoretische Einführungen oder Demonstrationen vor den Übungseinheiten.
- Der Flipped-Classroom-Ansatz sieht vorbereitendes Selbststudium vor, damit die Unterrichtszeit für die Anwendung genutzt wird.
- Spielbasiertes Lernen, bei dem spielerische oder wettbewerbsorientierte Elemente integriert werden, um die Motivation zu steigern.
- Szenario- und simulationsbasiertes Lernen / Rollenspiele ermöglichen es den Lernenden, sicher mit realistischen Fällen zu experimentieren.
- Problembasiertes Lernen (PBL), bei dem die Lernenden unter Anleitung des Trainers gemeinsam an der Lösung offener, realer Herausforderungen arbeiten.

Diese zusätzlichen Methoden bieten den Ausbildern flexible Werkzeuge, um den Kurs an unterschiedliche Kontexte anzupassen und so die Beteiligung der Lernenden sowie die Effektivität der Schulungsdurchführung zu steigern.

Synthesemethoden

Trainingsmethoden können strategisch kombiniert werden, um die Lernergebnisse zu verbessern. Zum Beispiel:

- **Jobrotation und fachübergreifende Schulung – Lernende werden mit verschiedenen Funktionen in Kontakt gebracht, um ihre praktischen Erfahrungen zu erweitern.**
- **Gemeinsame Projekte mit Problemlösungssitzungen – Teamarbeit und Innovation verbinden und die Anwendung von Wissen auf reale Herausforderungen fördern.**

Die Ausbilder werden ermutigt, ähnliche Kombinationen anzuwenden, um die Verbindung zwischen theoretischem Verständnis und praktischer Leistung zu stärken und die Ansätze an die spezifischen Bedürfnisse der Lernenden und den Ausbildungskontext anzupassen.



4.2 Praktische Tipps für Trainer

Dieser Unterabschnitt bietet praktische Empfehlungen, die Trainern helfen, TEcoNaut-Schulungen effektiv zu planen und durchzuführen. Ziel ist es, qualitativ hochwertigen Unterricht zu fördern, die aktive Teilnahme der Lernenden zu steigern und eine einheitliche Umsetzung des Schulungskurses zu gewährleisten.

Vor der Sitzung – Vorbereitung

- Definieren Sie die Lernziele klar. Legen Sie fest, was die Teilnehmer am Ende der Lektion können sollen, anstatt sich nur auf theoretisches Wissen zu konzentrieren.
- Bereiten Sie die Materialien im Voraus vor. Überprüfen Sie, ob Werkzeuge, Muster und digitale Dateien funktionsfähig und verfügbar sind.
- Gestalten Sie die Lernumgebung. Ordnen Sie Sitzgelegenheiten und Ausrüstung so an, dass die Teilnahme gefördert und die Sicherheit gewährleistet wird.
- Wählen und kombinieren Sie die Methoden bewusst. Planen Sie, welche Ansätze aus Abschnitt 4.1 die angestrebten Ergebnisse am besten unterstützen.
- Schaffen Sie eine positive Atmosphäre. Beginnen Sie mit einer kurzen Einleitung oder Frage, die das Thema mit realen Arbeitssituationen verknüpft.



Während der Sitzung – Vortrag

- Fördern Sie die aktive Teilnahme. Nutzen Sie Fragen, kurze Diskussionen und praktische Aufgaben, um die Lernenden zu motivieren.
- Verantwortung verteilen. Teilnehmer einladen, Abläufe vorzuführen oder die wichtigsten Punkte zusammenzufassen.
- Theorie und Praxis abwechseln. Prägnante Erklärungen mit anschließenden interaktiven oder erfahrungsorientierten Aktivitäten verbinden.
- Nutzen Sie visuelle und greifbare Hilfsmittel. Veranschaulichen Sie die Sachverhalte anhand von Beispielen, Diagrammen oder kurzen Videos, um das Verständnis zu fördern.
- Fördern Sie die Kreativität. Belohnen Sie bei projekt- oder problemorientierten Aktivitäten innovative Lösungen und Zusammenarbeit.

Nach der Sitzung – Reflexion und Nachbereitung

- Führen Sie eine kurze Nachbesprechung durch. Besprechen Sie, was die Teilnehmer gelernt haben und wie sie es in ihrer Arbeit anwenden können.
- Sammeln Sie schnelles Feedback. Nutzen Sie kurze schriftliche oder mündliche Beurteilungen, um Stärken und Verbesserungspotenziale zu ermitteln.
- Fassen Sie zusammen und stellen Sie Verbindungen her. Fassen Sie die wichtigsten Erkenntnisse zusammen und heben Sie Links zu den folgenden Modulen hervor.
- Halten Sie praktische Beispiele fest. Bewahren Sie Fotos oder Notizen von Aktivitäten auf, die in späteren Sitzungen wiederverwendet oder geteilt werden können.

Digitale und hybride Bereitstellung

- Testen Sie die Technik im Voraus. Vergewissern Sie sich, dass Audio-, Video- und Präsentationsgeräte einwandfrei funktionieren. Siehe Abschnitt 8, „Schulungsausrüstung“.
- Pflegen Sie die Interaktion. Wechseln Sie zwischen kurzen Präsentationen und Teilnehmeraktivitäten ab, um Bildschirmmüdigkeit vorzubeugen.
- Fördern Sie die Online-Zusammenarbeit. Nutzen Sie Gruppenübungen oder gemeinsam genutzte Dokumente, um die Teamarbeit zu stärken.
- Stellen Sie Lernmaterialien zum Selbststudium bereit. Bieten Sie Aufzeichnungen oder digitale Materialien für Lernende an, die zusätzliche Übung benötigen.



Nachhaltiger und inklusiver Unterricht

- Nachhaltigkeit vorleben. Demonstrationsmaterialien wiederverwenden und gedruckte Handouts durch digitale Alternativen minimieren.
- Gewährleisten Sie Barrierefreiheit. Passen Sie Erklärungen und Erzähltempo an unterschiedliche Erfahrungsniveaus an.
- Fördern Sie eine respektvolle Beteiligung. Schaffen Sie ein Umfeld, in dem sich alle Lernenden wohlfühlen und einen Beitrag leisten können.
- Stellen Sie die Relevanz heraus. Verwenden Sie Beispiele aus verschiedenen maritimen Sektoren, um eine Verbindung zu Lernenden mit unterschiedlichem Hintergrund herzustellen.

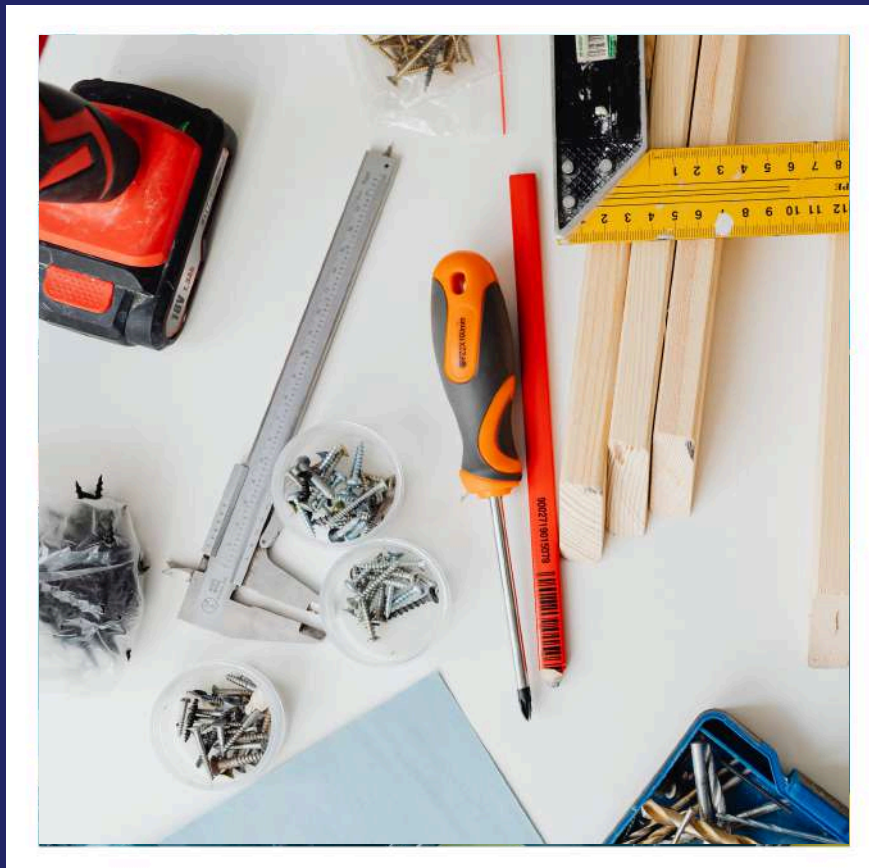


Diese Empfehlungen dienen als flexible Checkliste und nicht als starre Vorgehensweise. Lehrkräfte/Trainer werden ermutigt, sie an die jeweilige Lernumgebung, die verfügbaren Ressourcen und die Bedürfnisse der Teilnehmenden anzupassen, um sicherzustellen, dass jede TEcoNaut-Sitzung erlebnisorientiert, inklusiv und im Einklang mit nachhaltigen Praktiken bleibt.



5

Liste der Materialien und Ausrüstung



5. Liste der Materialien und Geräte

Effektiver Unterricht in Berufsbildungszentren basiert auf sorgfältig ausgewählten, praxisorientierten Schulungsmaterialien, die es den Lernenden ermöglichen, Materialien und Prozesse aus realen Produktionsumgebungen zu sehen, zu berühren, zu vergleichen und anzuwenden. Die in diesem Abschnitt beschriebenen Geräte unterstützen einen praxisorientierten Ansatz und helfen den Studierenden, die Eigenschaften, Anwendungen und Verarbeitungsherausforderungen nachhaltiger Verbundwerkstoffe zu verstehen. Durch die Kombination von physischen Mustern, Anschauungsmaterialien, Arbeitsblättern und angeleiteten praktischen Übungen können Ausbilder Theorie und Praxis verknüpfen und die Lernenden auf die Aufgaben im nachhaltigen Bootsbau vorbereiten.

Einheit 2 – Nachhaltige Materialien, Eigenschaften und Leistung

Unterthema 2.1.1: Materialeigenschaften: Merkmale und Anwendungen

Die Schulungsmaterialien zu diesem Thema ermöglichen es den Lernenden, verschiedene Verstärkungsmaterialien, die häufig in nachhaltigen Verbundwerkstoffen verwendet werden, zu vergleichen und zu verstehen. Materialproben wie Flachs, Basalt, recyceltes PET (rPET) und Glasfaser sollten in kleinen, handlichen Stücken verfügbar sein, damit die Lernenden Textur, Flexibilität, Faserstruktur und Oberflächenbeschaffenheit untersuchen können.

Vergleichstabellen oder Handouts zu Materialeigenschaften unterstützen strukturiertes Lernen, indem sie wichtige Merkmale wie Steifigkeit, Gewicht, Feuchtigkeitsverhalten, Recyclingfähigkeit und typische Anwendungsfälle visuell zusammenfassen. PowerPoint-Präsentationen oder Whiteboard-Diagramme können verwendet werden, um Konzepte wie Zugfestigkeit oder Faserorientierung zu erläutern, während Bilder von realen Bootsbauteilen den Lernenden helfen, abstrakte Materialeigenschaften mit praktischen Anwendungen in Rümpfen, Decks, Innenausbauten oder Sekundärstrukturen zu verknüpfen.

Liste der benötigten Materialien und Ausrüstungsgegenstände

- Materialproben (z. B. Flachs, Basalt, rPET, Glasfaser)
- Vergleichstabellen oder Handouts für Immobilien
- PowerPoint- oder Whiteboard-Visualisierungen
- Anwendungsbilder von realen Bootskomponenten.

Beispielbilder des benötigten Materials und der Ausrüstung



Vulkangestein – Basaltpulver



Vulkanisches Pellet

Unterthema 2.2.1: Rohstoffkategorien: Naturfasern, Recyclingfasern, Basalt, regenerierte Zellulose

Für dieses Thema ermöglichen deutlich beschriftete Faserprobenkarten oder kleine Faserbündel den Lernenden, verschiedene Rohstoffkategorien zu unterscheiden. Die Beschriftung sollte die Faserart und grundlegende Informationen zur Nachhaltigkeit enthalten. Eine Vergleichstabelle von technischen und nicht-technischen Fasern hilft den Lernenden, Leistungsbereiche und -grenzen zu visualisieren.

Kurze Datenblätter zu Fasern bieten schnelle Informationen zum Nachschlagen, während ein passendes Arbeitsblatt oder eine Ausschneideübung das Lernen fördert, indem die Schüler Fasertypen mit Eigenschaften oder Anwendungen verknüpfen. Abbildungen, die die Verwendung dieser Fasern in Bootsbauteilen zeigen, unterstreichen deren Bedeutung für eine moderne, nachhaltige Produktion.

Liste der benötigten Materialien und Ausrüstungsgegenstände:

- Faserprobenkarten oder -bündel (beschriftet)
- Vergleichstabelle (technische vs. nicht-technische Fasern)
- Faserdatenblätter (kurz, visuell)
- Zuordnungsübung oder Ausschneide- und Einklebeübung
- Bilder von Faseranwendungen in Booten.

Beispielhafte Abbildung des benötigten Materials und der Ausrüstung



Vulkanische Fasern (zerkleinert)



Vulkanische Fasern

Unterthema 2.2.2: Textilien: Textilarchitekturen in Verbundwerkstoffen

Für die Lehre der Textilarchitektur werden visuelle Schulungsmaterialien benötigt. Muster von gewebten, nicht gewebten und unidirektionalen (UD) Textilien ermöglichen es den Lernenden, Unterschiede in Struktur und Handhabungsverhalten praktisch zu untersuchen. Faserrichtungspfeile, die direkt auf die Muster aufgebracht oder in Diagrammen dargestellt werden, helfen, Lastpfade und die strukturelle Leistungsfähigkeit zu erklären.

Ein kleines Modellteil, beispielsweise eine Schaumstoffform, ermöglicht es den Lernenden, das Drapieren von Textilien zu üben und zu beobachten, wie sich verschiedene Strukturen auf gekrümmten Oberflächen verhalten. Arbeitsblätter mit Zuordnungsaufgaben zwischen Textilien und Anwendungen fördern die Reflexion und helfen den Lernenden, die Textilwahl mit den Anforderungen des realen Bootsbaus zu verknüpfen.

Liste der benötigten Materialien und Ausrüstungsgegenstände:

- Textilproben (gewebt, vliesstoffhaltig, UD)
- Faserrichtungspfeile (auf Mustern oder Diagrammen)
- Modellteil zum Überziehen (z. B. kleine Schaumstoffform)
- Arbeitsblatt mit Zuordnungsaufgabe: Textilien und Anwendungen.

Beispielhafte Abbildung des benötigten Materials und der Ausrüstung

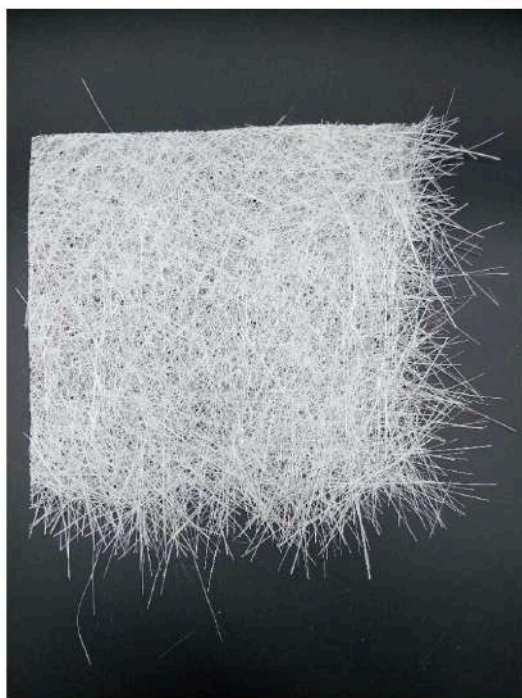


biaxiales Glasfasergewebe



triaxiales Glasfasergewebe

Beispielhafte Abbildung des benötigten Materials und der Ausrüstung



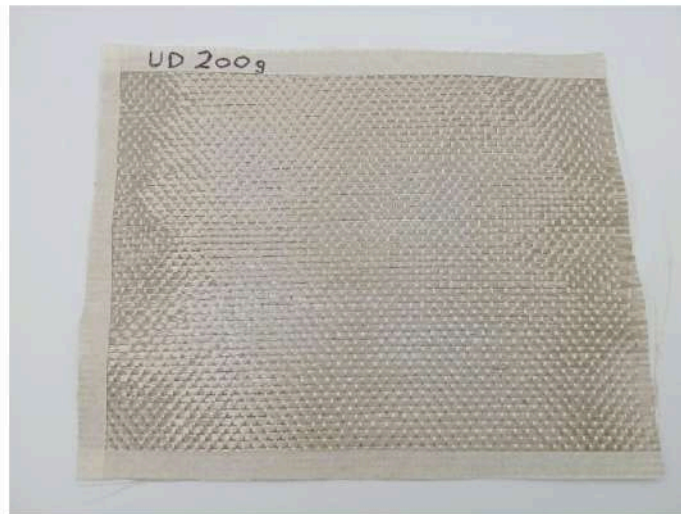
Gehackte Fasermatte



Vulkanisches biaxiales Gewebe



Vulkanisches triaxiales Gefüge



Vulkanisches unidirektionales Gewebe

Unterthema 2.2.5: Nachhaltige Sandwichkerne: Balsaholz, Kork, recyceltes PET, Holz, Papierwaben

Dieses Thema profitiert stark von praktischen Materialproben. Kleine Blöcke oder Zuschnitte aus Balsaholz, Kork, recyceltem PET-Schaum, Holz und Papierwaben ermöglichen es den Lernenden, Gewicht, Steifigkeit, Oberflächenstruktur und innere Struktur zu vergleichen. Ein einfaches Datenblatt oder eine Übersichtstabelle fasst wichtige Eigenschaften wie Dichte, Druckfestigkeit und Nachhaltigkeitsaspekte zusammen.

Eine optionale Waage kann verwendet werden, um Dichteunterschiede zu veranschaulichen, während sichere Schneidwerkzeuge es den Lernenden ermöglichen, unter Aufsicht Widerstand und innere Struktur zu erfühlen. Ein Handout mit einer Matrix zur Auswahl von Kernmaterialien unterstützt Übungen zur Entscheidungsfindung, in denen die Lernenden geeignete Kernmaterialien für spezifische Bootsbauteile auswählen.

Liste der benötigten Materialien und Ausrüstungsgegenstände:

- Probenblöcke oder -zuschnitte aus Kernmaterialien (Balsa, Kork, rPET-Schaumstoff usw.).
- Einfaches Datenblatt/Übersichtstabelle
- Waage (optional)
- Messer oder Schneidewerkzeug zum Tastsinn (sofern sicher)
- Handout: Matrix zur Auswahl von Kernmaterialien.

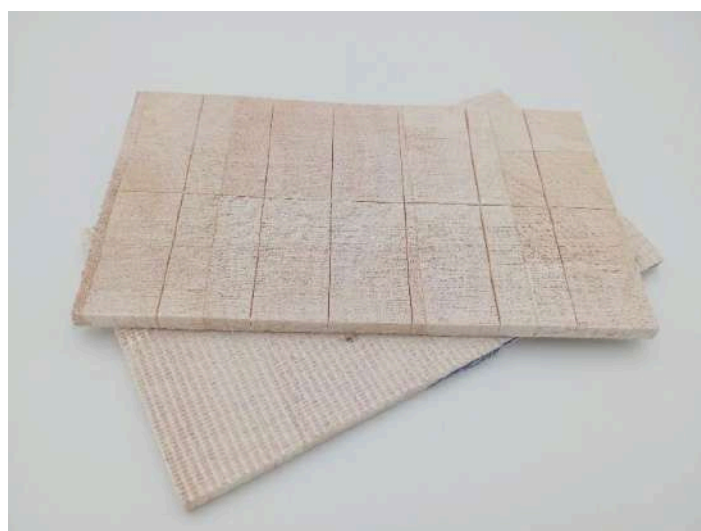
Beispielhafte Abbildung des benötigten Materials und der Ausrüstung



Gerillter Schaumkern



Hartschaumkern



Balsaholzkern

Einheit 3 – Anwendungstechniken in der Fertigung und Reparatur

Unterthema 3.1.1: Werkzeuge, Ausrüstung, Oberflächenvorbereitung

Dieses Thema führt die Lernenden in die Werkzeuge, Geräte und Vorbereitungsschritte ein, die vor Beginn jeglicher Laminier- oder Reparaturarbeiten an Verbundwerkstoffen erforderlich sind. Zur praktischen Einarbeitung sollten Musterhandwerkzeuge wie Scheren, Rollen und Schleifpads bereitgestellt werden. Oberflächenproben aus verschiedenen Materialien (z. B. ausgehärtete Lamine, Gelcoat-Oberflächen oder Kernmaterialien) sind unerlässlich, um die Vorbereitungsarbeiten zu üben. Aceton oder ein geeignetes, sichereres Ersatzprodukt wird verwendet, um die Oberflächenreinigung und die Entfernung von Verunreinigungen zu demonstrieren. Schutzausrüstung wie Handschuhe, Schutzbrillen und Atemschutzmasken muss verfügbar sein und während aller Vorbereitungsarbeiten konsequent getragen werden. Dies fördert sichere Arbeitsweisen und verdeutlicht die Gesundheits- und Umweltrisiken, die mit Staub, Lösungsmitteln und Fasern verbunden sind. Eine gedruckte Checkliste mit den Schritten der Oberflächenvorbereitung bietet eine strukturierte Anleitung und hilft den Lernenden, die korrekten Abläufe, Qualitätskontrollen und Sicherheitsmaßnahmen zu verinnerlichen.

Liste der benötigten Materialien und Ausrüstungsgegenstände:

- Beispielwerkzeuge: Schere, Farbroller, Schleifpads, Aceton oder Ersatzstoff
- Oberflächenproben für Vorbereitungsaufgaben
- Schutzausrüstung (Handschuhe, Schutzbrille, Maske)
- Gedruckte Checkliste für die Schritte der Oberflächenvorbereitung.

Beispielhafte Abbildung des benötigten Materials und der Ausrüstung



Holzspatel



Schleifpapier zum Abschleifen von Terrassen (verschiedene Körnungen)



Schleifpapier (verschiedene Körnungen)

Unterthema 3.1.3: Laminiertechniken: Anwendung biobasierter Harze mit Naturfasern

Praktische Laminierübungen erfordern realistische Werkstattausrüstung. Naturfasergewebe, wie beispielsweise Flachsfasern, kombiniert mit biobasierten Harzen, ermöglichen es den Lernenden, sich auf die korrekte Verarbeitung anstatt auf Fehler bei der Materialvorbereitung zu konzentrieren. Pinsel, Walzen und Mischwerkzeuge unterstützen die praktische Anwendung, während eine Form oder Stahlplatte eine kontrollierte Laminieroberfläche bietet.

Schutzausrüstung fördert sichere Arbeitsweisen. Eine Checkliste mit Laminieranleitung führt die Lernenden Schritt für Schritt durch den Prozess und hilft ihnen, einheitliche und wiederholbare Techniken zu entwickeln, die den Branchenstandards entsprechen.

Liste der benötigten Materialien und Ausrüstungsgegenstände:

- Naturfasergewebe (Flachs, technische Fasern)
- Bioharz (vordosiert)
- Pinsel, Farbwalzen, Mischwerkzeuge
- Form oder Stahlplatte
- Schutzausrüstung
- Checkliste für Laminieranweisungen.

Beispielhafte Abbildung des benötigten Materials und der Ausrüstung



Bürste



Rolle



Konsolidierungswalze



Mischtopf



Rührstäbchen

Unterthema 3.1.4: Herausforderungen: Verarbeitungsschwierigkeiten und Optimierung nachhaltiger Materialien

Um die Herausforderungen bei der Verarbeitung zu veranschaulichen, sollten Lernende mit Materialien wie Flachs- und Glasfaserkörper ähnlicher Dichte sowie mit biobasierten und herkömmlichen Epoxidharzen arbeiten. Diese Versuchsanordnung ermöglicht einen direkten Vergleich des Verarbeitungsverhaltens, der Benetzungseigenschaften und der Oberflächenqualität.

Laminierplatten oder -formen unterstützen praktische Versuche, während ein vom Trainer bedientes Vakuum-Infusions-Demonstrationsgerät fortgeschrittenere Verarbeitungsmethoden veranschaulicht. Beispielbilder von Fehlern (z. B. trockene Stellen, Faserverformungen, harzreiche Bereiche) helfen den Teilnehmern, häufige Probleme zu erkennen. Ein Inspektions- und Reflexionsarbeitsblatt fördert die Analyse und Diskussion darüber, wie der nachhaltige Materialeinsatz optimiert werden kann.

Liste der benötigten Materialien und Ausrüstungsgegenstände:

- Leinenstoff (Körperbindung), Glasfaser (Körperbindung), ähnliches Gewicht
- Biobasierte und Standard-Epoxidharze
- Mischwerkzeuge, Pinsel, Farbwalzen
- Laminierplatten oder Formen
- Vakuuminfusions-Demonstrationsset (für Schulungszwecke)
- Beispielbilder von Defekten zum Vergleich
- Inspektions- und Reflexionsarbeitsblatt für Lernende.

Beispielhafte Abbildung des benötigten Materials und der Ausrüstung



Polyesterharz (Standard)



Pinzel



Rollen



Mischtopf



Rührstab



Vakuumpumpe



Lage abziehen



Vakuumbeutelfolie



Dichtungsband



Allgemeine Verbrauchsmaterialien für die Vakuumkaschierung von Verbundwerkstoffen



Harzfalle

Unterthema 3.2.2: Reparaturtechniken: Standardisierte Reparaturmethoden für nachhaltige Verbundwerkstoffe

Für Reparaturübungen sind realistische Schadensszenarien erforderlich. Eine beschädigte Laminatplatte dient als Grundlage für Reparaturübungen mit Natur- oder Vulkanfasergeweben und Bioharzen. Pinsel, Rollen und Mischwerkzeuge ermöglichen ein kontrolliertes Auftragen, während Schleif- und Poliergeräte die korrekte Vorbereitung der Reparaturstellen gewährleisten.

Schutzausrüstung ist unerlässlich, um die Sicherheitsstandards zu gewährleisten. Eine Checkliste mit Laminieranweisungen stellt sicher, dass Reparaturen nach einer strukturierten, standardisierten Methode durchgeführt werden und hilft den Lernenden, die Qualitätsanforderungen bei nachhaltigen Reparaturen von Verbundwerkstoffen zu verstehen.

Liste der benötigten Materialien und Ausrüstungsgegenstände:

- Naturfasergewebe (vulkanische Fasern)
- Bioharz (vordosiert)
- Pinsel, Farbwalzen, Mischwerkzeuge
- Beschädigte Laminatplatte
- Schleif- und Poliergeräte (Papier, Schleifmaschine usw.)
- Schutzausrüstung
- Checkliste für Laminieranweisungen.

Beispielhafte Abbildung des benötigten Materials und der Ausrüstung



Pinsel



Rollen



Mischtopf



Rührstäbchen



Schleifpapier zum Abschleifen von Terrassen (verschiedene Körnungen)



Schleifpapier (verschiedene Körnungen)



Anhang

Unterstützende Präsentationen:

- **Videos from Skills Shadowing Workshops**
- **Präsentation über Deep-Tech-Materialien**
- **Präsentation über die mechanischen Eigenschaften von Werkstoffen**





Videos from Skills Shadowing Workshops



Co-funded by
the European Union

ERASMUS-EDU-2023-PI-ALL-INNO

Die folgenden Videos wurden im Rahmen des europäischen Projekts TEcoNaut erstellt. Das Material wurde speziell während der Skills-Shadowing-Workshops auf der Astondoa-Werft sowie in den Einrichtungen von Innovation Yachts und Greenboats gefilmt.

Das Material deckt das gesamte Produktionsspektrum ab – von umweltfreundlichen Rohstoffen bis hin zur praktischen Anwendung spezieller Fertigungstechniken wie der Vakuum-Harzinfusion.

Video 1: Herstellung von Verbundwerkstoffen mit recycelten Fasern und Vakuumverfahren

<https://www.youtube.com/watch?v=CxCg8OJMKFI>



Copyright © ASTONDOA

Was beinhaltet das Video?

Das Video demonstriert die praktische Anwendung nachhaltiger Materialien bei der Herstellung von Verbundstoffplatten (Laminaten). Es beginnt mit einer theoretischen Schulung zu recycelten Kohlenstofffasern und geht dann zur praktischen Anwendung über, welche das Vakuum-Harzinfusionsverfahren abdeckt. Für das erste Probestück werden thermoplastisches Harz und recycelte Kohlenstofffasern verwendet. Es zeigt kritische Phasen des Prozesses, wie die Dichtigkeitsprüfung des Vakuumsacks und die Überprüfung der Acetonbeständigkeit der fertigen Platte. Beim zweiten Probestück wird eine Verbundstoffplatte aus Bio-Epoxidharz, Kork und Flachfasern gefertigt. Das Video eignet sich ideal, um den Übergang von der Theorie zur Produktion zu veranschaulichen und verschiedene Infusionssysteme unter realen Bedingungen zu vergleichen.

Video 2: Handauflegeverfahren mit anschließender Vakuum-Harzinfusion unter Verwendung von Mineralfasern und einem Balsaholzkern

<https://www.youtube.com/watch?v=qMBLFOvja0M>



Copyright © INNOVATION YACHTS

Was beinhaltet das Video?

Das Video ist eine detaillierte Schritt-für-Schritt-Anleitung zum Laminieren im Bootsbau. Der Prozess beginnt mit dem Zuschneiden der Lagen und der Vorbereitung der Formoberfläche, die bereits mit einer Gelcoat-Schicht versehen ist. Darauf folgt das Auftragen der ersten Harzschicht – wobei den Ecken besondere Aufmerksamkeit gewidmet wird – und das schrittweise Einlegen von drei Faserschichten. Ein wesentlicher Teil des Videos widmet sich der Vorbereitung und Positionierung des Balsaholzes in den entsprechenden Bereichen. Der Prozess schließt mit der Vakuumphase ab, bei der Materialien wie Abreißgewebe (Peel Ply), Trennfolie, Saugvlies und ein Vakuumsack zum Einsatz kommen. Der letzte Schritt umfasst die Überprüfung und das Abdichten eventueller Lecks.

Video 3: Innovation und Nachhaltigkeit im Bootsbau: Materialien und Anwendungen

<https://www.youtube.com/watch?v=6fjG-WgYl6Y>



Copyright © INNOVATION YACHTS

Was beinhaltet das Video?

Dieses Video enthält eine Diskussion über die Verwendung von Polyestermaterialien und Epoxidharzen, in der die Herausforderungen und Vorteile der jeweiligen Optionen analysiert werden. Es werden Muster verschiedener biobasierter Materialien gezeigt, gefolgt von der praktischen Anwendung des Handauflegeverfahrens an einem echten Bootsabschnitt. Das Video demonstriert den Einsatz von Werkzeugen für das Handauflegen und speziellen Scheren zum Zuschneiden von Fasern und Geweben sowie die Vorbereitung für das Vakuumverfahren. Das Video schließt mit dem erfolgreichen Entformen des Endprodukts ab.

Video 4: Natürliche Flachsfasern im nachhaltigen

Sportbootsbau <https://teconaut.eu/en/downloads/skills-shadowing-videos/>



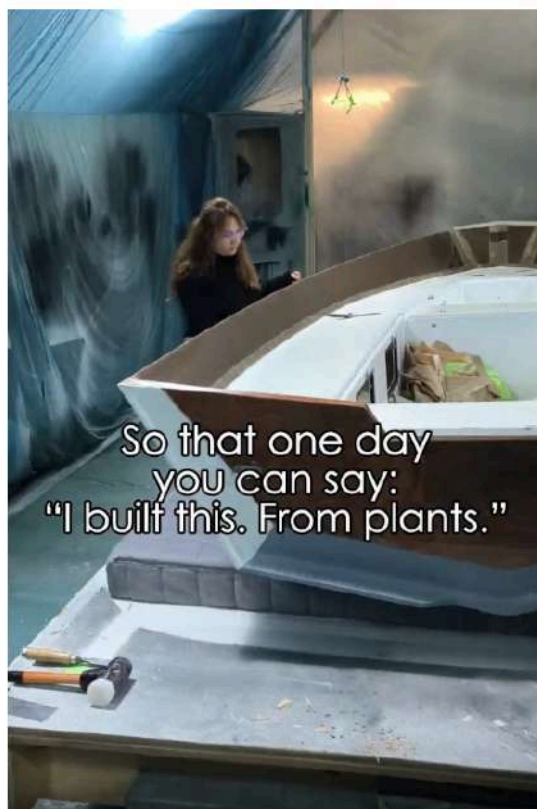
Copyright © GREENBOATS

Was beinhaltet das Video?

Das Video konzentriert sich auf die Verwendung von Flachsfasern als nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Verstärkungsmaterialien. Die Vorteile von Flachs, wie sein geringer CO₂-Fußabdruck und die hervorragenden mechanischen Eigenschaften, werden vorgestellt und mit Glas- und Kohlenstofffasern verglichen. Der Prozess umfasst eine Erklärung des Anbaus und der Verarbeitung der Pflanze bis hin zur Herstellung von Geweben. Im praktischen Teil wird ihre Anwendung in Sandwichstrukturen und ihre Kompatibilität mit Bioharzen demonstriert, wodurch das Potenzial für Recycling und Abfallvermeidung im Sportbootsektor hervorgehoben wird.

Video 5: Besichtigung und Überblick über nachhaltige Materialien in einer Bootswerft

<https://teconaut.eu/en/downloads/skills-shadowing-videos/>



Copyright © GREENBOATS

Was beinhaltet das Video?

Das Video dokumentiert den Besuch einer echten Produktionsstätte, wobei der Schwerpunkt auf der Veranschaulichung von Materialien und Ausrüstung liegt. Nahaufnahmen zeigen in Regalen gelagerte Naturfaserrollen, während ein Kernmaterial präsentiert wird, das bereits das Vakuumverfahren durchlaufen hat. Die Lernenden können beobachten, wie Dichtband zur Vorbereitung des Vakuumsacks auf eine Form aufgetragen wird. Zudem wird das Ergebnis an einem im Bau befindlichen Boot gezeigt, wodurch die Textur der Naturfasern nach dem Laminieren deutlich sichtbar wird.

Video 6: Erweiterung technischer Fähigkeiten im Schiffbau durch den Einsatz nachhaltiger Materialien im Fahrzeugbau

<https://teconaut.eu/en/downloads/skills-shadowing-videos/>



Copyright © GREENBOATS

Was beinhaltet das Video?

Das Video zeigt, wie Fachwissen über Naturfasern und Verbundwerkstoffe von der Werft auf andere Fertigungsanwendungen übertragen werden kann. Es konzentriert sich auf die Verwendung von Leichtbaustrukturen für den Bau von Kabinen und den Ausbau von Wohnmobilen (Campervans). Die Lernenden können die praktische Anwendung von Verbundstoffplatten im Fahrzeuginnenausbau und bei der Isolierung beobachten, was beweist, dass Fähigkeiten im Umgang mit diesen Materialien Lösungen für jeden Sektor bieten, der Langlebigkeit, geringes Gewicht und eine nachhaltige Bauweise erfordert.

Video 7: Sieben-Schritte-Anleitung zur Vakuum-Harzinfusion

<https://teconaut.eu/en/downloads/skills-shadowing-videos/>



Copyright © GREENBOATS

Was beinhaltet das Video?

Das Vakuum-Harzinfusionsverfahren wird in sieben Schritten unter Verwendung von Flachsfasern vorgestellt. Zum Zuschneiden der Gewebe kommen Schneidewerkzeuge zum Einsatz, zusammen mit Dichtband und speziellen flexiblen Schläuchen für den Harztransfer und den Anschluss an die Vakuumpumpe. Das Video zeigt die Verwendung eines Vakuummeters, um Lecks aufzuspüren und den Druck während der Harzinfusion zu überwachen. Der Prozess umfasst den Einsatz von Harzmischbechern und Schlauchklemmen zur Regulierung des Flusses, während die Endkontrolle an einem flachen Plattenprobestück durchgeführt wird.



Präsentation über Deep-Tech- Materialien






Co-funded by the European Union

An Overview of the Deep Tech Materials Landscape

Artur Karczewski, PhD, Eng.
Gdańsk University of Technology
Gdańsk, Poland





Co-funded by the European Union

Presentation overview

- Deep Tech Materials definition?
- Why is there a need to use deep-tech materials?
- Deep Tech materials overview
- Group work and discussion



Co-funded by the European Union

Question

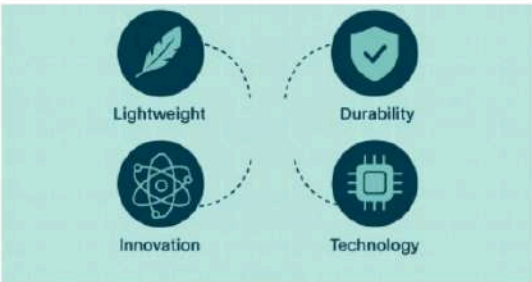
When you hear the term Deep tech material, what do you think of?

Scan and answer





Answers



Lightweight

Durability

Innovation

Technology



Uncertainty



technical
(will it work outside the lab?)

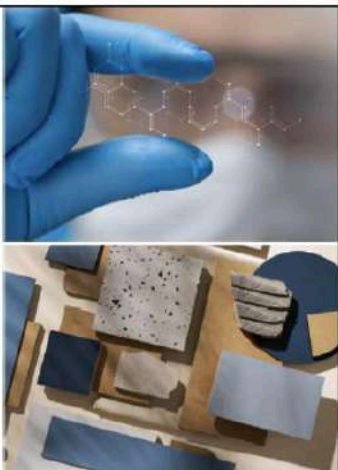
regulatory (can it meet safety and certification standards?)

market-based
(will there be demand?)



Deep tech materials

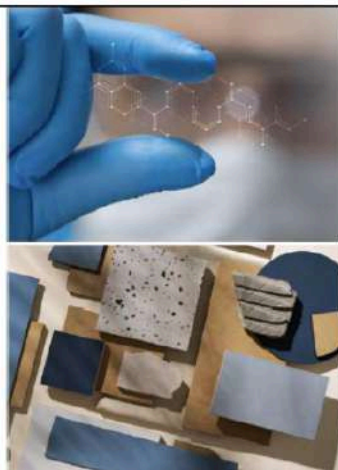
Deep tech materials are advanced materials that emerge from cutting-edge scientific research and technological breakthroughs. Unlike conventional materials, they are defined by the high level of complexity, uncertainty, and innovation involved in their development.




Why do they matter?

Deep tech materials aren't just new—they're changing the rules of how we design, produce, and use materials across industries.

They are transforming: automotive, aerospace, electronics and medicine,





Co-funded by the European Union

Automotive

- Advanced high-strength steels (AHSSs) in body structures and chassis
- Natural-fiber-reinforced composites
- Graphene and carbon nanotubes in electronic components
- Metamaterials for radar, antennas, and electromagnetic shielding for electric vehicles
- Piezoelectric materials in sensors and actuators
- Shape Memory Alloys (SMAs) in structural components and safety applications
- Man-made honeycomb structures in automobile components




Co-funded by the European Union

Aerospace

- Lightweight carbon-based nanomaterials and auxetic metamaterials (NPRs) in aerospace applications
- Advanced polymers for fuselage and wings
- Advanced composites for spacecrafts crew decks and armor use
- Bio-inspired design in aerospace innovations




Co-funded by the European Union

Electronics

- Quantum dots in display technologies
- Nanowires, carbon nanotubes (CNTs), graphene in electronic parts
- Advanced conductive polymers (ACPs), in smart electronics, bioelectronics, energy storage and conversion devices
- Smart materials and metamaterials in wearable electronics and sensors
- Transition metal dichalcogenides (TMDs) in photonics
- Bio-inspired materials in batteries and portable electronics




Co-funded by the European Union

Healthcare

- Biocompatible materials and electromagnetic metamaterials for wearable flexible hybrid electronics
- Polymer-based composites for tissue engineering and drug delivery
- Carbon nanotubes, nanowires, nanoparticles, quantum dots and graphene in diagnostics, drug and alcohol sensing, drug delivery, biosensors and bioelectronic devices
- Bio-inspired innovations in reducing disease transmission






Question

Why is there a need to search for new materials in boathbuilding?

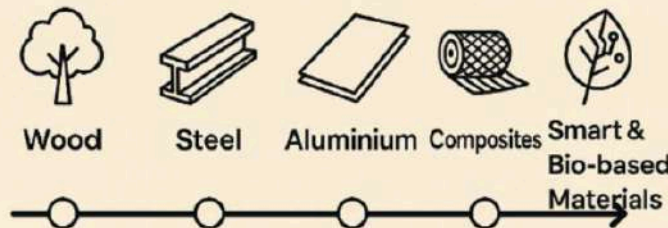
Office on the web Frame

Scan and answer






Transistion





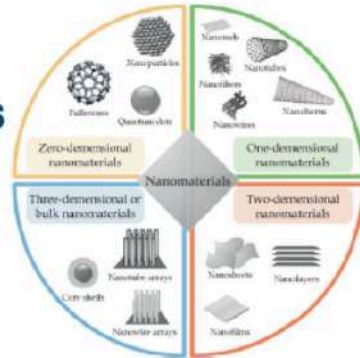

Comparison

	Deep-Tech	Traditional Materials
Weight	Lightweight	Heavier
Strength	Higher	Lower
Corrosion Resistance	High	Limited
UV Resistance	Strong	Needs Coating
Recyclability	Varies	Lower
Repairability	Easier	Easier




Nanomaterials

Nanomaterials are materials engineered at the nanometer scale (1 – 100 nm), where quantum and surface effects dominate material behavior. Due to their extremely small size and large surface area-to-volume ratio, nanomaterials exhibit unique mechanical, chemical, thermal, and electrical properties not observed in their bulk counterparts. These characteristics make them particularly well-suited for applications in challenging marine environments, including boat construction, underwater systems, and offshore infrastructure.





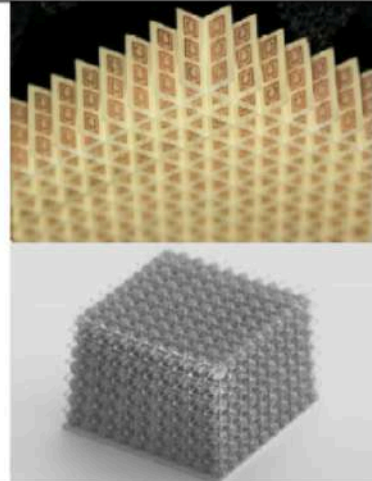

Nanomaterials

Category	Details
Material Classification	Nanostructured materials (e.g., nanoparticles, nanotubes, nanocomposites)
Mechanical Properties	High strength-to-weight ratio, fracture resistance, fatigue life enhancement
Surface Functions	Corrosion resistance, anti-fouling, UV protection, self-cleaning
Thermal/Optical Properties	UV blocking, heat dissipation, thermal insulation
Applications in Yachts	Nano-reinforced hulls, anti-fouling coatings, nanostructured UV-protective finishes, advanced sensor systems, nanocoatings on mechanical parts
Emerging Uses	Smart coatings, nanogenerators, lightweight energy storage (batteries, supercapacitors)




Metamaterials

Metamaterials are artificially engineered materials designed to exhibit physical properties not found in nature. By carefully structuring their internal geometry, these materials can control acoustic, thermal, and electromagnetic waves in ways conventional materials cannot. While metamaterials have been widely explored in aerospace, defense, and telecommunications, their potential in the field of boat construction is increasingly recognized.





Metamaterials

Category	Details
Material Classification	Advanced Engineered Materials (subset of functional materials)
Division into Groups	- Mechanical Metamaterials – optimized for strength, flexibility, etc. - Acoustic Metamaterials – control of sound waves; - Thermal Metamaterials – manipulation of heat flow; - Electromagnetic Metamaterials – control of EM/radar waves; - Optical Metamaterials – light wave control (cloaking, lenses)
Mechanical Properties	- High strength-to-weight ratio - Auxetic behavior (negative Poisson's ratio) - High stiffness or controlled deformability




Metamaterials

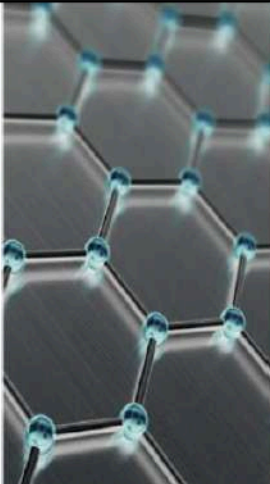
Category	Details
Mechanical Properties	- Energy absorption - Tuneable elasticity and density depending on geometry
Application Cases	- Boat hulls: lightweight, impact-resistant structures - Noise insulation: cabins with acoustic metamaterials - Radar stealth: reduced detectability of military vessels - Thermal management: optimized interior climate control - Hydrodynamic coatings: drag reduction, anti-biofouling - Energy harvesting: from wave or vibration-induced deformation




TECONAUT

Quantum materials

Quantum materials, defined by properties like entanglement, topological states, and strong electronic correlations, represent a new frontier in advanced materials. Their application can be already encountered particularly in the healthcare industry and electronics. Though their current use in the maritime sector—particularly the yacht industry—is limited, their potential is significant. These materials could revolutionize marine systems through ultra-sensitive sensors, efficient energy subsystems, and high-performance composites tailored for demanding oceanic environments.





TECONAUT

Quantum materials

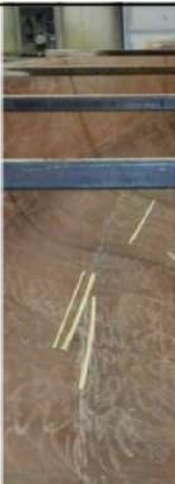
Category	Details
Material Classification	Topological insulators, Weyl and Dirac semimetals, Mott insulators, heavy fermion systems, unconventional superconductors, spin liquids
Division into Groups	- Topological states - Strong electronic correlations - Quantum spin and entanglement phenomena
Mechanical Properties	- Generally brittle and sensitive to defects - Low ductility and mechanical strength - Not suitable for structural or load-bearing use - Often require encapsulation or substrate stabilization




TECONAUT

Advanced polymers & composites

Polymers and composites are some of the most widely used materials in modern boatbuilding. Unlike traditional materials such as wood or steel, composites are made by combining a polymer resin (the glue or matrix) with reinforcing fibers (like glass, carbon, or flax). This combination creates materials that are light, strong, and versatile, making them ideal for both structural parts of a boat and interior features.





TECONAUT

Advanced polymers & composites

Category	Details
Material Classification	Polymers / composites are a composition of at least two materials, with different physical and chemical properties, in this case: - Polymer plastics, the resin - Organic and / or inorganic fibre reinforcements
Division into Groups	They are grouped by manufacturing qualities and origins: - Resins / Matrixes / Plastics / Glue: - Thermosets / Thermosetting polymer (e.g. Epoxy, Polyester) - Thermoplastics (e.g. Acrylics) - Fiber reinforcements: - Inorganic - Mineral (e.g. Volcanic, Basalt, Glass) - Organic: Plant fibres (e.g. Flax, Hemp, Bamboo); Synthetic fibres (e.g. Carbon, Aramid)



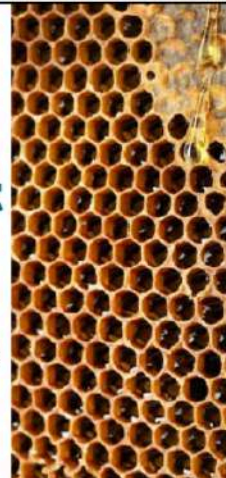

Advanced polymers & composites

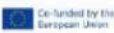
Category	Details
Mechanical Properties	• Lightweight • High-strength & high-stiffness • Versatility in application & in design • Resistance to environment • Low manufacturing costs
Application Cases	• Hull and deck structure • Inner hull • Shower trays • Interior arrangement




Bio-inspired & smart materials

Bio-inspired & smart materials can be grouped by their functional analogy to natural systems, while smart materials are typically classified by their response to external stimuli such as temperature, pH, light, or mechanical stress. These two categories overlap in function but differ in conceptual origin: bio-inspiration derives from observed biological strategies; smart materials focus on stimulus-triggered reactions. Smart materials are typically classified by the external stimulus they respond to.





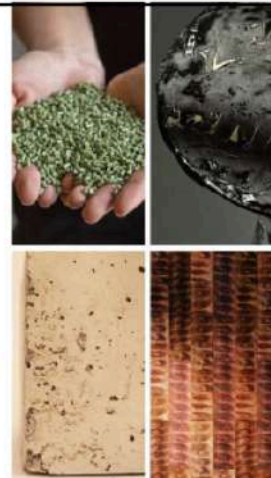
Bio-inspired materials

Category	Description
Material Classification	Bio-inspired (functionally nature-derived) / Smart (stimuli-responsive)
Division into Groups	Bio-inspired by surface (e.g., lotus, sharkskin), structure (e.g., fibres, cuticle), or function
Mechanical Properties	Varying: often not load-bearing; some materials offer vibration damping, wear and impact resistance
Limitations	Durability, lack of certification, limited structural applications, scalability
Application Cases	Anti-fouling coatings, composites, sensor-embedded laminates, self-healing coatings

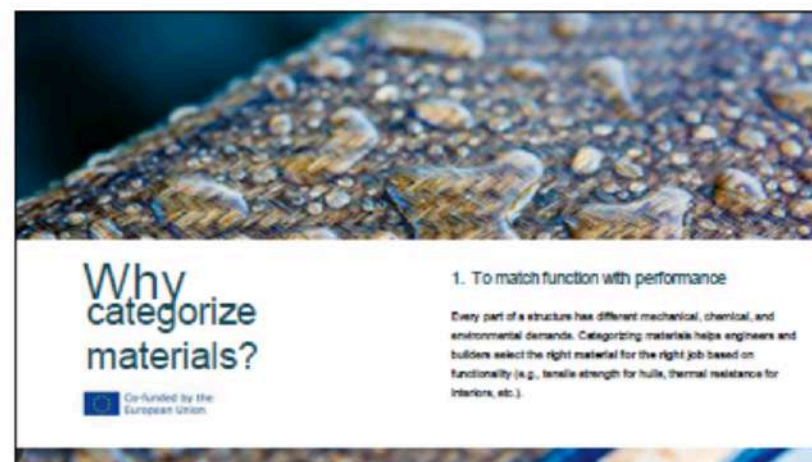



Sustainability materials

Sustainable materials—such as recycled PET cores, bio-based resins and recycled carbon fibers—are emerging as viable alternatives in marine construction. Offering solid structural performance and environmental benefits, they are increasingly used in hulls, decks, and non-critical components of energy-efficient vessels.









Why categorize materials?

Co-funded by the European Union

2. To enable smarter, more sustainable design

Categorizing materials based on properties like recyclability, bi-content, or lifecycle impact supports eco-conscious decisions. It helps designers avoid "burden shifting" (solving one environmental problem while creating another), a common issue in sustainability.



Why categorize materials?

Co-funded by the European Union

3. To improve manufacturing and maintenance efficiency

Functional categorization guides process planning — certain materials are better suited to vacuum infusion, others to hand lay-up or 3D printing. It also helps predict reparability, lifespan, and end-of-life scenarios (e.g., ease of disassembly, recyclability).



Why categorize materials?

Co-funded by the European Union

4. To align with regulatory and certification requirements

5. To support innovation and integration of new technologies

6. To enhance communication across teams

Co-funded by the European Union



Importance of material categorization in yacht design, sustainability, and performance

1. Yacht design: engineering for purpose:

Categorizing materials based on their mechanical properties (tensile, flexural, impact, etc.) and functional roles helps naval architects and designers:

- Select optimal materials for each part
- Design lighter, stronger, and safer boats
- Balance cost vs. performance in a rational way

Hulls	Decks	Interiors
		
Impact and Water Resistance	Slip Resistance and Strength under Compression	Weight and Aesthetics

Co-funded by the
European Union

Importance

of material categorization in yacht design, sustainability, and performance

2. Sustainability: Smarter Material Choices

Functional categorization includes environmental metrics such as:

- Renewability
- Recyclability
- Life cycle emissions
- End-of-life options (reuse, biodegradability)

This enables builders to:

- Reduce carbon footprint (e.g., by choosing flax over fiberglass)
- Avoid toxic resins and coatings
- Improve circularity through modular construction and recyclable composites



Co-funded by the
European Union

Importance

of material categorization in yacht design, sustainability, and performance

3. Performance: Getting the best out of the boat

Materials influence the speed, durability, and comfort of a yacht.

Categorizing by performance allows:

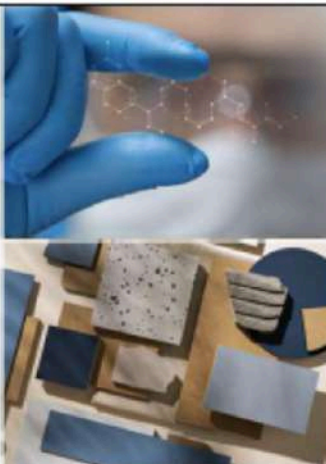
- Strategic layering and lay-up design
- Better resistance to marine threats (UV, osmosis, corrosion)
- Enhanced hydrodynamics through advanced coatings (e.g., sharkskin-inspired)



TECONAUT Co-funded by the
European Union

Deep – tech materials

Deep-tech materials are advanced materials that emerge from cutting-edge scientific research and technological breakthroughs. Unlike conventional materials, they are defined by the high level of complexity, uncertainty, and innovation involved in their development.



TECONAUT Co-funded by the
European Union

Key features

Complexity - Engineered at the molecular, nano, or multi-functional level. Often involve hybrid systems (e.g., bio-based + smart).

Innovation-Driven - Born from frontier science (nanotech, AI-driven materials discovery, quantum chemistry). Often protected by patents or require IP strategies.

Long R&D Cycles - Years (sometimes decades) from lab to commercial use. Require high investment and iterative testing.

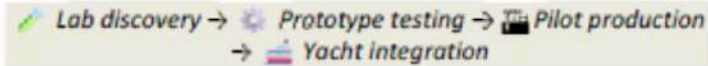


Co-funded by the
European Union

Key features

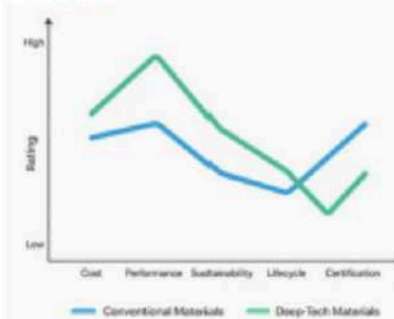
Uncertainty - Technical (performance in real-world), regulatory (compliance), and market-related (adoption and scale) risks.

High Entry Barriers - Require specialized knowledge, infrastructure, and certification. Not easily commoditized.



Co-funded by the
European Union

Key features



- Higher strength-to-weight ratios
- Improved fatigue, thermal, and chemical resistance
- Custom-engineered at nano or molecular levels (e.g., carbon nanotubes, graphene)
- Enable multifunctional applications (e.g., structural + sensing + self-healing)



Co-funded by the
European Union

Question

In your opinion, what is the greatest barrier to implementing modern materials in real-world structures?

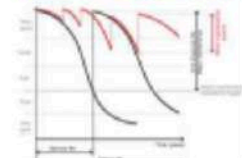


Co-funded by the
European Union

But also...



- High initial cost
- Lack of certification and regulatory approval
- Limited manufacturing infrastructure
- Resistance to change in industry culture
- Unknown long-term durability or performance
- Insufficient training or workforce skills
- Supply chain and sourcing limitations
- Lifecycle data and recyclability gaps





Co-funded by the
European Union

Category 1: Structural reinforcement materials

Natural fibers (Flax, Hemp, Jute)

- High tensile strength with low weight
- Bio-based and renewable
- Biodegradable or recyclable
- Lower environmental impact than fiberglass
- Good compatibility with bio-resins and vacuum infusion



Co-funded by the
European Union

Category 1: Structural reinforcement materials

Natural fibers (Flax, Hemp, Jute)

- Moisture absorption must be managed
- Variability in fiber quality
- Needs surface treatments for durability

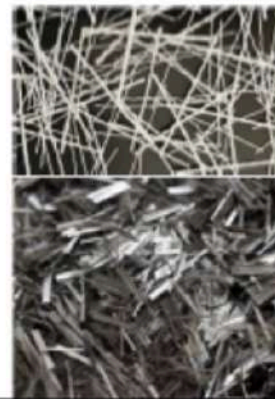


Co-funded by the
European Union

Category 1: Structural reinforcement materials

Basalt & recycled fiber reinforcements

- High thermal and fire resistance (Basalt > Fiberglass)
- Lightweight with excellent mechanical properties
- Made from abundant or waste resources
- Resistant to moisture, corrosion, and fatigue
- Enables reuse of industrial waste and lower embodied energy



Co-funded by the
European Union

Category 1: Structural reinforcement materials

Basalt & recycled fiber reinforcements

- Basalt is more expensive than fiberglass
- Recycled fibers can have variable quality and limited certifications
- Mechanical properties are often slightly below virgin carbon/glass



Category 2: Matrix and binding materials

TECONAUT 

Resins: The "Glue" of Composites

Bio-based thermoset resins

- Derived from plant oils, lignin, starch, or sugar
- Often used as drop-in replacements for epoxy or polyester
- Renewable

Thermoplastic resins

- Can be melted and reformed (vs. thermosets which are irreversible)
- Enable recyclability and modular construction (heat-formable)




Category 2: Matrix and binding materials

TECONAUT 

Resins: The "Glue" of Composites

- Cost of bio-resins still higher than petro-based
- Thermoplastics require different processing equipment
- Certification lag for marine use





Category 3: Functional smart and responsive materials

TECONAUT 

Smart polymers

- self-healing
 - Automatically repairs micro-cracks or surface damage without manual intervention
 - Increases lifespan and reduces maintenance
- thermo-Responsive (change stiffness, shape, or adhesion based on temperature)
- pH or moisture responsive (useful in bi-lge protection, humidity control, or corrosion prevention)




Category 3: Functional smart and responsive materials

TECONAUT 

Smart polymers

- Most applications still in R&D or prototype phase
- Need for marine-specific validation (saltwater, wear, etc.)
- Cost currently high for large-scale components



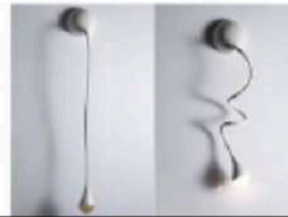
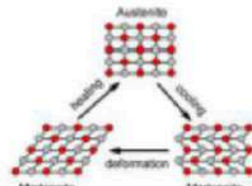

Category 3: Functional smart and responsive materials

Shape memory alloys

- Shape recovery after deformation - No external motors or hydraulics needed
- thermo-responsive actuation - React to heat, electric current, or magnetic field
- Silent and compact motion control - Ideal for tight spaces with no room for mechanics



Co-funded by the
European Union



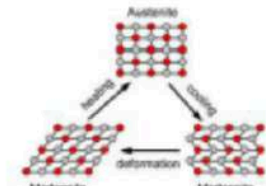
Category 3: Functional smart and responsive materials

Shape memory alloys

- High material cost (e.g., NITINOL)
- Needs precise temperature control
- Long-term fatigue in marine environments still under study
- Complex design integration (not plug-and-play)



Co-funded by the
European Union



Category 3: Functional smart and responsive materials

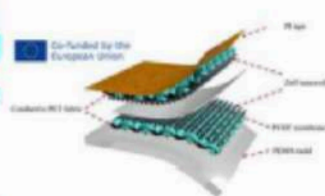
Piezoelectric & sensor materials

Materials that generate electrical signals when mechanically stressed, or change shape when voltage is applied.

- Real-time stress and vibration monitoring – structural health monitoring
- Wave impact & pressure detection - Adaptive behavior or alerts in rough seas
- Leak or bilge water sensors - Automatic pump activation, early warnings
- Position & strain sensing - smart sail adjustment or trim feedback



Co-funded by the
European Union



Category 3: Functional smart and responsive materials

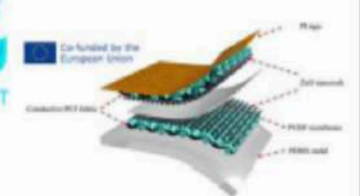
Piezoelectric & sensor materials

Materials that generate electrical signals when mechanically stressed, or change shape when voltage is applied.

- requires integration into design phase
- saltwater corrosion protection needed
- must avoid false positives due to motion/vibration (typical problems of SHM systems but in the case of sea environment it is even more difficult to manage)



Co-funded by the
European Union



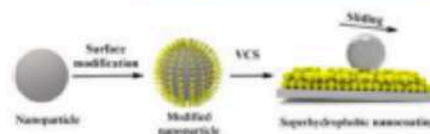


Nanocoatings

Ultra-thin surface treatments engineered at the nano-scale, providing enhanced protection and functional properties without changing the material's appearance or weight.

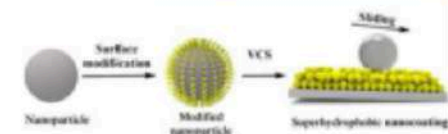
- UV Protection
- Self-Cleaning (Hydrophobic)
- Anti-Fouling Properties
- Corrosion & Abrasion Resistance

Category 4: Surface and environmental coatings



Nanocoatings

- the application requires precise surface prep
- wear over time — some coatings need reapplication
- the cost varies depending on the formula and substrate



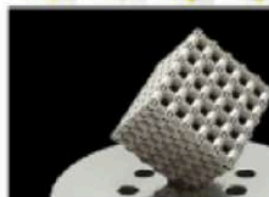
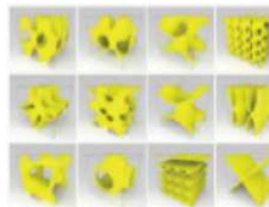
Category 4: Surface and environmental coatings



Metamaterial-based surfaces

Engineered materials with structured micro- or nano-geometries that give them unusual properties — not found in nature or traditional materials.

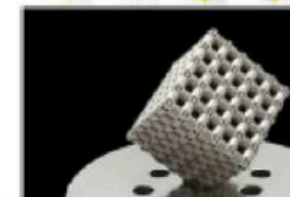
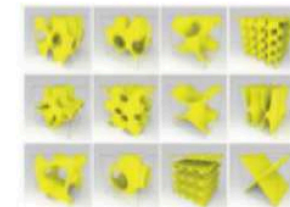
- drag reduction surfaces - micro-ridges or "sharkskin" textures reduce water resistance
- noise-dampening panels - internal geometries cancel or absorb engine and vibration noise
- wave-manipulating coatings - control heat, sound, or radar reflection (in military/military-adjacent designs)



Metamaterial-based surfaces

Engineered materials with structured micro- or nano-geometries that give them unusual properties — not found in nature or traditional materials.

- most metamaterials are still in the research phase
- production requires precision microfabrication
- cost and marine durability testing are still evolving



Category 4: Surface and environmental coatings




Category 5: Core and lightweight materials

Sandwich core materials

Lightweight materials placed between two strong outer skins (like a composite laminate), creating a stiff, durable, and low-weight structure — much like an I-beam or honeycomb. Core materials in deep-tech yachts:

- recycled PET (rPET) foam
- balsa wood
- cork






Category 5: Core and lightweight materials

Sandwich core materials

- recycled PET (rPET) foam
 - lightweight, moisture resistant, and consistent
 - fully recyclable and available in various densities
- balsa wood
 - natural, ultra-light, excellent compressive strength
 - biodegradable, but vulnerable to moisture if not sealed
- cork
 - renewable, biodegradable, impact-absorbing
 - Naturally anti-slip
 - Lower strength than balsa, but very sustainable






Category 5: Core and lightweight materials

Paper honeycomb & foam alternatives

Lightweight, low-cost core structures used in non-structural or low-load areas, offering strength, flexibility, and sustainability — especially for yacht interiors.

Paper honeycomb cores:

- Made from recycled paper or cardboard
- Ultra-light, strong under compression, low cost
- Fully recyclable and biodegradable






Category 5: Core and lightweight materials

Paper honeycomb & foam alternatives

Lightweight, low-cost core structures used in non-structural or low-load areas, offering strength, flexibility, and sustainability — especially for yacht interiors.

Foam alternatives (bio-based or recycled):

- made from bio-resins, soy-based polyurethanes, or rPET foams
- used where lightweight filler or shape is needed
- often closed-cell = resistant to moisture
- non-toxic options replacing petroleum-based foam






Category 5: Core and lightweight materials

Paper honeycomb & foam alternatives

Lightweight, low-cost core structures used in non-structural or low-load areas, offering strength, flexibility, and sustainability — especially for yacht interiors.

- not suitable for high structural loads
- paper honeycomb needs sealing against moisture
- limited long-term performance data in marine settings



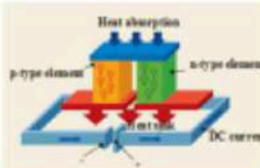



Category 6: Energy and thermal functional materials

Thermoelectric & Energy-Storing Materials

Thermoelectric materials - Materials that convert heat directly into electricity — without moving parts, wires, or batteries.

- Generate power from engine heat, sunlight, or surface temperature differences
- No fuel, no emissions, no moving parts
- Can power sensors, navigation beacons, micro-devices





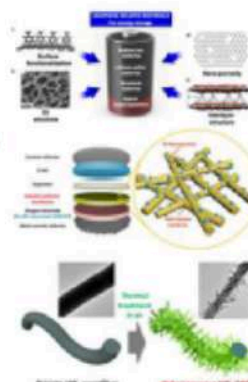


Category 6: Energy and thermal functional materials

Thermoelectric & Energy-Storing Materials

Energy storing materials - functional materials that can store and release energy — either integrated into boat structures or embedded in systems (e.g., supercapacitors, carbon fiber batteries).

- carbon fiber or composites infused with energy storage capacity
- panels or hull sections that store power like a battery
- potential to power lights, sensors, or small electronics

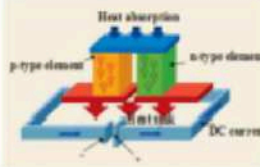





Category 6: Energy and thermal functional materials

Thermoelectric & Energy-Storing Materials

- Still in R&D or early prototype stages
- Low power output — only suitable for small loads
- High cost for energy-storing composites
- Needs custom integration into design phase







Category 6: Energy and thermal functional materials

Solar integration with deep-tech layers

The embedding of solar energy harvesting into yacht components using thin, flexible, and smart photovoltaic materials — beyond traditional solar panels.

- flexible, lightweight, and can follow curved surfaces
- Transparent or semi-transparent films applied to glass, sails, or decks
- combine solar capture with UV protection, anti-fouling, or structural roles
- enables off-grid and silent operation
- powers lights, navigation systems, fridges, and winches






Category 6: Energy and thermal functional materials

Solar integration with deep-tech layers

The embedding of solar energy harvesting into yacht components using thin, flexible, and smart photovoltaic materials — beyond traditional solar panels.

- efficiency still lower than rigid silicon panels
- vulnerable to abrasion, UV, and saltwater
- integration into curved composites requires advanced bonding techniques
- cost and durability under marine conditions still under





Which materials are ready now?

TRL	Stage	Example materials
1-3	lab research	Shape-memory alloys, metamaterials
4-5	prototype testing	Smart polymers, energy-storing composites
6-7	pilot production	Thermoplastics, thermoelectrics
8-9	commercial use	Flax fiber, rPET foam, bio-resins, nanocoatings





Time for group work and discussion!





Präsentation über die mechanischen Eigenschaften von Werkstoffen



Co-funded by the European Union



Understanding of mechanical properties: Importance and Measurement methods

National Technical University of Athens

Vaire, 11 September 2025

SEATEACH soib Nautic Marine EBI INNOVATION anen POLBOAT



Part 1

Introduction

Co-funded by the European Union

Topics

- Definition of material properties
- Categories of material properties
- Definition of mechanical properties
- Why study mechanical properties
- Boatbuilding applications and mechanical properties' demands

Objectives

- Introduction to material properties
- Understanding of connection with boatbuilding applications

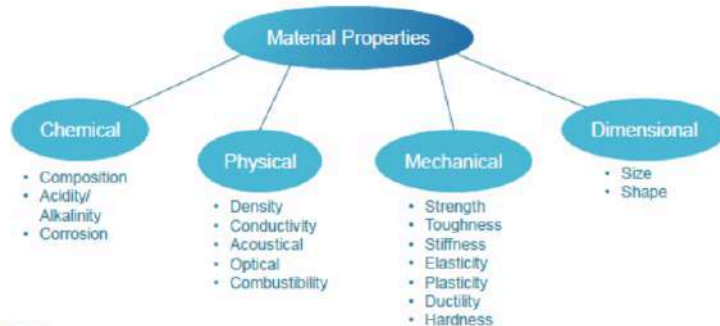
Co-funded by the European Union

Definition of material properties

- Materials have properties and measurements related to them.
- Material properties refer to the characteristics that define how a specific material behaves and responds under different conditions, encompassing its composition, physical attributes, and reaction to applied forces.
- Material properties determine materials use and applications.

Co-funded by the European Union

Categories of material properties



5

Definition of mechanical properties

- Mechanical properties refer to the characteristics of a material that describe its behavior under the action of external forces, such as tension, compression, bending, or torsion.
- These properties determine how a material responds to mechanical loads.
- They affect the mechanical strength and ability of a material to be molded in suitable shape and the ability to resist mechanical forces.
- They include attributes like strength, ductility, hardness, toughness, elasticity, and fatigue resistance.



6

Why study mechanical properties?

- Development and design of material applications for maximized efficiency.
Choosing the appropriate materials for specific applications is essential to ensure optimal performance within their intended environments.
- More efficient manufacturing process.
- Limitations awareness and management.
- Handling awareness for safety and accident prevention.
- Support the development of advanced materials for various applications in the boatbuilding industry.



7

Boatbuilding applications and mechanical properties' demands

- Understanding mechanical properties is essential as they determine the quality and functionality of the final product.
- Apart from quality and functionality, the mechanical properties influence durability, performance and damage vulnerability.
- Materials undergo testing and evaluations to ensure durability, resilience and finally suitability for applications.
- **Challenge:** Mechanical properties which contribute to operational performance optimization usually makes manufacturing process more difficult.
→ Close cooperation between the designer and the manufacturer is the key element to overcome the challenge. Compromises always need to be made!



8



Part 2

Mechanical Properties

Co-funded by the European Union

Topics

- Mechanical properties
- In-plane tensile strength
- In-plane shear strength
- Compressive strength
- Stiffness
- Interlaminar shear strength (ILSS)
- Interlaminar fracture toughness
- Fatigue resistance
- Impact resistance
- Young's modulus
- Poisson's ratio
- Thermal expansion
- Moisture absorption

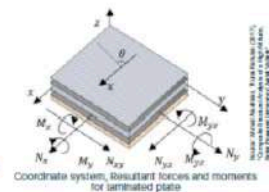
Objective

- Familiarization with mechanical properties

Co-funded by the European Union

Mechanical properties

The mechanical properties of composites describe how they react to applied forces, moments, torque and changes in environmental conditions such as temperature and humidity.



Coordinate system, resultant forces and moments for laminated plate

- ✓ In-plane tensile strength
- ✓ In-plane shear strength
- ✓ Compressive strength
- ✓ Stiffness
- ✓ Interlaminar shear strength (ILSS)
- ✓ Interlaminar fracture toughness
- ✓ Fatigue resistance
- ✓ Impact resistance
- ✓ Young's modulus
- ✓ Poisson's ratio
- ✓ Thermal expansion
- ✓ Moisture absorption

Co-funded by the European Union

In-plane tensile strength

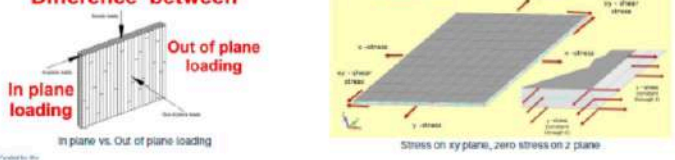
It is the maximum tensile stress that a composite material can withstand within the plane of its laminate layer before it breaks.

Because composites are fiber direction-dependent, in-plane tensile strength is measured in specific directions and is higher along the direction of fibers.



Tensile loading

Difference between In plane loading and Out of plane loading



In plane vs. Out of plane loading

Stress on xy plane, zero stress on z plane

Co-funded by the European Union

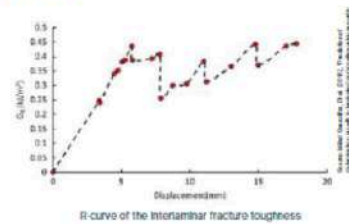


Co-funded by the
European Union

Interlaminar fracture toughness

It is a measure of a composite material's resistance to crack growth between its layers under different types of loading.

Compared to ILSS that measures stress, this one indicates how much energy the material can absorb before a crack between its layers grows.



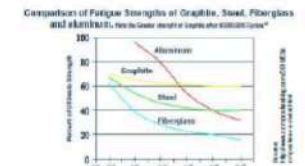
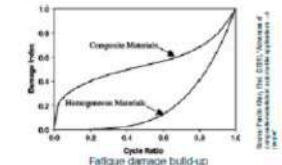
Co-funded by the
European Union

Fatigue resistance

The ability of a composite material to withstand repeated cyclic loading (tension, compression, bending, or shear) without failing.

Fatigue occurs when a material is subjected to repeated or fluctuating stress, usually below its ultimate strength, causing progressive damage that can lead to sudden failure.

In composites fatigue is more complex, because the material is anisotropic and multiple failure mechanisms interact over time.



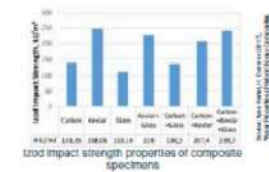
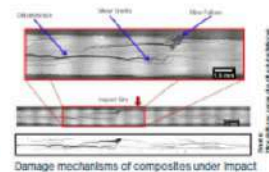
Co-funded by the
European Union

Impact resistance

The ability of a composite material to absorb and dissipate energy from a sudden force or impact (drop, strike, or collision) without catastrophic failure like cracking, delamination, or fiber breakage.

Importance:

- Composites are strong but often brittle (e.g., compared to Grade A/C45 steel)
- Impact can cause internal damage that is not visible but severely weakens the structure



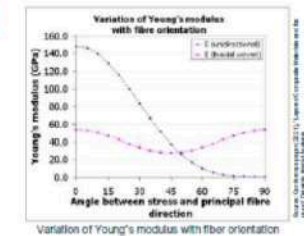
Young's Modulus, E

Young's modulus or modulus of elasticity, E, in composites is a measure of stiffness, that is, how much a composite resists deformation when a tensile, or compressive force is applied.

Higher E → stiffer material

Because composites are anisotropic, E depends on fiber orientation and laminate layup.

E_1 (along the fiber direction) > E_2 (perpendicular the fiber direction)

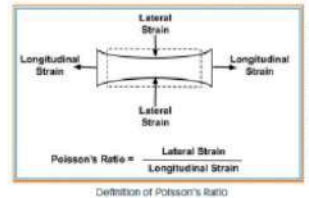


Poisson's Ratio, ν

It is the ratio of transverse strain to axial strain when the material is under tensile or compressive load.

Key point:

When a material is under tension in one direction, it shrinks in the perpendicular direction. Poisson's ratio measures the degree of shrinkage that occurs in a material in relation to its stretching.



Thermal Expansion

It refers to how much a composite changes in size (expansion or contraction) when the temperature changes.

The rate of this change is the coefficient of thermal expansion (CTE), denoted as α [$\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$] in literature.

Moisture Absorption

It refers to the uptake of water or humidity from the environment into the matrix material (usually a polymer).

This occurs over time and can change the composite's properties (strength, stiffness, dimensions, and durability).

Quiz Time ?

Why is high stiffness an important mechanical property of composite material?

- a) It makes the material heavier and more durable.
- b) It allows the material to stretch easily under force.
- c) It helps the material resist bending or deformation under load.

Quiz Time ?

Why is high stiffness an important mechanical property of composite material?

- a) It makes the material heavier and more durable.
- b) It allows the material to stretch easily under force.
- c) It helps the material resist bending or deformation under load.



Part 3

Measurements and Specifications

 Co-funded by the European Union



Topics

- Why do we need quality control?
- ASTM and ISO Standards
- Tensile testing
- Compression testing
- Flexural testing
- Interlaminar shear strength
- Shear testing ($\pm 45^\circ$)
- Impact testing
- Fatigue testing
- Environmental resistance testing

Objectives

- Material quality control procedures and standards
- Getting to know standardized material tests

 Co-funded by the European Union

Why do we need Quality Control?

- ✓ To ensure materials **meet** safety and performance standards.
- ✓ To **detect** manufacturing defects early.
- ✓ To **guarantee** long-term durability and reliability.




Essential for critical industries like boatbuilding, aerospace, and automotive

 Co-funded by the European Union

ASTM & ISO Standards

- **ASTM**: American Society for Testing and Materials (US-based).
- **ISO**: International Organization for Standardization (global).



Property of ASTM



Property of ISO

They provide standardized testing methods to compare materials fairly.

 Co-funded by the European Union

Tensile testing



Purpose: Measures how much force is needed to pull a composite material apart until it breaks.

- ASTM D3039 and ISO 527-4 are standard methods for testing fiber-reinforced composites.
- A flat rectangular specimen is pulled lengthwise until failure.
- Results help determine **tensile strength**, modulus of elasticity, and strain at break.



Preparing a composite sample for tensile testing.

Crucial for understanding how composites behave under stretching forces, important for structural parts in boatbuilding like hulls, decks, or masts.

28

Compression testing



Purpose: Measures how much force a composite material can withstand when compressed before it buckles or fails.

- ASTM D6641 and ISO 14126 are standard methods for testing compressive strength of fiber-reinforced composites.
- The specimen is loaded lengthwise in compression using special fixtures (e.g., combined loading or shear loading).
- Evaluates **material behavior** under squeezing forces, including strength and stability.



Composite specimen placed in a fixture for compression testing.

Crucial for assessing how composites perform in boat structures like hulls, frames, and panels that face compressive loads during service.

29

Flexural testing



Purpose: Measures how much force is needed to bend a composite material until it breaks or deforms.

- ASTM D790 and ISO 14125 are standard methods for testing the flexural strength and stiffness of composites.
- The sample sits on two supports and is pressed down in the middle (3-point bending).
- Results show how well a **material resists bending** — indicating its rigidity and durability.



Set up for flexural testing using a 3-point bending fixture.

Essential for boat parts like decks, beams, and panels that face bending loads during operation.

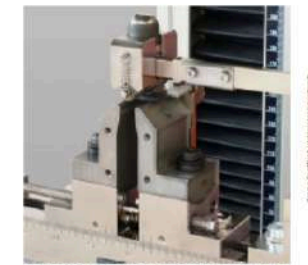
30

Interlaminar shear strength



Purpose: Measures how strongly the layers (plies) in a composite are bonded together.

- ASTM D2344 is the standard method used to test ILSS through a short beam bending test.
- A small beam is loaded in the center until the layers slide or separate.
- Helps **assess the adhesion between layers**, critical for avoiding delamination.



Short beam setup for testing the bonding between the composite layers.

Important for composites in boats, where strong bonding between layers ensures durability under repeated stress and vibration.

31

Shear testing ($\pm 45^\circ$)

Purpose: Measures how well a composite resists sliding forces between internal layers.

- **ASTM D3518** is the standard method for testing in-plane shear strength and stiffness using $\pm 45^\circ$ laminate specimens.
- The test pulls a specimen cut at $\pm 45^\circ$ angles to create a pure shear condition.
- Results show how the material handles twisting or diagonal forces.



Important for composite parts in boats like hulls and panels, where angled loads from waves or torsion can cause shear stress.

Impact testing

Purpose: Simulates accidental hits or drops to see how a composite material absorbs and resists sudden impact.

- **ASTM D7136** is the standard for impact testing using a falling weight method on composite panels.
- The test creates controlled damage, and then a Compression After Impact (CAI) test checks how the material performs afterward.
- Evaluates the material's damage resistance and ability to keep its strength after being hit.



Essential for real-world situations in boatbuilding — dropped tools, floating debris, or collisions can cause unexpected impacts.

Fatigue testing

Purpose: Measures how a composite behaves under repeated or fluctuating loads over time.

- **ASTM D3479** is the standard method for determining the tension-tension fatigue behavior of fiber-reinforced polymer matrix composites.
- A specimen is repeatedly pulled and released at a controlled frequency until failure.
- Results help determine how many cycles a material can endure before it cracks or breaks.



Important for predicting the lifespan of composite parts in boats exposed to wave forces, engine vibrations, or cyclic loading.

Environmental resistance testing

Purpose: Assesses how composite materials perform under harsh environmental conditions like moisture, salt exposure, and fire.

- **ASTM D570 – Water Absorption:** 

Measures how much water a material absorbs during immersion. Affects weight, strength, and stability in wet conditions.

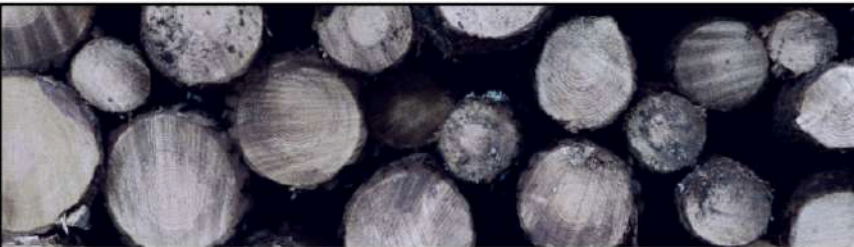
- **ASTM B117 – Salt Spray (Corrosion):** 

Simulates long-term saltwater exposure. Evaluates corrosion resistance of materials and protective coatings.

- **IMO FTP Code – Fire & Smoke Toxicity:** 

Tests flame spread, smoke density, and gas toxicity. Ensures fire safety compliance for marine applications.

Critical for boatbuilding, where materials must resist moisture, corrosion, and fire hazards over long service life.



Part 4

Factors affecting Mechanical Properties

Co-funded by the European Union

Topics

- Factors affecting material properties

Objective

- Getting to know which factors may affect material properties and how.

Co-funded by the European Union

Factors affecting mechanical properties

- Grain size
- Temperature
 - significant properties reduction in high temperatures
 - reduction of 10%, 50%, 90% in temperatures 90°C, 150°C, 200°C.
- Heat treatments
- Liquid environment presence
 - properties reduction
 - satisfactory protection through the use of gel coats.
- Atmospheric/ weather exposure
 - little impact
 - exposure to light, ultraviolet radiation, rain, frost.

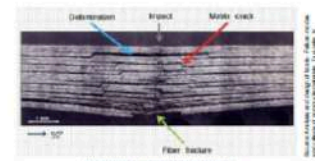


Vessel's exposure to frost

Co-funded by the European Union

Factors affecting mechanical properties

- Fiber properties
- Construction method
 - advanced methods $\Rightarrow$ small changes in properties
 - simple methods (hand lay-up) $\Rightarrow$ restricted quality and big changes in properties.
- Laminates' separation
- Polymerization rate

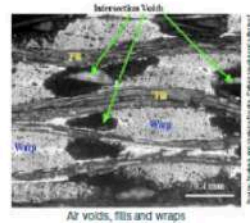


Depiction of mechanical failures

Co-funded by the European Union

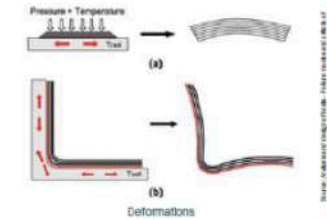
Factors affecting mechanical properties

- Conditions of storage
- Human factor
 - ✓ craftsman skill
 - ✓ fiber misalignment
 - ✓ poor resin distribution
 - ✓ air voids
 - ✓ ply wrinkling – foreign inclusions.



Factors affecting mechanical properties

- Remaining tensions
 - ✓ during the solidification process
 - ✓ different coefficient of thermal expansion of fibers and resin
 - ✓ possible rejection of the entire structure due to excessive deformations.



Quiz Time ?

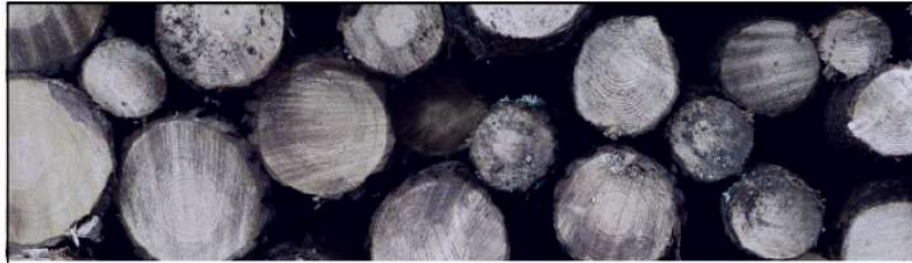
What is the nature of the factors affecting the material mechanical properties?

- Mainly external, including handling procedures, human factor and weather
- Inherent material factors concerning the fibers orientation and structure
- A combination of internal and external elements, acting in multiple ways and dynamically.

Quiz Time ?

What is the nature of the factors affecting the material mechanical properties?

- Mainly external, including handling procedures, human factor and weather
- Inherent material factors concerning the fibers orientation and structure
- A combination of internal and external elements, acting in multiple ways and dynamically.



Part 5

Types of Material Failures

Co-funded by the European Union

Topics

- Types of material failures
- Failure in tension
- Modes in failure in tension of a unidirectional layer
- Examples of tensile failures
- Failure in compression
- Failure in bending
- Examples of failures in bending
- Shear failure
- Creep failure
- Fatigue

Objective

- Familiarization with material failures

Co-funded by the European Union

Types of material failures

What is 'failure'?

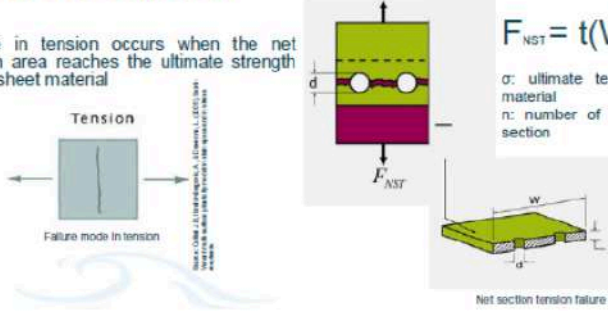


- ✓ Failure in tension
- ✓ Failure in compression
- ✓ Failure in bending
- ✓ Shear failure
- ✓ Fatigue
- ✓ Creep failure
- ✓ Impact

Co-funded by the European Union

Failure in tension

Failure in tension occurs when the net section area reaches the ultimate strength of the sheet material

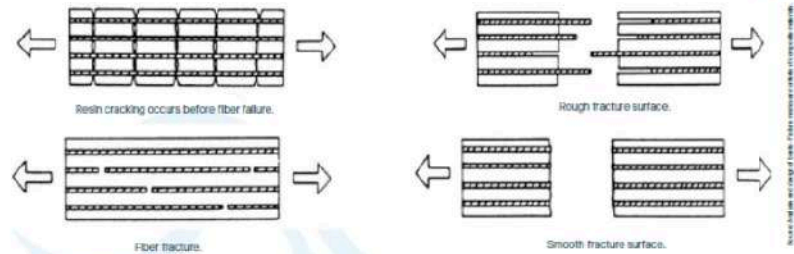


$$F_{NST} = t(W - n d) \sigma$$

σ : ultimate tensile strength of sheet material
 n : number of fasteners along the net section

Co-funded by the European Union

Modes of failure in tension of a unidirectional layer



Examples of tensile failures



Source: Gibson, R. D. (1997). *Composite Materials in Mechanical Design*. Butterworth-Heinemann.

Failure in compression

Compression failure usually occurs due to the development of compressive stresses greater than the allowable stresses.

When a load is applied to a material, it exerts a force on the material's molecules, causing them to move closer together. As more force is applied, the molecules become increasingly compressed until they reach a point where they can no longer move any closer together. At this point, the material has reached its maximum compressive strength and will begin to deform or fail if additional force is applied.

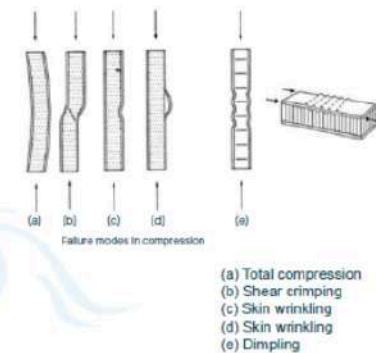


Source: Gibson, R. D. (1997). *Composite Materials in Mechanical Design*. Butterworth-Heinemann.

Failure in compression

Factors affecting such failure:

- ✓ Non-complete fiber alignment, fiber adjacency
- ✓ Non-complete fiber-resin bonding
- ✓ Voids (entrapped air)



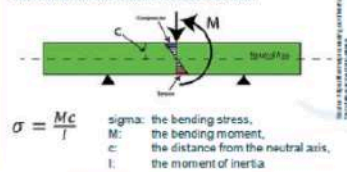
Source: Gibson, R. D. (1997). *Composite Materials in Mechanical Design*. Butterworth-Heinemann.



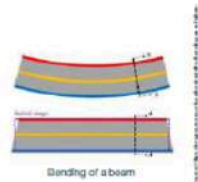
Co-funded by the
European Union

Failure in bending

Failure in bending will occur when the bending moment is sufficient to induce tensile/compressive stresses greater than the yield stress of the material throughout the entire cross-section



Schematic of bending stress in a loaded beam



Failure Mechanisms:

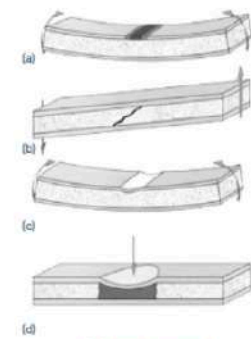
- ✓ **Yielding of extreme fibers:**
causes gradual sagging eventually rendering the material ineffective.
- ✓ **Buckling of compression fibers:**
occurs sideways, leading to sudden failure; primary or secondary cause of failure
- ✓ **Excessive shearing stresses:**
causes primary failure or secondary failure
- ✓ **Localised Yielding of the overstressed portions:**
Usually occur near bearing blocks that transmit concentrated loads or reactions to beams



Co-funded by the
European Union

Examples of failures in bending

- a) Failure of the compressed casing
- b) Failure of the core due to shear
- c) Formation of inward wrinkling of the core, accompanied by local crushing
- d) Local rushing of the core.

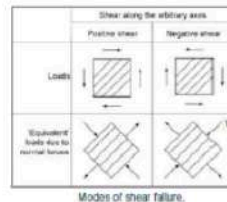
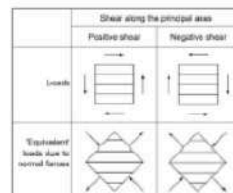


Co-funded by the
European Union

Shear failure

Shear failure refers to a type of material failure that occurs when a material experiences shear stress beyond its shear strength.

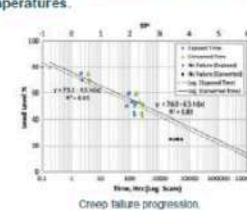
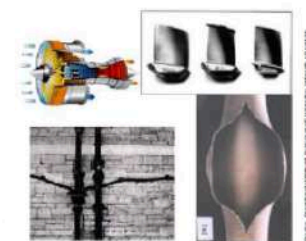
- ✓ One of the most critical failures.
- ✓ The occurrence of shear failure in a beam can lead to a sudden structural collapse
- ✓ A possible variation in strength between positive and negative shear depends on the direction of loading
- ✓ Shear can occur either along the principal axes or along arbitrary axes.



Co-funded by the
European Union

Creep failure

Creep failure caused by thermal stress. It has the characteristics of loading since a very early age, induced by variable compressive and tensile stress, and changing temperatures.



- The time-dependent deterioration of stress is based on:
- ✓ High temperature
 - ✓ Exposure to moisture
 - ✓ Exposure to acidic environments
- It appears when high temperatures develop, such as:
- ✓ decks due to sunlight
 - ✓ machine foundations
 - ✓ submarines with long submersion times
 - ✓ piping lines

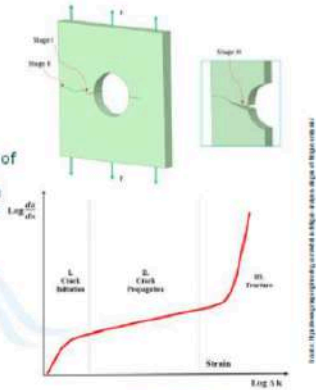


Fatigue

Fatigue is a failure mechanism that involves the cracking of materials and structural components due to **cyclic** (or fluctuating) stress. While applied stresses may be tensile compressive or torsional, crack initiation and propagation are due to the tensile component.

3 stages of fatigue failure:

- Stage I: Crack Initiation
- Stage II: Crack propagation
- Stage III: Failure



Stages of fatigue failure.



Part 6

Mechanical Properties, Failures and Deep Tech Materials



Co-funded by the European Union



Topics

- Recap: why mechanical properties matter
- Typical failures in composite boat structures
- Engineering response to failure
- Mechanical properties, failures and deep-tech materials
- Potential of deep-tech materials in boatbuilding to prevent failure
- Deep-tech materials: Nanomaterials in boatbuilding
- Deep-tech materials: Metamaterials in boatbuilding
- Deep-tech materials: Quantum materials in boatbuilding
- Deep-tech materials: Advanced polymers and composites in boatbuilding
- Deep-tech materials: Bio-inspired and smart materials in boatbuilding
- Deep-tech materials: Energy and sustainability materials in boatbuilding
- Deep-tech materials: High-value added metals and materials in boatbuilding

Objective

- Exploring the application of knowledge about material mechanical properties, especially in the context of deep-tech materials.



Recap: why mechanical properties matter

- Performance and safety:** Mechanical properties like strength, stiffness, and toughness determine how a composite performs under load and stress—critical for safety in demanding environments like marine applications.
- Durability and reliability:** Understanding fatigue resistance, impact behavior and mechanical failures helps ensure long-term durability and consistent performance.
- Design optimization:** Knowledge of mechanical behavior enables engineers to design lighter, more efficient structures retaining integrity.
- Material selection:** Matching the right mechanical properties to the application ensures the composite will perform as expected.
- Cost Efficiency:** Reducing overengineering and selecting the right materials for the right job can lower manufacturing costs while maintaining quality.

Typical failures in composite boat structures

- **Delamination**
 - ✓ Separation between composite layers due to poor bonding or repeated loading.
 - ✓ Often caused by impact, fatigue or manufacturing defects.
- **Matrix cracking**
 - ✓ Cracks form in the resin matrix between fibers.
 - ✓ Reduces load transfer and can lead to further damage.
- **Fiber Breakage**
 - ✓ Occurs when individual fibers exceed their tensile or compressive limits.
 - ✓ Common in areas under high stress or impact.
- **Debonding**
 - ✓ Loss of adhesion between fiber and matrix or between composite and core material.
 - ✓ Weakens structural integrity.



63

Typical failures in composite boat structures

- **Core shear failure (in Sandwich structures)**
 - ✓ The core material fails under shear loads, especially in high-impact or high-load zones.
 - ✓ Can lead to face sheet separation or crushing.
- **Buckling**
 - ✓ Compressive loads cause structural instability in thin laminates or unsupported panels.
 - ✓ Often seen in hull bottoms or deck panels under pressure.
- **Fatigue failure**
 - ✓ Progressive damage from repeated loading/unloading cycles.
 - ✓ Can initiate matrix cracks or delamination over time.



64

Engineering response to failure

- **Identification of the problem**
Definition of the failure type and location.
- **Understanding of the cause**
Answering the question: "Was it design, material choice, loading or manufacturing?"
- **Refining the design**
Adjustment of fiber direction, laminate thickness or structures support.
- **Improvement of material use**
Choice of tougher resins, stronger fibers or more resilient core materials.
- **Improvement of processes**
Use of alternative processes which are more suitable.
- **Monitoring and maintenance**
Use of frequent inspections to detect issues early and extend the boat's life.



65

Mechanical properties, failures and deep-tech materials

Towards the future of composites in maritime design

- **What are deep-tech materials?**
Deep-tech materials are advanced materials that emerge from cutting-edge scientific research and technological breakthroughs. Unlike traditional materials, which are often well understood and widely used, deep-tech materials are defined not just by their composition or application, but by the high level of complexity, uncertainty, and innovation involved in their development.
- **Why they matter in boatbuilding?**
Deep knowledge of mechanical properties and failures builds confidence in boat construction. By combining this knowledge with emerging material technologies, we open the door to creating more advanced composites tailored for marine performance.
- **How sustainability and impact are addressed?**
Choosing the right material for a boat is about much more than just strength or weight. Each decision has an impact – on the environment, on health, on recyclability, and on cost. Sustainability is a core part of responsible boatbuilding. Responsible boatbuilding means prioritizing materials that reduce environmental impact while meeting performance demands.



66

Potential of deep-tech materials in boatbuilding to prevent failure

- **Stronger, tougher composites**
Increased resistance to cracking, impact and delamination.
- **Improved fatigue performance**
Withstand repeated loads over time.
- **Smart damage detection**
Materials with built-in sensors enable early issue detection.
- **Tailored properties**
Advanced design allows materials to meet specific load and performance needs.
- **Greater environmental resistance**
Better protection against moisture, salinity, UV and temperature changes.



22

Deep-tech materials: Nanomaterials in boatbuilding

Mechanical Properties	High strength-to-weight ratio, fracture resistance, fatigue life enhancement
Surface Functions	Corrosion resistance, anti-fouling, UV protection, self-cleaning
Thermal/Optical Properties	UV blocking, heat dissipation, thermal insulation
Applications in Yachts	Nano-reinforced hulls, anti-fouling coatings, nanostructured UV-protective finishes, advanced sensor systems, nanocoatings on mechanical parts
Emerging Uses	Smart coatings, nanogenerators, lightweight energy storage (batteries, supercapacitors)



23

Deep-tech materials: Metamaterials in boatbuilding

Material Classification	Advanced Engineered Materials (subset of functional materials)
Division into Groups	• Mechanical Metamaterials – optimized for strength, flexibility, etc. • Acoustic Metamaterials – control of sound waves; • Thermal Metamaterials – manipulation of heat flow; • Electromagnetic Metamaterials – control of EM/radar waves; • Optical Metamaterials – light wave control (cloaking, lenses)
Mechanical Properties	• High strength-to-weight ratio • Auxetic behavior (negative Poisson's ratio) • High stiffness or controlled deformability • Energy absorption • Tunable elasticity and density depending on geometry
Application Cases	• Yacht hulls: lightweight, impact-resistant structures • Noise insulation: cabins with acoustic metamaterials • Radar stealth: reduced detectability of military vessels • Thermal management: optimized interior climate control • Hydrodynamic coatings: drag reduction, anti-biofouling • Energy harvesting: from wave or vibration-induced deformation
Material Classification	Advanced Engineered Materials (subset of functional materials)



24

Deep-tech materials: Quantum materials in boatbuilding

Material Classification	Topological insulators, Weyl and Dirac semimetals, Mott insulators, heavy fermion systems, unconventional superconductors, spin liquids
Division into Groups	Grouped by dominant quantum effects: • Topological states • Strong electronic correlations • Quantum spin and entanglement phenomena • Generally brittle and sensitive to defects
Mechanical Properties	• Low ductility and mechanical strength • Not suitable for structural or load-bearing use • Often require encapsulation or substrate stabilization
Application Cases	• Quantum sensors (e.g. NV centers) for environmental monitoring or inertial navigation • Superconductors for high-efficiency energy subsystems in electrified propulsion • Thermoelectric quantum materials for onboard waste heat recovery



25

Deep-tech materials: Advanced polymers and composites in boatbuilding

Material Classification	Polymer composites are a composition of at least two materials: 1. Polymer plastics, the resin 2. Organic and / or inorganic fibre reinforcements
Division into Groups	- Resins / Matrixes / Plastics / Glue: - Thermosets / Thermosetting polymer (e.g. Epoxy, Polyester) - Thermoplastics (e.g. Acrylics) - Fibre reinforcements: - Inorganic - Mineral (e.g. Volcanic, Basalt, Glass) - Organic: Plant fibres (e.g. Flax, Hemp, Bamboo) / Synthetic fibres (e.g. Carbon, Aramid)
Mechanical Properties	- Lightweight - High-strength, High-stiffness - Versatility in application and in design - Low manufacturing costs
Application Cases	Hull and deck structure, Inner hull, Shower trays, Interior arrangement



18

Deep-tech materials: Bio-inspired and smart materials in boatbuilding

Material Classification	Bio-inspired (functionally nature-derived) / Smart (stimuli-responsive)
Division into Groups	Bio-inspired by surface (e.g., lotus, sharkskin), structure (e.g., fibres, cuticle), or function
Mechanical Properties	Varying: often not load-bearing; some materials offer vibration damping, wear and impact resistance
Limitations	Durability, lack of certification, limited structural applications, scalability
Application Cases	Anti-fouling coatings, composites, sensor-embedded laminates, self-healing coatings



19

Deep-tech materials: Energy and sustainability materials in boatbuilding

Material Classification	Recycled PET cores, bio-based epoxy resins, recyclable thermoplastic resins, recycled carbon fibers
Division into Groups	- Core materials: recycled PET foams for sandwich structures - Resin systems: bio-based and recyclable thermoplastics - Reinforcements: reclaimed fibers used in composites
Mechanical Properties	- Good structural stiffness and insulation (PET core) - Low viscosity and infusion compatibility (resins) - Recyclable or reusable through thermal recovery (thermoplastics) - Comparable strength to virgin carbon fiber (recycled fibers)
Application Cases	- Use of PET cores in hull and deck sandwich panels - Infusion of structures with recyclable or bio-based resins - Non-critical components made from recycled carbon fibers - Integration in energy-optimized yachts with solar, hybrid, or biofuel systems



20

Deep-tech materials: High-value added metals materials in boatbuilding

Material Classification	Aluminium alloys : aluminium-magnesium alloys and aluminium-magnesium-silicon alloys; graphene added alloys (experimental)
Division into Groups	- Aluminium alloys - Wrought alloys - Strain hardening - Age hardening - Casting alloys - Silicon alloys - Magnesium alloys - Graphene added alloys (still experimental)
Mechanical Properties	- Good corrosion resistance - High weldability - Easy to cut and form - Good strength/weight ratio
Application Cases	Hull, Frame, Pillars, Propeller



21

References

1. ZwickRoell. *Tensile testing of fiber-reinforced composites (ISO 527-4, ISO 527-5)*.
<https://www.zwickroell.com/industries/composites/iso-527-4-iso-527-5-tensile-testing-of-fiber-reinforced-composites/>
2. ZwickRoell. *Compression testing (ASTM D6641, ISO 14126)*.
<https://www.zwickroell.com/industries/composites/combined-loading-compression-iso-14126-astm-d6641/>
3. ZwickRoell. *Flexure testing of composite materials*.
<https://www.zwickroell.com/industries/materials-testing/flexure-test/>
4. ZwickRoell. *Interlaminar shear strength (ILSS)*.
<https://www.zwickroell.com/industries/composites/interlaminar-shear-strength-ilss/>
5. Intertek. *Shear Testing (ASTM D3518)*.
<https://www.intertek.com/shear-testing/astm-3518/>
6. ZwickRoell. *Impact testing and CAI – Compression After Impact*.
<https://www.zwickroell.com/industries/composites/compression-after-impact-cai/>
7. ASTM. *ASTM D3479/D3479M-19: Tension-Tension Fatigue of Polymer Matrix Composites*.
https://store.astm.org/d3479_d3479m-19.html
8. ASTM. *ASTM D570-22: Water Absorption of Plastics*.
<https://store.astm.org/d0570-22.html>
9. ASTM. *ASTM B117-19: Salt Spray (Fog) Testing*.
<https://store.astm.org/b0117-19.html>
10. Measurlabs. *IMO FTP Code Part 2 – Smoke Toxicity Testing*.
<https://measurlabs.com/products/imo-2010-ftp-part-2-smoke-toxicity/>

23

References

11. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley.
12. Subramanian, S. M. (2020). *Mechanical Properties of Materials: Definition, Testing and Application*. International Journal of Modern Studies in Mechanical Engineering. 6, 28-38. 10.20431/2454-9711.0602003.
13. <https://testbook.com/physics/properties-of-materials> - last access 04/07/25
14. <https://apcomposites.com.au/materials-science/materials-engineering/material-properties/> - last access 04/07/25
15. Colliat, J.B., Ibrahimbegovic, A., & Davenne, L. (2005). Saint-Venant multi-surface plasticity model in stain space and in stress resultants
16. Static Failure Mode Prediction Models – Mechanically Fastened Joints, TUDelft Presentation.
17. Analysis and design of boats - Failure modes and criteria of composite materials. Tsouvalis, N., NTUA Presentation.
18. <https://construo.io/tags/compression> - last access 04/07/25
19. <https://web.mat.eduijthomas/classes/2211/lessons/failure/bending/index.html> - last access 04/07/25
20. <https://inspectionengineering.com/tag/fatigue#:~:text=Fatigue%20is%20a%20failure%20mechanism,duet%20to%20the%20tensile%20component> - last access 04/07/25
21. He Zhu, Yu Hu, Rui Ma, Juan Wang, Qingbin Li. (2021) Concrete thermal failure criteria, test method, and mechanism: A review
22. <http://users.uoi.gr/nbarkoul/%c5%e9%f3%e1%e3%f9%e3%de%20%f3%f4%e7%ed%20%e5%10%e9%f3%f4%de%ec%e7%20%f4%f6%ed%20%f5%eb%e9%ea%fe%ed%20%f3%f4%e7%ed%20%f4%f9%ed%20%e5%eb%e9%ea%fe%ed.pdf> - last access 04/07/25

24



