

# HySkills

## UMSETZUNG

## HANDBUCH



### Details zum Projekt

Akronym des Projekts: HySkills  
Name des Projekts: HySkills  
Projekt-Code: 2020-1-UK01-KA202-079170

### Informationen zum Dokument

Name der Dokumenten-ID: HYSKILLS\_IMPLEMENTATION\_HANDBOOK\_IO3\_2023-08-25  
Titel des Dokuments: HySkills-Implementierungshandbuch  
Ausgangstyp: Intellektueller Output 3  
Datum der Lieferung: 25. August 2023  
Art der Tätigkeit: Trainer-Handbuch  
Leiter der Aktivität: DCU  
Verbreitungsgrad: Öffentlich

### Dokument Geschichte

Versionen	Datum	Änderungen	Art der Änderung	Geliefert von
Version 1.0	06/03/2023	Ursprüngliches Dokument	-	DCU
Version 2.0	21/06/2023	Vollständiger Entwurf des Dokuments	Beiträge der Partner	DCU
Version 2.1	25/08/2023	Endgültige Fassung	Kleinere Aktualisierungen	DCU

### Haftungsausschluss

Die Unterstützung der Europäischen Kommission für die Erstellung dieser Veröffentlichung stellt keine Billigung des Inhalts dar, der ausschließlich die Ansichten der Autoren widerspiegelt, und die Kommission kann nicht für eine etwaige Verwendung der darin enthaltenen Informationen verantwortlich gemacht werden.

Dieses Dokument ist Eigentum des HySkills-Konsortiums. Projektmaterial, das im Rahmen der Projektmanagement- und Implementierungsaktivitäten entwickelt wurde, darf ohne die vorherige schriftliche Zustimmung des HySkills-Konsortiums in keiner Form und mit keinen Mitteln kopiert oder verbreitet werden.

## Inhalt

1. Einführung.....	5
2. Das HySkills-Projekt.....	6
2.1. Überblick und Ziele .....	6
2.2. Projektpartner.....	7
2.3. Die HySkills-Umfrage.....	9
3. HySkills-Struktur.....	12
3.1. Übersicht der Module .....	12
3.2. Lernergebnisse .....	15
3.3. Voraussetzungen und Reihenfolge .....	18
4. Die Materialien .....	19
4.1. Grundlagen des Wasserstoffs .....	19
4.2. Sicherheit, Risiken, Normen und Regulierung von Wasserstoff .....	23
4.3. Wasserstoff-Hochdruck-Armaturen und -Verbindungen .....	26
4.4. Wasserstoffspeicherung .....	29
4.5. Betrieb und Wartung von Elektrolyseur- und Brennstoffzellensystemen.....	32
4.6. Transport und Lieferung von Wasserstoff .....	35
4.7. Wasserstoffverbrennung .....	38
4.8. Wasserstoffsensoren, -detektoren und -überwachung.....	41
5. Pädagogische Techniken .....	43
5.1. Pädagogische Ansätze.....	43
5.2. Meta-Fähigkeiten.....	45
5.3. T-förmige Fertigkeiten .....	47
6. Abschließende Überlegungen.....	48

## 1. Einführung

Das HySkills-Projekt bündelt das Wissen, die Erfahrung und die Innovation von fünf europäischen Partnern, um einen umfassenden Ausbildungskurs zu entwickeln, der sich an die zukünftigen Arbeitskräfte im Wasserstoffsektor richtet. Der modulare Kurs vermittelt den Lernenden Schlüsselkompetenzen und -kenntnisse auf EQR-Niveau 5, die es ihnen ermöglichen, wasserstoffbezogene Karrierewege einzuschlagen, während sie mit den entsprechenden technischen und sicherheitstechnischen Fähigkeiten ausgestattet sind.

Dieses Implementierungshandbuch ist Teil des "Train the Trainer"-Elements von HySkills, das Ausbilder in der beruflichen Bildung unterstützt und befähigt, die HySkills-Module erfolgreich zu vermitteln. Dieses Handbuch wird auch durch Ressourcen wie ein Erklärungsvideo unterstützt, das unter [hyskills.org](https://hyskills.org) zu finden ist.

Dieses Dokument enthält:

- Eine ausführliche Beschreibung des HySkills-Projekts und Informationen über die Projektpartner sowie die wichtigsten Ergebnisse der HySkills-Umfrage, die zur Bewertung der Qualifikationsanforderungen durchgeführt wurde;
- Eine Beschreibung des Aufbaus des Studiengangs, einschließlich der Module, ihrer Lernergebnisse sowie der vorgeschlagenen Reihenfolge und der erforderlichen Voraussetzungen;
- Ein Leitfaden durch die Materialien der einzelnen Module des HySkills-Programms;
- Ein Überblick über pädagogische Techniken, einschließlich Lehransätze und Metafähigkeiten, zur Unterstützung der Durchführung des Kurses.

Es ist wichtig zu betonen, dass dieses Dokument - und das "Train the Trainer"-Paket als Ganzes - nicht dazu gedacht sind, Vorschriften zu machen oder einzuschränken. Vielmehr handelt es sich bei diesen Ressourcen um unterstützende Materialien, die Lehrern und Ausbildern bei der Durchführung des HySkills-Programms helfen sollen, indem sie bewährte Verfahren vorschlagen und als Leitfaden für den modularen Kurs dienen. Die genaue Methode der Durchführung der Module wird (und sollte) immer auf die lokalen und individuellen Bedürfnisse, die sprachlichen Aspekte und die verfügbaren Ressourcen zugeschnitten sein.

Wir hoffen, dass dieser Leitfaden für Sie als Lehrer, Ausbilder oder Kursleiter nützlich ist und dass der Inhalt dieses Handbuchs Ihnen dabei hilft, das HySkills-Programm den Lernenden auf effektive, dynamische und produktive Weise zu vermitteln.

## 2. Das HySkills-Projekt

### 2.1. Überblick und Ziele

Der Übergang zu einer Netto-Null-Kohlenstoff-Gesellschaft innerhalb der nächsten drei Jahrzehnte wird umfassende Anpassungen in Wirtschaft, Verhalten und Politik erfordern. Viele Arbeitnehmer werden den größten Teil ihrer beruflichen Laufbahn in diesem Übergangsprozess verbringen. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass sie mit den Fähigkeiten und Kenntnissen ausgestattet werden, die sie für die Herausforderungen benötigen, mit denen sie konfrontiert sein werden, und es ist zwingend erforderlich, einen allumfassenden langfristigen Ansatz zu entwickeln, um die Fähigkeiten zu vermitteln, die der Industrie und der Gesellschaft die Dekarbonisierung ermöglichen.

Grüner Wasserstoff, der derzeit von einer Vielzahl von Sektoren beachtet wird, ist ein sauberer Energievektor, der als zentral für das Ziel der Dekarbonisierung von Industrie und Wirtschaft angesehen wird. Der aufstrebende Sektor des grünen Wasserstoffs wird Arbeitskräfte benötigen, die über umfassende Kompetenzen verfügen und in der Lage sind, in diesem kritischen Sektor auf sichere und effiziente Weise zu arbeiten.

Das vom Erasmus+-Programm der Europäischen Union kofinanzierte Projekt **HySkills geht von der** Annahme aus, dass im aufstrebenden Wasserstoffsektor ein Qualifikationsdefizit besteht und daher ein Bedarf an entsprechend ausgebildeten Arbeitskräften besteht. Um diesem Bedarf gerecht zu werden, hat sich ein internationales Konsortium zusammengeschlossen und HySkills entwickelt - einen industriell relevanten, modularen Kurs für die berufliche Aus- und Weiterbildung (VET), der Lernende für den Wasserstoffsektor ausbilden soll. Die HySkills-Module konzentrieren sich auf die Grundlagen des Wasserstoffs und vermitteln technisches und praktisches Wissen sowie die wichtigen kritischen Sicherheitsaspekte des Wasserstoffs.

Das Projekt begann im Dezember 2020 und endete im September 2023. Es wurde von einem Konsortium aus 5 europäischen Partnern mit Expertise in den Bereichen Wasserstoff, Nachhaltigkeit und Bildung durchgeführt. Die wichtigsten Ergebnisse des Projekts sind:

- Eine Reihe von Lernergebnissen und Einheiten, die durch eine Umfrage bei Vertretern der Industrie und akademischen Einrichtungen ermittelt wurden;
- Ein modularer Open-Source-Kurs, der auf einer Bedarfsanalyse basiert und Ressourcen und Materialien enthält, die in 8 Module unterteilt sind;
- Ein "Train the Trainer"-Toolkit, das dieses Umsetzungshandbuch enthält.

## 2.2. Projektpartner



### Vereinigtes Königreich

Das South West College (SWC) ist eines der größten berufsbildenden und technischen Colleges im Vereinigten Königreich, das über 900 Mitarbeiter beschäftigt und 22.000 Vollzeit- und Teilzeitschüler betreut. Das College befindet sich in der westlichen Region Nordirlands in ländlicher Umgebung.

Der Lehrplan des Colleges reicht von Stufe 1 bis 7 und umfasst eine Reihe von Weiterbildungs-, Hochschul- und Ausbildungsprogrammen. Das South West College bietet ein breites Spektrum an modernen und industrierelevanten Lehrplänen, die in drei Fakultäten angeboten werden.

[www.swc.ac.uk](http://www.swc.ac.uk)



### Irland

Die Dublin City University (DCU) in Irland ist auf Bildung, Forschung und Nachhaltigkeit ausgerichtet. Die DCU hat den Auftrag, Leben und Gesellschaft zu verändern. Der Strategieplan der DCU hat das Lehrangebot für Studierende und Mitarbeiter erneuert.

Eine der wichtigsten Triebfedern der Universität ist die Notwendigkeit, die Studierenden auf das Arbeitsumfeld vorzubereiten, indem sie in multidisziplinären Teams arbeiten und Erfahrungen in der Praxis sammeln, um erfolgreich zu sein.

[www.dcu.ie](http://www.dcu.ie)



### Norwegen

Die UiT - The Arctic University of Norway ist die nördlichste Universität der Welt und liegt auf 70 Grad nördlicher Breite, umgeben von einigen der letzten unberührten Naturgebiete Europas. Die 1968 gegründete Universität ist eine moderne, breit gefächerte Hightech-Universität mit hervorragenden Studiengängen auf Bachelor-, Master- und PhD-Ebene in 8 Fakultäten.

Die UiT unterstützt die Entwicklung herausragender Forschung, sowohl Grundlagenforschung als auch angewandte Forschung, in allen Disziplinen, aber mit besonderem Schwerpunkt auf

interdisziplinärer Forschung, die sich auf die Bedürfnisse, Probleme und Möglichkeiten des Nordens konzentriert.

<https://en.uit.no/startside>



### **Griechenland**

Die Hellenic Society for the Promotion of Research and Development Methodologies (PROMEA) mit Sitz in Athen, Griechenland, ist eine gemeinnützige Vereinigung.

PROMEA hat sich zum Ziel gesetzt, gesellschaftliche Herausforderungen in den Bereichen Umschulung und Qualifizierung von Arbeitskräften, Ressourceneffizienz, Kreislaufwirtschaft, Qualitätsverbesserung im Bildungswesen, Inklusion und Chancengleichheit anzugehen.

[www.promea.gr](http://www.promea.gr)



### **Deutschland**

Das Europäische Institut für Innovation - Technologie ist eine eingetragene Organisation ohne Erwerbszweck. Eifi-Tech arbeitet an einer Vielzahl von Projekten, die technische Innovation mit wirtschaftlichem Einsatz verbinden. Das Eifi-Tech ist bekannt für seine Arbeit mit Innovation und Unternehmern und verkürzt die Verbindung mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft.

Darüber hinaus ist das Institut in den Bereichen angewandte Forschung, Durchführbarkeit, Erprobung, Entwicklung und Demonstration tätig, um letztlich den wirtschaftlichen Einsatz zu unterstützen.

[www.eifi.info](http://www.eifi.info)

### 2.3. Die HySkills-Umfrage

Anfang 2021 wurde ein Fragebogen an Unternehmens-/Industrievertreter und Bildungseinrichtungen in den fünf Ländern verschickt, um ihre Bedürfnisse mit den Inhalten und Materialien abzugleichen, die dann von HySkills erstellt werden sollten. Die Antworten wurden aufgezeichnet, und es wurden wertvolle Informationen über die Bedürfnisse des Arbeitsmarktes im Bereich des grünen Wasserstoffs gesammelt.

Innerhalb der untersuchten Stichprobe kann hervorgehoben werden, dass:

- **3 von 4** (75,0 %) Unternehmen haben (oder hatten in der Vergangenheit) wasserstoffbezogene Aktivitäten;
- **Fast die Hälfte** (46,4 %) arbeitet bereits mit Universitäten oder Ausbildungszentren im Bereich Wasserstoff zusammen;
- **Die überwiegende Mehrheit** (82,1 %) arbeitet bereits mit anderen Unternehmen auf dem Gebiet des Wasserstoffs zusammen;
- **Fast alle** (96,4 %) glauben, dass Wasserstoff und/oder Brennstoffzellen in naher Zukunft eine Marktchance darstellen werden.

Was die Ergebnisse betrifft, so zeigen die wichtigsten Ergebnisse, dass:

- **2 von 3** (64,3 %) der befragten Unternehmen gaben an, dass es schwierig ist, qualifizierte Fachkräfte zu finden;
- **4 von 5** (78,6 %) bestätigen, dass sie Arbeitnehmer für wasserstoffbezogene Tätigkeiten ausbilden müssen;
- Technische und rechtliche/Sicherheitsaspekte sind die wichtigsten Ausbildungsaspekte von Interesse (siehe Abbildung 1);
- Interne Schulungen und Kurzlehrgänge sind die bevorzugte Art der Ausbildung (siehe Abbildung 2).



Abbildung 1. Für Unternehmen, die Arbeitnehmer für Wasserstoffaktivitäten ausbilden müssen, sind vor allem diese Ausbildungsaspekte von Interesse.

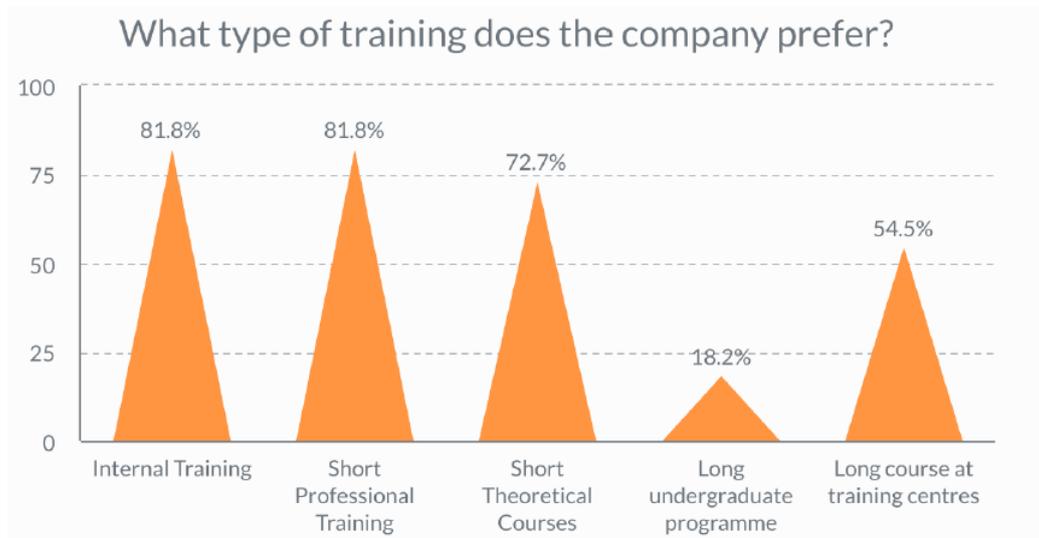


Abbildung 2. Bevorzugte Arten der Ausbildung für wasserstoffbezogene Tätigkeiten.

Der Fragebogen ermöglichte es den Befragten auch, die Berufe aufzulisten oder auszuwählen, für die die Unternehmen Aus- und Weiterbildungen bzw. Qualifizierungen anbieten wollen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt.

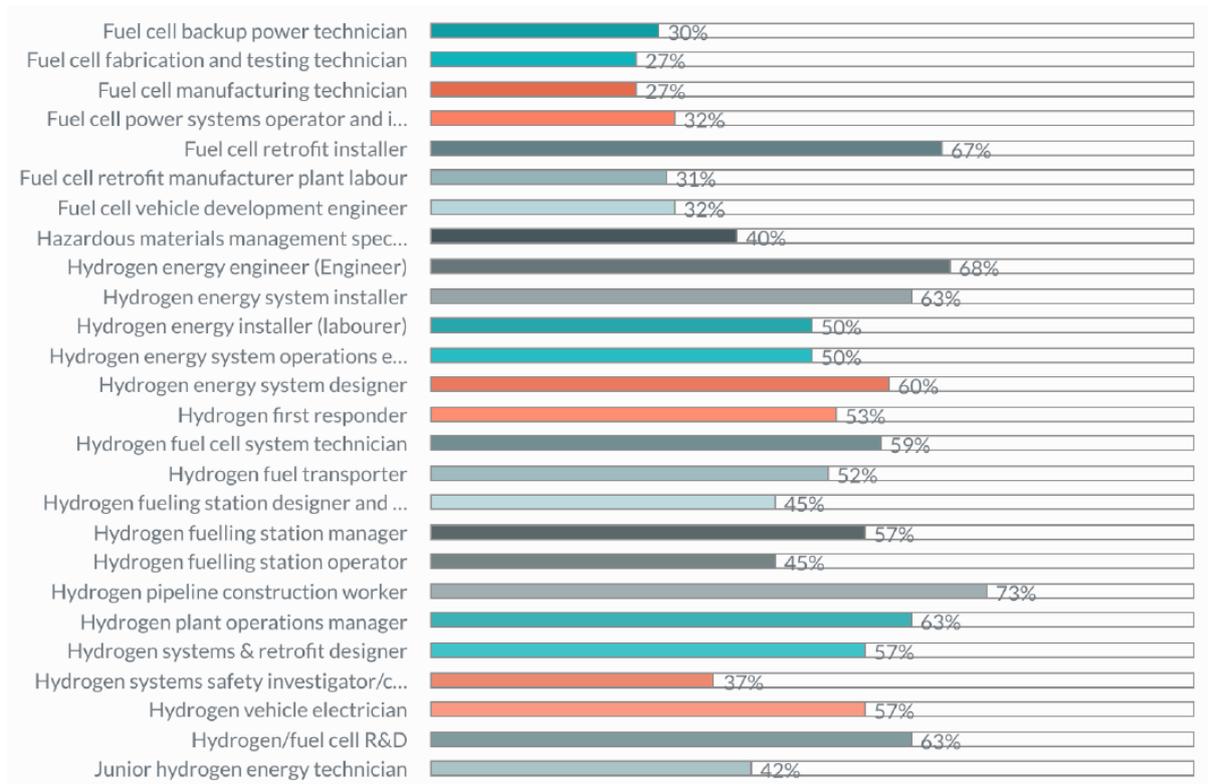


Abbildung 3. Arbeitsplätze, die Organisationen bereit sind, anzubieten.

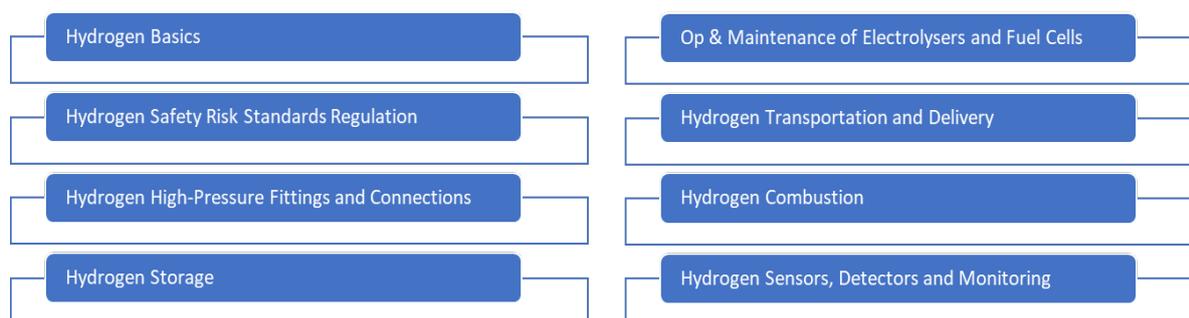
Die vollständigen Ergebnisse der Umfrage zur Bedarfsanalyse finden Sie weiter unten:

Zugang zum

## 3. HySkills-Struktur

### 3.1. Überblick über die Module

Der modulare HySkills-Kurs besteht aus acht Modulen bzw. Lerneinheiten, die sorgfältig ausgewählt wurden, um den Lernenden ein breites Spektrum an Fertigkeiten aus wesentlichen Wissensbereichen des Wasserstoffs zu vermitteln. Die Module werden in diesem Abschnitt kurz beschrieben.



#### Lerneinheit 1

##### **Grundlagen des Wasserstoffs**

Dieses Modul vermittelt den Lernenden grundlegende Kenntnisse und ein Verständnis der Eigenschaften und Merkmale von Wasserstoff und Wasserstofftechnologien sowie der potenziellen Aufgaben und Verwendungszwecke von Wasserstoff in der Industrie und im Energiesektor und zielt darauf ab, das Verständnis der Lernenden für die mit der Produktion und Verwendung dieses vielseitigen Gases verbundenen Möglichkeiten und Herausforderungen zu entwickeln. Das Modul wird den Lernenden eine solide Wissensbasis über Wasserstoff und Wasserstofftechnologien vermitteln, die es ihnen ermöglicht, die verschiedenen anderen Module des Programms zu absolvieren und so ihr Wissen in spezifischeren Bereichen zu vertiefen und zu erweitern.

#### Lerneinheit 2

##### **Sicherheit, Risiken, Normen und Regulierung von Wasserstoff**

Der Inhalt dieses Moduls soll die Lernenden in die Lage versetzen, sicher in einer Wasserstoffumgebung/an einem Arbeitsplatz zu arbeiten. Dieses Modul soll mit einer Vielzahl von Lern- und Lehrmethoden vermittelt werden, z. B. durch strukturierten Unterricht mit formativen und summativen Beurteilungen, zusätzlich zur praktischen Demonstration des sicheren Umgangs mit Wasserstoff, wo dies möglich ist. Dies wird dadurch untermauert, dass der Lernende Kenntnisse über die einschlägigen Rechtsvorschriften, Rollen/Verantwortlichkeiten und Anforderungen des Common Law bei der Auslegung der geltenden Rechtsvorschriften erwirbt.

### Lerneinheit 3

#### **Wasserstoff-Hochdruck-Armaturen und -Verbindungen**

Dieses Modul vermittelt Grundlagenwissen und praktische Erfahrungen, die es den Lernenden ermöglichen, die kritischen Sicherheitsfertigkeiten zu erlernen, zu entwickeln und zu üben, die für Wasserstoff-Hochdruckanschlüsse und -verbindungen erforderlich sind, einschließlich: Installation und Inspektion von Rohrverschraubungen, Installation von Mittel- und Hochdruckkonen und -gewinden sowie Auswahl von Schläuchen, Ventilen und Reglern, um das Risiko von Leckagen zu minimieren und die Systemintegrität zu gewährleisten.

### Lerneinheit 4

#### **Wasserstoffspeicher**

Dieses Modul befasst sich mit den verschiedenen Methoden, die für die Speicherung und den Transport von Wasserstoff zur Verfügung stehen, darunter die Hochdruck-Gaskompression, die Verflüssigung, die Metallhydridspeicherung und die Adsorption durch Kohlenstoff-Nanoröhrchen. Das Modul gibt einen Überblick über aktuelle Beispiele für die verschiedenen Lösungen und deren Einsatz und untersucht Fragen der Energieeffizienz und wirtschaftliche Aspekte sowie Umwelt- und Sicherheitsaspekte der verschiedenen Wasserstoffspeichertechnologien.

### Lerneinheit 5

#### **Betrieb und Wartung von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen**

Dieses Modul vermittelt ein grundlegendes Wissen und Verständnis für den Betrieb und die Wartung von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen in der Industrie und im Energiesektor und zielt darauf ab, das Verständnis der Lernenden für die Möglichkeiten und Herausforderungen zu entwickeln, die mit der Produktion und Nutzung dieses vielseitigen Gases verbunden sind.

### Lerneinheit 6

#### **Transport und Lieferung von Wasserstoff**

Das Modul ergänzt die anderen HySkills-Module, indem es den Lernenden die Möglichkeit gibt, die kritischen Sicherheitskompetenzen zu erlernen, zu entwickeln und zu üben, die für das Be-, Ver- und Entladen von Wasserstoff erforderlich sind, so dass künftige Arbeitnehmer die angestrebten Lernergebnisse des Programms erreichen und in den verschiedenen Aspekten des Wasserstoffsektors voll kompetent werden.

### Lerneinheit 7

#### **Wasserstoffverbrennung**

Dieses Modul zielt darauf ab, den Lernenden Wissen und Verständnis über die Verbrennung und Entflammbarkeit von Wasserstoff zu vermitteln und eine Kompetenz in Fragen der Wasserstoffverbrennung und Sicherheitstechnologien zu entwickeln. Das Modul ergänzt die anderen HySkills-Module, indem es den Lernenden Schlüsselwissen und praktisches Training zu Wasserstoffverbrennungssystemen vermittelt, so dass die zukünftigen Arbeitnehmer die angestrebten Lernergebnisse des Programms erreichen und in den verschiedenen Aspekten des Wasserstoffsektors voll kompetent werden können.

## Lerneinheit 8

### **Wasserstoffsensoren, -detektoren und -überwachung**

Das Modul ergänzt die anderen HySkills-Module, indem es den Lernenden die Möglichkeit gibt, die kritischen Sicherheitskompetenzen zu erlernen, zu entwickeln und zu üben, die für das Erfassen, Aufspüren und Überwachen von Wasserstoff erforderlich sind, so dass künftige Arbeitnehmer die angestrebten Lernergebnisse des Programms erreichen und in den verschiedenen Aspekten des Wasserstoffsektors voll kompetent werden.

## 3.2. Lernergebnisse

Jedes der HySkills-Module hat zwei bis fünf zentrale Lernergebnisse (LOs), die das Wissen, das Verständnis, die Fähigkeiten und die Werte beschreiben, die die Lernenden nach Abschluss der jeweiligen Lerneinheit nachweisen können sollten. Die Lernergebnisse der einzelnen Module des Programms werden in diesem Abschnitt beschrieben.

### LU1 - Grundlagen des Wasserstoffs

- Ergebnis 1: Erkennen der Bedeutung von Wasserstoff im Energiesektor als potenzieller sauberer Brennstoff im Zusammenhang mit der derzeitigen Energiewende.
- Ergebnis 2: Beschreiben Sie die chemischen Eigenschaften von Wasserstoffgas und die verschiedenen Verfahren zu seiner Herstellung, wobei Sie zwischen den Umweltauswirkungen unterscheiden können.
- Ergebnis 3: Ermittlung der Rolle von Wasserstoff bei der Stromerzeugung, der Energiespeicherung, der Heizung und im Verkehr.
- Ergebnis 4: Erörterung aktueller und künftiger Technologien für die Speicherung, Verteilung und Verbrennung von Wasserstoff.
- Ergebnis 5: Ermittlung von Anwendungen für Wasserstoff in der Industrie als chemischer und industrieller Rohstoff.

### LU2 - Wasserstoffsicherheit, Risiken, Normen und Regulierung

- Ergebnis 1: Nennen Sie die geltenden Gesundheits- und Sicherheitsvorschriften für Arbeitgeber und Arbeitnehmer.
- Ergebnis 2: Vorbereitung auf den Umgang mit Wasserstoffgas.
- Ergebnis 3: Durchführung einer Risikobewertung in einer bestimmten Wasserstoffumgebung.

### LU3 - Wasserstoff-Hochdruck-Armaturen und -Verbindungen

- Ergebnis 1: Verstehen der Kriterien für das Rohrleitungssystem und die Installation der Komponenten bis zur Betriebsbereitschaft des Systems.
- Ergebnis 2: Beschreibung der Wartungs- und Reparaturverfahren für Hochdruck-Wasserstoffanlagen in Bezug auf Inspektion, Erdungssysteme, Wartung und Aufzeichnungen.

### LU4 - Wasserstoffspeicherung

- Ergebnis 1: Verstehen der verschiedenen Methoden und Technologien zur Speicherung von Wasserstoff.
- Ergebnis 2: Verstehen der verschiedenen Methoden der Wasserstoffkompressionstechnologien.
- Ergebnis 3: Kenntnis der verschiedenen Methoden zur Speicherung von Wasserstoff in flüssiger und gasförmiger Form, in Hochdruck-Wasserstoffspeicherbehältern und Tieftemperaturflaschen sowie zur Speicherung von Wasserstoff in festem Zustand in Metallhydridspeichern und Kohlenstoffnanoröhren-Adsorption.

#### LU5 - Betrieb und Wartung von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen

- Ergebnis 1: Beschreiben Sie die grundlegenden Prinzipien von Elektrolyseur- und Brennstoffzellensystemen.
- Ergebnis 2: Beschreiben Sie die grundlegenden Merkmale von Brennstoffzellen und die Funktion ihrer Bestandteile.
- Ergebnis 3: Nennen Sie die relevanten Normen und Vorschriften für die Planung, Installation, Inbetriebnahme und Wartung von Elektrolyseur- und Brennstoffzellensystemen.

#### LU6 - Transport und Lieferung von Wasserstoff

- Ergebnis 1: Beschreiben Sie die Situationen, in denen eine Spülung von Wasserstoffsystemen erforderlich ist, und das richtige Verfahren für die Spülung.
- Ergebnis 2: Beschreiben Sie die grundlegenden Merkmale eines Wasserstoffgasnetzes und seiner Bestandteile.
- Ergebnis 3: Angabe der einschlägigen Normen und Vorschriften für die Inbetriebnahme, die Wartung und den Betrieb von Wasserstofftransport- und -versorgungssystemen.
- Ergebnis 4: Nachweis von Kompetenz bei der Lieferung von gasförmigem Wasserstoff an eine Wasserstoffspeicheranlage.
- Ergebnis 5: Nachweis von Kompetenz bei der Lieferung von Flüssigwasserstoff an eine Wasserstoffspeicheranlage.

#### LU7 - Wasserstoffverbrennung

- Ergebnis 1: Beschreiben Sie die Umwandlung von Wasserstoff in Endanwendungen mit Schwerpunkt auf der Wasserstoffverbrennung.
- Ergebnis 2: Untersuchung der Grundsätze von Wasserstoffverbrennungs- und Sicherheitstechnologien und -systemen.
- Ergebnis 3: Beschreiben und vergleichen Sie den Betrieb und die Wartung verschiedener Wasserstoffverbrennungstechnologien.

- Ergebnis 4: Nachweis der Einhaltung der Sicherheitsvorschriften und der für die Arbeit mit der Verbrennung von Wasserstoff erforderlichen Arbeitsplatzrichtlinien, Verfahren und Praktiken.

#### LU8 - Wasserstoffsensoren, -detektoren und -überwachung

- Ergebnis 1: Beschreibung der Technologien und Strategien, die bei der Erkennung von Wasserstoff eingesetzt werden.
- Ergebnis 2: Beschreiben Sie die Situationen, in denen der Nachweis von Wasserstoff erforderlich ist.

### 3.3. Voraussetzungen und Reihenfolge

HySkills soll Flexibilität bieten, und die Lernenden können wählen, ob sie den Kurs als Kurz- oder Langzeitkurs absolvieren möchten. Es wird jedoch empfohlen, dass die Lerneinheiten 1 (Wasserstoff-Grundlagen) und 2 (Wasserstoffsicherheit, Risiken, Normen und Vorschriften) eine obligatorische Voraussetzung für alle weiteren Module sind. Die übrigen sechs Lerneinheiten können daher je nach der gewünschten Qualifikation als Zusatzmodule belegt werden.

Abbildung 4 zeigt vorgeschlagene Sequenzen für verschiedene Zugangsvoraussetzungen, die beispielhafte Lernpfade mit Kern- und Wahlmodulen darstellen.

Prior to HySkills (Example entry requirements)	Module Name & Number								Post HySkills
	1 Hydrogen Basics	2 Hydrogen Safety Risk Standards Regulation	3 Hydrogen High-pressure fittings and connections	4 Hydrogen storage	5 Operation and Maintenance of Electrolyser and Fuel Cell Systems	6 Hydrogen transportation and delivery	7 Hydrogen Combustion	8 Hydrogen Sensors, Detectors and Monitoring	
Gas Safe Engineer	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Hydrogen Gas Safe Engineer
Tanker Driver	Green	Green	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Green	Hydrogen Tanker Driver
Fueling Station Manager/ Operator	Green	Green	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Green	HRS Manager/ Operator
ICE Mechanic	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Green	ICE Hydrogen Mechanic
Level 3 NVQ in Engineering or 2 A Levels	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Fuel Cell Service Technician
Level 3 NVQ in Engineering or 2 A Levels	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Electrolyser Service Technician

Abbildung 4. Vorgeschlagene Modulreihenfolge, mit Kernmodulen in grün und optionalen Modulen in gelb.

Für Studierende der Berufsbildung und für Lernende, die ihre Kenntnisse auffrischen wollen, sind ebenfalls Zugangsvoraussetzungen erforderlich:

- Einschlägige EQR-Stufe 4-Auszeichnung/Diplom oder ein GCE/GCSE-Abschluss oder ein gleichwertiges Niveau;
- Der Lernende muss zu Beginn des Kurses mindestens 18 Jahre alt sein;
- Ältere Lernende (über 21) mit Branchenerfahrung (individuell bewertet).

## 4. Die Materialien

Die vorgeschlagene Vermittlung der HySkills-Lerneinheiten ist in Blöcke unterteilt. Ein Block ist praktisch ein Inhaltspaket, das Materialien ähnlicher Art gruppiert, so dass sie nacheinander vermittelt werden können, während die Lernenden ihr Wissen und ihre Fähigkeiten aufbauen.

Die folgenden Unterabschnitte befassen sich mit den acht HySkills-Modulen und führen den Kursleiter durch die Materialien sowie die vorgeschlagenen Themen und Aktivitäten jeder Lerneinheit.

### 4.1. Grundlagen des Wasserstoffs

Der vorgeschlagene Ablauf der Lerneinheit "*Wasserstoff-Grundlagen*" ist in fünf Blöcke unterteilt. Es ist wichtig hervorzuheben, dass alle spezifischen Wasserstofftechnologien, die in anderen Modulen behandelt werden (z. B. Elektrolyseure, Brennstoffzellen und Wasserstoffverbrennung), in diesem Modul in einführender Form behandelt werden. Ziel ist es, den Lernenden ein Grundwissen über diese Technologien zu vermitteln, das dann in den einzelnen Modulen des Programms überprüft und vertieft wird.

Block	Zusammenfassung der Themen	Vorgeschlagene Bewertung
1	Der Klimanotstand und die Notwendigkeit von Veränderungen. Das Potenzial von Wasserstoff als Dekarbonisierungsmittel.	Quiz
2	Merkmale und Eigenschaften von Wasserstoffgas. Methoden und Farben der Wasserstoffproduktion.	
3	Power-to-Gas-Verfahren und Elektrolyseure. Rolle des Wasserstoffs bei Heizung und Verkehr.	Herstellung eines Elektrolyseur und Brennstoffzellen-Diagramm
4	Wasserstoffverdichtung, -speicherung, -verteilung und -rohrleitungen. Wasserstoffverbrennung und Brennstoffzellen.	
5	Derzeitige Verwendung von Wasserstoff in der petrochemischen Industrie. Andere Verwendungszwecke für Wasserstoff heute.	Fallstudie

#### Block 1

Der erste Block befasst sich mit dem aktuellen Klimanotstand und der weltweit bestehenden fossilen Energieinfrastruktur, wobei die Notwendigkeit eines Übergangs zu einem

nachhaltigeren Szenario hervorgehoben wird. Es wird ein Überblick über die wichtigsten Arten fossiler Brennstoffe (Öl, Kohle, Torf und Erdgas) gegeben und die Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen und den Klimawandel aufgezeigt. Es wird eine **Diskussion in der Klasse** empfohlen, um die Probleme mit fossilen Brennstoffen und die mit der derzeitigen fossilen Energieinfrastruktur verbundenen Probleme aufzuzeigen. Darüber hinaus werden in diesem Block die wichtigsten Arten von erneuerbaren Energien (z. B. Sonnen- und Windenergie) sowie deren ökologische und soziale Vorteile untersucht, wobei eine **Diskussion in der Klasse** empfohlen wird, um andere Arten der erneuerbaren Energieerzeugung zu identifizieren und zu beschreiben.

In Block 1 werden dann Wasserstoff und seine potenzielle Rolle bei der Energiewende als Energieträger, Energiespeicher und Dekarbonisierungsmittel vorgestellt. Es werden eine kurze Geschichte des Wasserstoffs sowie die Grundsätze einer "Wasserstoffwirtschaft" vorgestellt. **Es wird** eine **Diskussion in der Klasse** empfohlen, um zu ermitteln, welche Rolle Wasserstoff bei der dringend benötigten Energiewende spielen kann, und um die Stärken und Schwächen von Wasserstoff als Mittel zur Dekarbonisierung zu diskutieren. Als **Lektüre** für die Lernenden wird der Bericht des Weltenergieerates "Hydrogen on the Horizon: Ready, Almost Set, Go?" ist verfügbar unter: <https://bit.ly/3KG4Gca>.

## **Block 2**

Der zweite Block befasst sich mit den physikalischen und chemischen Eigenschaften von Wasserstoffgas sowie mit den wichtigsten Methoden der Wasserstofferzeugung (Methandampfreformierung, Kohlevergasung, Biomassevergasung und Wasserelektrolyse). Besonderes Augenmerk sollte auf der Wasserelektrolyse und ihrem Potenzial zur Erzeugung von Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen liegen. Darüber hinaus wird ein Überblick über die Farben des Wasserstoffs gegeben, wobei die Treibhausgasemissionen und die Umweltauswirkungen von Wasserstoff je nach Quelle sowie die Vorteile des grünen Wasserstoffs aufgezeigt werden.

Ein **CNBC-Video** mit dem Titel "What Is Green Hydrogen And Will It Power The Future?" ist verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=aYBGSfzaa4c>. Als **Lesetipp** ist auch der IRENA-Bericht "Decarbonising end-use sectors: Practical insights on green hydrogen" ist verfügbar unter: <https://bit.ly/3KwIGBE>.

## **Block 3**

Der dritte Block führt die Lernenden in die Problematik der Drosselung erneuerbarer Energien ein, wobei eine **Diskussion in der Klasse** empfohlen wird, um Möglichkeiten zur Speicherung (und anschließenden Nutzung) von überschüssigem Strom aus erneuerbaren Energien aufzuzeigen, der schließlich abgeregelt wird - Methoden wie herkömmliche Batterien und

Wasserkraftwerke sollten diskutiert und im Hinblick auf ihre Vor- und Nachteile bewertet werden. Der Block untersucht dann die potenzielle Rolle von Power-to-Gas-Systemen (PtG) in diesem Zusammenhang, mit Wasserstoff als Energiespeicherlösung. Eine weitere **Diskussion in der Klasse** wird empfohlen, um (vorläufig) zu ermitteln, wie und wo die Speicherung von Wasserstoff in großem Maßstab erfolgen kann, und es besteht die Möglichkeit, **Fallstudien** über bestehende und vorgeschlagene Power-to-Gas-Systeme in der ganzen Welt vorzustellen.

Da Elektrolyseure die Kernelemente von PtG-Systemen sind, bietet dieser Block auch eine Einführung in Elektrolyseure und ihre Hauptelemente und ergänzt damit das, was in Block 2 über Wasserelektrolyse behandelt wurde. Es wird ein **Laborexperiment** empfohlen, damit die Lernenden einen kleinen Elektrolyseur bedienen und seine Hauptbestandteile kennen lernen können - ein 64-W-Elektrolyseur, der vom Fuel Cell Store vertrieben wird, wird vorgeschlagen (<https://www.fuelcellstore.com/manuals/e206-e207-electrolyzer-65-230.pdf>). Der Kursleiter kann dieses Experiment jedoch auch mit jedem anderen verfügbaren Elektrolyseur durchführen. Wenn kein Elektrolyseur beschafft werden kann, können auch selbstgebaute Systeme, wie die in diesem **Video** (<https://youtu.be/d85OX6yEwE0>) gezeigten, ein hilfreiches Lernmittel sein.

Block 3 schließlich beleuchtet die Rolle von Wasserstoff in der Wärmeversorgung, sowohl in der Industrie als auch in Privathaushalten/Gewerbebetrieben, sowie die Rolle von Wasserstoff im Verkehr. Es wird eine **Diskussion in der Klasse** empfohlen, um die Eignung von Wasserstoff als Kraftstoff für den Leicht- und insbesondere den Schwerlastverkehr zu analysieren. Zusätzlich wird der kontroverse Artikel "Why Hydrogen Will Never Be The Future Of Electric Cars" von James Morris zur **Lektüre empfohlen**: <https://bit.ly/3SmpRC9>.

#### **Block 4**

Der vierte Block befasst sich mit der Logistik von Wasserstoff und gibt einen Überblick über die verschiedenen Methoden der Wasserstoffverdichtung, der oberirdischen und unterirdischen Speicherung sowie eine Einführung in die Wasserstoffverteilung und -leitung. Die EHB-Initiative (European Hydrogen Backbone) wird als **Fallstudie** für die Wasserstoffverteilungsinfrastruktur vorgestellt.

Block 4 bietet auch eine Einführung in die beiden wichtigsten Methoden der Umwandlung von Wasserstoff in Energie: Brennstoffzellen und Verbrennung. Für die erste Methode wird die Funktionsweise von Brennstoffzellen erklärt und mögliche Anwendungen werden erforscht. Es wird ein **Laborexperiment** empfohlen, damit die Lernenden eine kleine Brennstoffzelle betreiben und ihre Hauptbestandteile kennen lernen können - es wird ein 1-W-Brennstoffzellenstapel vorgeschlagen, der vom Fuel Cell Store kommerziell vertrieben wird (<https://www.fuelcellstore.com/manuals/f108-f109-f110-fuel-cell-stacks.pdf>), der

Kursanbieter kann dieses Experiment jedoch auch mit jeder anderen verfügbaren Brennstoffzelle durchführen. Bei der letztgenannten Methode werden die grundlegenden Prinzipien und Anwendungen der Wasserstoffverbrennung untersucht, und **es wird eine Diskussion in der Klasse** empfohlen, um die wichtigsten Unterschiede zwischen der Verwendung von Wasserstoff in Brennstoffzellen und bei der Verbrennung hervorzuheben sowie die Frage der NO<sub>x</sub>-Emissionen bei der Verbrennung von Wasserstoff zu erörtern.

Nachdem die wichtigsten Arten von Wasserstofftechnologien vorgestellt wurden, können die Lernenden einige von ihnen in diesem **3D-Modell** mit einem Elektrolyseur und einer Brennstoffzelle visualisieren: <https://hydrogencyclerig.netlify.app>.

## **Block 5**

Der fünfte Block befasst sich mit den derzeit üblichen Verwendungszwecken von Wasserstoff, die meist nichts mit erneuerbaren Energien oder Dekarbonisierung zu tun haben. Er beschreibt Prozesse in der Ölindustrie, bei denen Wasserstoff zum Einsatz kommt, sowie die Ammoniakproduktion, wobei hervorgehoben wird, dass diese Prozesse hauptsächlich grauen und blauen Wasserstoff verwenden. Es wird eine **Diskussion in der Klasse** empfohlen, um herauszufinden, wie das aktuelle Szenario von Wasserstoff in der petrochemischen Industrie nachhaltiger gestaltet werden könnte.

In Block 5 werden auch aktuelle Verwendungszwecke für Wasserstoff in anderen Industriezweigen genannt, z. B. Hydrierung, Halbleiterherstellung, Luft- und Raumfahrtanwendungen und die Verwendung von Wasserstoff als Kühlmittel in Kraftwerken. Das Kraftwerk Aguirre in Puerto Rico, das Wasserstoffspeicher gegen eine Elektrolyseanlage vor Ort ausgetauscht hat, ist eine sehr gute **Fallstudie** (<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=10539>).

In dieser Phase werden auch **Gastredner** vorgeschlagen - Vertreter der Industrie können den Kurs bereichern und ihm eine neue Perspektive verleihen, indem sie ihre Erfahrungen aus der Praxis weitergeben. Die Referenten können je nach Verfügbarkeit in verschiedenen Bereichen vom Kursleiter ausgewählt werden.

## 4.2. Sicherheit, Risiken, Normen und Regulierung von Wasserstoff

Die vorgeschlagene Durchführung der Lerneinheit "*Wasserstoffsicherheit, Risiken, Normen und Vorschriften*" ist in drei Blöcke unterteilt. Jeder Block sollte unter Verwendung einer Vielzahl von Lern- und Lehransätzen durchgeführt werden, wie z. B. strukturierte Lektionen mit formativen und summativen Beurteilungen, zusätzlich zur praktischen Demonstration des sicheren Umgangs mit Wasserstoff, sofern möglich. Unterstützende Materialien, insbesondere die interaktiven Aktivitäten, sollten bei der Durchführung der einzelnen Blöcke eingesetzt werden.

Block	Zusammenfassung der Themen	Vorgeschlagene Bewertung
1	Aktuelle Gesundheits- und Sicherheitsvorschriften für Arbeitgeber und Arbeitnehmer.	Quiz
2	Bereiten Sie sich auf den Umgang mit Wasserstoffgas vor.	Fallstudie
3	Durchführung einer Übung zur Risikobewertung in einer bestimmten Wasserstoffumgebung.	Schriftlicher Nachweis (Gruppenarbeit)

### Block 1

Block 1 gibt eine Einführung in die aktuelle Gesetzgebung zu Gesundheit und Sicherheit für Arbeitgeber und Arbeitnehmer. Die relevanten Normen sind in diesem Block aufgeführt. Das Wissen der Lernenden wird sich in einem Bewusstsein für die relevanten Normen niederschlagen. Ein kurzes **Quiz**, mit dem das Wissen der Lernenden getestet werden kann, kann zur Beurteilung verwendet werden.

Der Inhalt dieses Moduls soll die Lernenden in die Lage versetzen, in einer Wasserstoffumgebung/an einem Arbeitsplatz sicher zu arbeiten. Unterstützt wird dies durch **Lektüre und Videomaterial**, das den Lernenden Kenntnisse über die einschlägigen Rechtsvorschriften, Rollen/Verantwortlichkeiten und Anforderungen des Common Law bei der Auslegung der geltenden Rechtsvorschriften vermittelt (empfohlenes Video: <https://rb.gy/9tvs4>). Das Studium der **Gesetzgebung** sollte ein Bewusstsein für den Zweck und die Anwendung von EU-Rechtsakten zu Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz (EU) beinhalten, wie z. B. die Management of Health and Safety at Work Regulations 1999 (EU): <https://bit.ly/3r1nXgs>.

### Block 2

Dieser Block erfordert idealerweise eine Verknüpfung mit geschulten Fachleuten (z. B. der Feuerwehr) während einer **Schulung/Besichtigung** einer Wasserstoffproduktion **vor Ort**. Empfehlenswert ist auch eine **Diskussion im Unterricht**, um die verschiedenen Techniken für den Umgang mit Wasserstoff auszutauschen. Geeignete Werkzeuge, Materialien und Ausrüstungen sollten erklärt und besprochen werden, einschließlich der persönlichen Schutzausrüstung (PSA) für die Arbeit und der Tatsache, dass sie auf Sicherheit und korrekte Funktionstüchtigkeit in Übereinstimmung mit den Arbeitsverfahren und den einschlägigen Industrienormen überprüft werden sollten (empfohlenes Video: <https://rb.gy/qs2x6>).

Es sollte **Video- und Lesematerial** zur Verfügung gestellt werden, um zu demonstrieren, dass die Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen, die gesetzlichen Vorschriften, der Umgang mit Wasserstoff (insbesondere Gefahren) und die Arbeitsverfahren für einen bestimmten Arbeitsbereich ermittelt, beschafft und angewendet werden. Empfohlenes Video: <https://rb.gy/s1qqi>.

Darüber hinaus können die Lernenden Sicherheitspraktiken, Verfahren und Konformitätsstandards für den Umgang mit Wasserstoffgas in einer vom Zentrum entwickelten **Wasserstoff-Arbeitsumgebung** anwenden, um (als Beispiele) Folgendes abzudecken:

- Zugang zum Arbeitsbereich, Freigaben und Isolierungsgenehmigungen;
- Relevante Interessengruppen, einschließlich befugter Personen, Behörden und Kunden;
- Einschlägige Erklärungen zu sicheren Arbeitsmethoden und/oder Verfahren zur Risikominderung.

### **Block 3**

Der dritte Block konzentriert sich auf die Durchführung einer Risikobewertung in einer bestimmten Wasserstoffumgebung. Es wird empfohlen, einen erfahrenen **Gastredner** einzuladen, da einige Bewertungen des Verhältnisses zwischen Gefahr und Risiko sehr präzise sind und auf numerischen Zuweisungen von Werten beruhen, die aus detaillierten Überlegungen der Technik und anderer Disziplinen berechnet werden. Darüber hinaus müssen Schulungen und Anleitungen vor Ort in Übereinstimmung mit den gesetzlichen Bestimmungen und den Verfahren am Arbeitsplatz durchgeführt werden.

Daher ist es notwendig, dass die Lernenden einen Einblick in die Techniken zur Überprüfung von Werkzeugen, Materialien und Ausrüstung auf Sicherheit und korrekte Funktionalität erhalten. Außerdem werden **Video- und Lesematerial** sowie **eine Diskussion in der Klasse** vorgeschlagen, um diese zu identifizieren und sicherzustellen, dass eine Risikobewertung und eine Pro-Forma-Dokumentation entsprechend ausgefüllt wird. Darüber hinaus kann **Videomaterial** (z. B. <https://rb.gy/bc3am>) zur Verfügung gestellt werden, um eine **Fallstudie**

über die Dokumentation von Sicherheit und Gesundheitsschutz, einschließlich der Aufzeichnungen über Vorfälle und Wartungsarbeiten, zu unterstützen und sicherzustellen, dass diese in Übereinstimmung mit den gesetzlichen Vorschriften und den Verfahren am Arbeitsplatz erstellt werden.

Die Lernenden sollten in der Lage sein zu beschreiben, wie die Bauvorschriften anzuwenden sind, insbesondere die Vorschriften für Gassicherheit, Druckgeräte und technische Normen. Es wird empfohlen, eine **Diskussion in der Klasse zu führen**, um das Bewusstsein für die erforderlichen Maßnahmen zur Risikominimierung bei der Planung und Installation von Wasserstoffsystemen zu demonstrieren.

### 4.3. Wasserstoff-Hochdruck-Armaturen und -Verbindungen

Der vorgeschlagene Ablauf der Lerneinheit *Wasserstoff-Hochdruckarmaturen und -verbindungen* ist in vier Blöcke unterteilt.

Block	Zusammenfassung der Themen	Vorgeschlagene Bewertung
1	Fittings, Gewinde, Rohre und Rohrleitungssysteme.	Quiz
2	Ventile und andere für Rohrleitungssysteme erforderliche Komponenten.	
3	Wasserstoffinstallationstechniken, Materialauswahl und Rohrleitungscodes.	Präsentation oder Video (Aufzeichnung) von Wasserstoffinstallationstechniken, Auswahl des Materials bei der Besichtigung vor Ort
4	Wartungs- und Reparaturverfahren für Hochdruck-Wasserstoffanlagen in Bezug auf Inspektion, Erdungssysteme, Wartung und Aufzeichnungen.	Fallstudie zur Wartung und Inspektion bei einem Besuch vor Ort

#### Block 1

Der erste Block beginnt mit einer Einführung in die verschiedenen Arten von Fittings und in die Terminologie und Akronyme, die für das Verständnis von Rohrleitungen notwendig sind. Es wird ein Überblick über die wichtigsten Arten von Fittings gegeben, wobei der Schwerpunkt auf den Grundlagen von Fittings, Verbindungen und Gewinden liegt. Eine **Diskussion in der Klasse** über die verschiedenen Arten von Fittings und deren Funktionsprinzipien ist sehr empfehlenswert. Im Anschluss an diese Diskussion können **Videos**, wie das von *Piping Mantra* (<https://www.youtube.com/watch?v=p7yQsHgfnA>) zur Verfügung gestellte, als Lernmittel zur Beschreibung der verschiedenen Fittingtypen und ihres Funktionsprinzips genutzt werden.

Idealerweise sollte der Unterricht in einem Labor- oder Werkstattbereich stattfinden, in dem die Schüler physische Modelle verschiedener Fittings, Gewinderohre usw. sehen können. Wenn der Zugang zu bestimmten Arten von Armaturen nicht möglich ist, könnten Modelle oder 3D-gedruckte Versionen dieser Teile verwendet werden, um zu demonstrieren, wie sie funktionieren und arbeiten. Ein **Besuch vor Ort** wäre ebenfalls von Vorteil, sofern dies möglich ist.

Zusätzlich wird eine **Diskussion im Unterricht** über die Vor- und Nachteile der verschiedenen Armaturentypen empfohlen, bei der Gruppen von Lernenden die verschiedenen Rohrleitungskomponenten diskutieren und identifizieren können.

## **Block 2**

Im zweiten Block werden die Lernenden mit den verschiedenen Arten von Ventilen vertraut gemacht, wie sie funktionieren und wo sie eingebaut werden sollten. Es empfiehlt sich eine **Diskussion in der Klasse**, um die Vor- und Nachteile der einzelnen Typen zu ermitteln. Außerdem sollte auf bestimmte Sicherheitsmaßnahmen im Zusammenhang mit diesen Ventiltypen eingegangen werden, einschließlich ihrer Klassifizierung und Einschränkungen. Im Anschluss an diese Diskussion können **Videos gezeigt werden**, wie z. B.: <https://www.youtube.com/watch?v=1fAPXh9ddhA>, die als Lernmittel für die Beschreibung der verschiedenen Ventiltypen und ihrer Funktionsweise hilfreich sein können.

Idealerweise sollte der Unterricht in einem **Labor** oder einer **Werkstatt stattfinden**, wo die Schüler physische Modelle verschiedener Ventiltypen sehen können. Wenn der Zugang zu bestimmten Typen nicht möglich ist, könnten Modelle oder 3D-gedruckte Versionen dieser Teile verwendet werden, um zu demonstrieren, wie sie funktionieren und arbeiten. Ein **Besuch vor Ort** wäre ebenfalls von Vorteil, sofern dies möglich ist. Im Anschluss an den Besuch vor Ort kann auch eine **Fallstudie** über einen bestimmten Ventiltyp erstellt werden, um die Lesefähigkeit und das kritische Denken der Lernenden weiter zu verbessern.

Zusätzlich wird eine **Diskussion im Unterricht** über die Vor- und Nachteile der verschiedenen Armaturentypen empfohlen, bei der Gruppen von Lernenden die verschiedenen Rohrleitungskomponenten diskutieren und identifizieren können.

## **Block 3**

Der dritte Block befasst sich mit verschiedenen Techniken des Wasserstoffeinbaus sowie mit Fragen der Materialwahl und der Rohrleitungsvorschriften.

Eine **Diskussion in der Klasse** wird empfohlen, um die verschiedenen Techniken zu erläutern, die für Wasserstoffanlagen verwendet werden. Der Schwerpunkt sollte dabei auf der Ermittlung der Vor- und Nachteile der einzelnen Techniken und der verschiedenen Arten von Wasserstoffspeichern sowie deren Klassifizierung und Einschränkungen liegen.

Es wird dringend empfohlen, Anlagen zur Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff **vor Ort zu besichtigen**, um verschiedene Arten von Wasserstoffinstallationstechniken zu untersuchen und zu veranschaulichen. Außerdem wird eine **Diskussion in der Klasse** vorgeschlagen, um diese Techniken zu identifizieren und die Möglichkeit zu schaffen, **Fallstudien** über bestehende und vorgeschlagene Technologien von Wasserstoffinstallationstechniken in der ganzen Welt zu präsentieren.

#### **Block 4**

Der vierte Block befasst sich mit der Wartung, Reparatur und Inspektion von Wasserstoffanlagen. Eine **Diskussion in der Klasse** wird empfohlen, um die verschiedenen Methoden und Verfahren bei der Wartung von Wasserstoffanlagen zu untersuchen. Eine weitere **Diskussion in der Klasse** wird empfohlen, um die Inspektions- und Wartungsvorschriften für Wasserstoffanlagen zu untersuchen.

Es wird dringend empfohlen, Anlagen zur Wasserstofferzeugung und -speicherung zu **besichtigen**, um die in diesen Anlagen eingesetzten Wartungs- und Inspektionstechniken zu untersuchen und zu veranschaulichen. Außerdem wird eine **Diskussion in der Klasse** vorgeschlagen, um die in diesen Anlagen angewandten Wartungs- und Inspektionstechniken zu ermitteln und den Lernenden die Möglichkeit zu geben, ihr Verständnis für die angewandten Techniken und deren Verbesserung darzustellen.

#### 4.4. Wasserstoffspeicher

Der vorgeschlagene Ablauf der Lerneinheit *Wasserstoffspeicherung* ist in vier Blöcke unterteilt. Wasserstoffspeichertechnologien, die im Modul "*Wasserstoff-Grundlagen*" vorgestellt werden, werden nun vertieft und helfen den Lernenden, die Eigenschaften von Wasserstoff im Zusammenhang mit seiner Speicherung im Detail zu verstehen.

Block	Zusammenfassung der Themen	Vorgeschlagene Bewertung
1	Die Grundlagen der Eigenschaften von Wasserstoff in Bezug auf seine Speicherung.	Quiz
2	Die verschiedenen Methoden der Wasserstoffspeichertechnologien.	Fallstudie im Zusammenhang mit dem Besuch vor Ort
3	Nutzung und Anwendungen von Wasserstoffspeichern.	Präsentation oder Video (Aufnahme) über Anwendungen, die bei der Besichtigung vor Ort gesehen wurden
4	Leistung von Wasserstoffspeichern, Vorschriften, Normen und Standards.	Quiz

##### Block 1

Der erste Block beginnt mit der Ermittlung der Gründe für die Wasserstoffspeicherung. Eine **Diskussion in der Klasse** wird empfohlen, um die Gründe für die Speicherung von Wasserstoff und die damit verbundenen Schwierigkeiten hervorzuheben, indem diese mit den grundlegenden Eigenschaften von Wasserstoff, wie den thermophysikalischen und physiochemischen Eigenschaften, in Verbindung gebracht werden. Das Verständnis der Wasserstoffversprödung und ihrer Auswirkungen auf die Speicherung sollte im Detail besprochen werden, da es einige Schwierigkeiten und Herausforderungen bei der Speicherung erklärt. Darüber hinaus wird dringend empfohlen, **im Unterricht** Methoden zur Vermeidung von Wasserstoffversprödung bzw. zur Vorbeugung zu **erörtern**.

In Block 1 werden dann die Grundsätze der Wasserstoffkompressions- und -verflüssigungstechnologien vorgestellt, da dies die wichtigsten Methoden sind, die in der Vergangenheit für die Wasserstoffspeicherung verwendet wurden. Eine **Diskussion in der Klasse** wird empfohlen, um die Vor- und Nachteile der einzelnen Technologien für die Kompression und Verflüssigung zu ermitteln. Darüber hinaus sollte der Joule-Thomson-Effekt eingeführt und **diskutiert werden**.

## Block 2

Im zweiten Block werden die Lernenden in die drei wichtigsten Speichertechnologien für Wasserstoff eingeführt: komprimiertes Wasserstoffgas unter hohem Druck, flüssiger Wasserstoff bei kryogenen Temperaturen und Wasserstoffspeicherung in anderen Medien, einschließlich an der Oberfläche oder in festen und flüssigen Materialien. Es wird empfohlen, eine **Diskussion in der Klasse zu führen**, um die Vor- und Nachteile der einzelnen Technologien zur Wasserstoffspeicherung zu ermitteln. Der Schwerpunkt sollte dabei auf den verschiedenen Arten von Speicherbehältern sowie deren Klassifizierung und Einschränkungen liegen. Außerdem sollte ein Überblick über die Gesetze der idealen Gase gegeben werden, da dies zum Verständnis der Thermodynamik von Wasserstoff (der ein nahezu ideales Gas ist) beitragen kann. Als **Lektüreempfehlung** wird der Bericht "Hydrogen Storage: State-of-the-Art and Future Perspective" ist erhältlich unter: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC26493>, und "Hydrogen Storage Technologies" ist ein Buch von Mehmet Sankir und Nurdan Demirci Sankir (ISBN 978-1-119-45988-0).

Es wird dringend empfohlen, Anlagen zur Herstellung und Speicherung von Wasserstoff zu **besichtigen**, um einige der Methoden zur Wasserstoffspeicherung zu studieren und zu veranschaulichen. Außerdem wird eine **Diskussion in der Klasse** vorgeschlagen, um diese Methoden zu identifizieren und die Möglichkeit zu schaffen, **Fallstudien** über bestehende und vorgeschlagene Methoden der Wasserstoffspeicherung in der ganzen Welt zu präsentieren.

## Block 3

Der dritte Block befasst sich mit der Nutzung und den Anwendungen der Wasserstoffspeicherung, wobei der Schwerpunkt auf den Arten, Problemen und Prioritäten der Wasserstoffspeicherung in Fahrzeugen und stationären Anlagen liegt.

Eine **Diskussion in der Klasse** wird empfohlen, um die verschiedenen Technologien für die Speicherung von Wasserstoff in Fahrzeugen und stationären Anlagen zu erläutern. Der Schwerpunkt sollte auf der Identifizierung von Vor- und Nachteilen jeder verwendeten Technologie und der verschiedenen Arten von Wasserstoffspeichern sowie deren Klassifizierung und Einschränkungen liegen. Als **Lektüre wird der** in Block 2 erwähnte Bericht **empfohlen**.

**Besichtigungen** von Wasserstoffspeicheranlagen, einschließlich Wasserstofftankstellen für Fahrzeuge, werden dringend empfohlen, um einige der verschiedenen Technologien zu studieren und zu veranschaulichen, die in diesem Zusammenhang eingesetzt werden. Außerdem wird eine **Diskussion in der Klasse** vorgeschlagen, um diese Technologien zu identifizieren und die Möglichkeit zu schaffen, **Fallstudien** über bestehende und

vorgeschlagene Technologien zur Wasserstoffspeicherung in der ganzen Welt zu präsentieren.

Darüber hinaus kann ein **Modellierungsexperiment im Computerlabor** durchgeführt werden, bei dem die Lernenden die Größe und das Gewicht verschiedener Wasserstoffbehälter für unterschiedliche Fahrzeug- und stationäre Speichertechnologien berechnen können.

#### **Block 4**

Der vierte Block konzentriert sich auf das Verständnis der Leistung von Wasserstoffspeichern, Vorschriften, Normen und Standards, die in Europa und weltweit verwendet werden. Es wird eine **Diskussion in der Klasse** empfohlen, um die Leistungsparameter der Wasserstoffspeicherung, die Erwartungen und ihre Beziehung zu den spezifischen Eigenschaften des Speichersystems zu ermitteln. Der in Block 2 erwähnte Bericht des Institute of Energy ist auch hier eine wertvolle **Lektüreempfehlung**.

Es wird empfohlen, die technischen Ziele für Wasserstoffspeichersysteme **in einer Diskussion im Unterricht zu** erörtern: Kapazität, Kosten, Lade- und Entladeraten, Wasserstoffqualität, Anforderungen an Haltbarkeit und Betriebsfähigkeit sowie Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen. Auch die Vorschriften, Normen und Standards für die Wasserstoffspeicherung sollten eingehend erörtert werden. Eine weitere **Diskussion in der Klasse** wird vorgeschlagen, um die Gefahren in Wasserstoffspeicheranlagen zu untersuchen und die besten Sicherheitsrichtlinien zu diskutieren.

In dieser Phase werden auch **Gastredner** vorgeschlagen - Vertreter der Industrie können den Kurs bereichern und ihm eine neue Perspektive verleihen, indem sie ihre Erfahrungen aus der Praxis weitergeben. Die Referenten können je nach Verfügbarkeit in verschiedenen Bereichen vom Kursleiter ausgewählt werden.

#### 4.5. Betrieb und Wartung von Elektrolyseur- und Brennstoffzellensystemen

Die vorgeschlagene Durchführung der Lerneinheit "*Betrieb und Wartung von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen*" ist in drei Blöcke unterteilt. Jeder Block sollte unter Verwendung einer Vielzahl von Lern- und Lehransätzen, wie z. B. strukturierten Lektionen mit umfassenden Bewertungen, durchgeführt werden. Zusätzlich sollten die Komponenten und Merkmale von Elektrolyseur- und Brennstoffzellensystemen nach Möglichkeit praktisch demonstriert werden.

Block	Zusammenfassung der Themen	Vorgeschlagene Bewertung
1	Die Grundprinzipien der Elektrolyseur- und Brennstoffzellentechnologie-Systeme.	Präsentation oder Video (Aufzeichnung) nach dem Besuch vor Ort
2	Die grundlegenden Eigenschaften von Brennstoffzellen und die Funktion ihrer Bestandteile.	Quiz
3	Einschlägige Normen und Vorschriften für die Planung, Installation, Inbetriebnahme und Wartung von Elektrolyseur- und Brennstoffzellensystemen.	Schriftlicher Nachweis

##### Block 1

Es wird dringend empfohlen, Anlagen für Elektrolyseure und Brennstoffzellen zu **besichtigen**, um einige der in diesem Bereich eingesetzten Technologien zu studieren und zu veranschaulichen. Außerdem wird eine **Diskussion in der Klasse** vorgeschlagen, um diese Technologien zu identifizieren. Die Lernenden sollten in der Lage sein, Kenntnisse über die atomare Struktur von Wasserstoff und seine grundlegenden Eigenschaften nachzuweisen, insbesondere die Fähigkeit, sich mit anderen Atomen zu verbinden, sowie die Eigenschaften, farb- und geruchlos und leicht zu sein. Die Lernenden sollten in der Lage sein, ein Verständnis der grundlegenden elektrochemischen Reaktion in Wasserstoff-Brennstoffzellen einschließlich der Anoden-, Kathoden- und Nettoreaktionsformeln nachzuweisen.

Es wird eine **Diskussion in der Klasse** empfohlen, um das Verständnis der Funktionsprinzipien von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen sowie das Wissen über Wasserstoff als Energieträger, den Bedarf an Brennstoffnachschub und die Beschaffung von Wasserstoffbrennstoff aus der Elektrolyse zu fördern. Die Lernenden sollten auch die Anwendungen von Elektrolyseur- und Brennstoffzellensystemen und deren Einsatz in der Stromerzeugung, der Notstromversorgung und im Transportwesen verstehen und nachweisen können. **Empfohlenes Video:** <https://rb.gy/wj4xg>.

Die Lernenden sollten in der Lage sein, mindestens drei der folgenden Vorteile von Elektrolyseur- und Brennstoffzellensystemen klar zu benennen: Verringerung der Schadstoffemissionen, Einsatz von Brennstoffzellen in einer Vielzahl von Sektoren, Einsatz von Brennstoffzellen als Speicher für erneuerbare Energien, Fehlen von beweglichen Teilen und relative Effizienz von Brennstoffzellen. In einer **Diskussion in der Klasse** sollten die Lernenden in der Lage sein, ihr Wissen über die Hauptnachteile von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen zu demonstrieren, insbesondere ihre Kosten, Probleme mit der Wasserstoffeinschließung und die Haltbarkeit und Zuverlässigkeit einiger Systemtypen.

## Block 2

In Block 2 wird die Lage und Funktion der wichtigsten Komponenten einer Brennstoffzelle untersucht. Die Komponenten sollten identifiziert und in einem **Diagramm** verortet werden, einschließlich Anode, Kathode, Elektrolyt, Katalysator, Brennstoffzufuhr und -abfuhr sowie Stromkreis und Last. Das Wissen der Lernenden könnte mit einem kurzen **Quiz überprüft werden**. Die Lernenden sollten auch in der Lage sein, die Funktion jeder dieser Komponenten zu beschreiben und ihr Wissen über die Funktion des Brennstoffzellenprozessors, des Stacks und des Wechselrichters zu demonstrieren.

Es wird empfohlen, die grundlegenden Eigenschaften von Protonenaustauschmembran-Brennstoffzellen, insbesondere das Wasser- und Luftmanagement, das Temperaturmanagement, den elektrischen Leistungsbereich und die schnelle Inbetriebnahme dieser Art von Brennstoffzellen **in der Klasse** zu besprechen. **Empfohlene Videos:** <https://rb.gy/1ys6y> und <https://rb.gy/ycglh>.

## Block 3

Der dritte Block konzentriert sich auf die grundlegenden Planungsanforderungen und -verfahren für den Entwurf und die Installation von Systemen der Elektrolyseur- und Brennstoffzellentechnologie. Zu den Konstruktions- und Installationsfaktoren gehören der Standort von Elektrolyseur- und Brennstoffzellenanlagen, Wasserstoffbehälter und -leitungen, Lufteinlass- und -auslassöffnungen und deren Belüftungsanforderungen, Sicherheits- und Trennabstände sowie die Positionierung von Wasserstoffsensoren. **Besuche vor Ort** bei Wasserstoff-Elektrolyseuren und Brennstoffzellen (PEM wird empfohlen) werden dringend empfohlen, um die verschiedenen Arten von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen zu studieren und zu veranschaulichen. Außerdem werden eine **Diskussion in der Klasse** und **Videomaterial** (z. B. <https://rb.gy/hegqm>) empfohlen, um diese zu identifizieren. Zusätzliche **Lektüre** kann das Verständnis dafür fördern, wie die Bauvorschriften gelten, insbesondere die Vorschriften für Gassicherheit, Druckgeräte und technische Standards.

Zur Sensibilisierung für die erforderlichen Maßnahmen zur Risikominimierung bei der Auslegung und Installation von Brennstoffzellensystemen wird eine **Diskussion im Unterricht** empfohlen. Insbesondere sollten die folgenden Risiken ausführlich behandelt und Vermeidungsmaßnahmen beschrieben werden: Vermeidung von Feuer und Explosionen, Vermeidung von druckbedingten Gefahren, Vermeidung von thermischen Gefahren und Vermeidung von Stromschlägen (**empfohlenes Video**: <https://rb.gy/1epuq>). Die Lernenden sollten in der Lage sein, ein Verständnis für die Installation und Wartung von Elektrolyseur- und Brennstoffzellensystemen, die Bedeutung von Installations- und Inbetriebnahme-Checklisten sowie von Wartungs- und Instandhaltungsplänen nachzuweisen.

## 4.6. Transport und Lieferung von Wasserstoff

Der vorgeschlagene Ablauf der Lerneinheit "*Wasserstofftransport und -versorgung*" ist in fünf Blöcke unterteilt. In diesem Modul wird die Theorie zu den Transport- und Lieferoptionen von Wasserstoff erörtert. Darüber hinaus befasst sich dieses Modul mit den Arten von Kompressoren, die zur Komprimierung von Wasserstoff für den Transport verwendet werden, sowie mit den Materialeigenschaften von Wasserstoffpipelines.

Block	Zusammenfassung der Themen	Vorgeschlagene Bewertung
1	Einführung in den Wasserstofftransport. Transport und Lagerung.	Interaktives Element
2	Wasserstofftransportnetz. Rohrleitungsmaterialien und Wasserstoffverdichtung.	Fallstudie und Gruppenprojekt
3	Wasserstofftransport. Einschlägige Normen.	Quiz
4	Lieferung von gasförmigem Wasserstoff.	Bewertung vor Ort
5	Lieferung von flüssigem Wasserstoff.	Bewertung vor Ort

### Block 1

Zu den Themen von Block 1 gehören eine Einführung in den Wasserstofftransport und die Mittel und Formen, mit denen Wasserstoff transportiert werden kann. Dabei werden verschiedene Arten von Speichersystemen und die Sicherheitsaspekte von Wasserstoff im Vergleich zu anderen Brennstoffen wie Methan betrachtet. Es wird ein **Quiz** vorgeschlagen, um die Kenntnisse der Lernenden in Bezug auf diese Sicherheitsüberlegungen zu bewerten. Online-Lernwerkzeuge wie die Articulate Rise-Plattform könnten als **interaktives Element** eingesetzt werden, um einzelne Teile von Wasserstoffspeichersystemen wie in [diesem Beispiel](#) zu visualisieren.

### Block 2

In diesem Block werden zwei der Hauptbestandteile eines Gasnetzes betrachtet: Pipelines und Kompressoren. Einige **Literaturempfehlungen** zu den Gasnetzen finden Sie unter: <https://bit.ly/3Cwfl4e>.

Eine **klasseninterne Diskussion über** eine **Fallstudie** zur Durchführbarkeit der Umstellung von Gasnetzen auf Wasserstoff könnte in Form von Videos wie z. B. diesem stattfinden: <https://www.youtube.com/watch?v=dUKAMQ-c0Uc> und <https://www.youtube.com/watch?v=tP2L7k9Z9Ys>.

Zusätzliche **empfohlene Lektüre** unterstützt die Fallstudie weiter: [H21 Fallstudie](#) und eine herunterladbare PDF-Datei unter [diesem](#) Link. Die Lernenden könnten in einer **Gruppenarbeit** die Machbarkeit von Gasnetzen und -materialien unter Abwägung der Vor- und Nachteile, der Probleme und der öffentlichen Wahrnehmung untersuchen. Technische Überlegungen zu allgemeinen Rohrmaterialien finden Sie unter: <https://bit.ly/3Jddo06>.

In diesem Block werden auch einige Kompressortypen beschrieben, die für den Transport von Wasserstoffgas wichtig sind. Ein **interaktives Element**, das die Beschriftung der Kompressorkomponenten und/oder ein **Quiz** beinhaltet, könnte von den Lernenden genutzt werden, um ihr Wissen über die Kompressortypen zu bewerten.

### **Block 3**

Block 3 behandelt die Normen für die Inbetriebnahme, die Wartung und den Betrieb von Wasserstofftransport- und -versorgungssystemen. Die Lernenden werden die Bedeutung dieser Vorschriften und ihre Rolle bei der Gewährleistung von Sicherheit und Effizienz verstehen. Es kann ein kurzes **Quiz** erstellt und verwendet werden, um die Kenntnisse und die Anwendung der Normen zu bewerten. Diese Bewertung hilft den Ausbildern dabei, Schwachstellen im Verständnis der Lernenden zu erkennen. Block 3 stattet die Lernenden mit dem notwendigen Wissen aus, um zur Weiterentwicklung der Wasserstoffinfrastruktur beizutragen und gleichzeitig die Einhaltung der Industrienormen zu gewährleisten.

### **Block 4**

Block 4 erfordert eine enge Zusammenarbeit mit der örtlichen Industrie und qualifizierten Fachleuten, um die Kompetenz im Umgang mit gasförmigem Wasserstoff und dessen Transport gründlich zu bewerten. Zu diesem Zweck wird eine **Vor-Ort-Besichtigung/Schulung** organisiert, die eine direkte Einbeziehung und Beobachtung der einschlägigen Praktiken und Fachkenntnisse ermöglicht. Dieser praxisnahe Ansatz ermöglicht eine umfassende Bewertung der Prozesse, Standards und spezifischen Anforderungen, die das lokale Unternehmen erfüllt. Durch die Zusammenarbeit mit ausgebildeten Fachleuten in diesem Bereich können wir ihr Wissen und ihre Erfahrung nutzen, um die Auszubildenden der künftigen Wasserstoffindustrie zu informieren und zu fördern. Dadurch wird sichergestellt, dass das Modul effektiv auf die Bedürfnisse und Erwartungen der lokalen Bevölkerung abgestimmt ist.

### **Block 5**

Ähnlich wie in Block 4 wird auch in Block 5 die Zusammenarbeit mit der lokalen Industrie und geschulten Fachleuten erforderlich sein, um die Kompetenz im Umgang mit flüssigem Wasserstoff und dessen Transport gründlich zu bewerten. Zu diesem Zweck wird eine **Vor-Ort-Besichtigung/Schulung** organisiert, die eine direkte Einbeziehung und Beobachtung der einschlägigen Praktiken und Fachkenntnisse ermöglicht. Dieser praxisnahe Ansatz ermöglicht eine umfassende Bewertung der Prozesse, Standards und spezifischen Anforderungen, die das lokale Unternehmen erfüllt. Durch die Zusammenarbeit mit ausgebildeten Fachleuten in diesem Bereich können wir ihr Wissen und ihre Erfahrung nutzen, um die Auszubildenden der künftigen Wasserstoffindustrie zu informieren und zu fördern. Dadurch wird sichergestellt, dass das Modul effektiv auf die Bedürfnisse und Erwartungen der lokalen Bevölkerung abgestimmt ist.

## 4.7. Wasserstoffverbrennung

Der vorgeschlagene Aufbau der Lerneinheit *Wasserstoffverbrennung* ist in drei Blöcke unterteilt. Das Basiswissen über die Verbrennung aus Lerneinheit 1 (Grundlagen der Wasserstoffverbrennung) wird rekapituliert und erweitert, wobei die Wasserstoffverbrennungstechnologien nun eingehend untersucht werden.

Block	Zusammenfassung der Themen	Vorgeschlagene Bewertung
1	Einführung in die Verbrennung. Die Verbrennung von Wasserstoff.	Quiz
2	Entflammbarkeit und Sicherheitsaspekte von Wasserstoff. Management der Wasserstoffverbrennung.	Quiz
3	Wasserstoffbasierte Verbrennungsmotoren. Wasserstoff-Heizkessel.	Erstellung eines Schemas für einen Wasserstoffkessel

### Block 1

Im ersten Block werden die allgemeine Verbrennung, ihre wichtigsten Elemente und die Terminologie vorgestellt. Es werden die Unterschiede zwischen vollständiger und unvollständiger Verbrennung sowie die drei wichtigsten Verbrennungsarten (schnelle, spontane und explosive Verbrennung) behandelt. Eine **Diskussion in der Klasse** wird empfohlen, um Beispiele für die oben genannten Kategorien hervorzuheben.

Block 1 befasst sich dann mit der Verbrennung von Wasserstoff, wobei hervorgehoben wird, dass zwar keine Kohlenstoffemissionen entstehen, aber Stickoxide (NO<sub>x</sub>) emittiert werden und ein Problem darstellen, das es zu lösen gilt. **Es wird eine Diskussion in der Klasse** empfohlen, um die wichtigsten Unterschiede und Ähnlichkeiten zwischen Brennstoffzellensystemen (die in Lerneinheit 5 untersucht wurden) und Wasserstoffverbrennungssystemen hervorzuheben.

Abschließend wird ein Überblick über die Anwendungen der Wasserstoffverbrennung gegeben. Für Wasserstoffverbrennungsmotoren gibt es einen **Lesetipp** mit dem Titel "How hydrogen combustion engines can contribute to zero emissions" unter <https://mck.co/3ETPhBw>. Als Alternative zu fossilem Erdgas können mehrere **Fallstudien** untersucht werden, darunter das H21 Leeds City Gate Projekt (<https://h21.green/projects/h21-leeds-city-gate/>) und die HyDeploy Initiative (<https://hydeploy.co.uk>). Für Gasturbinenanwendungen **wird die Lektüre** von "Zero Emission

Hydrogen Turbine Center: Ein geschlossener Kreislauf der Energiezukunft" unter: <https://bit.ly/41MstO6>.

## Block 2

Der zweite Block befasst sich mit der Entflammbarkeit von Wasserstoff, insbesondere im Vergleich zu anderen gebräuchlichen Brennstoffen, sowie mit dem Branddiamanten des NFPA 704 für Wasserstoff. Die Besonderheiten und Sicherheitsaspekte der Wasserstoffflamme werden erörtert, und ein **Video**, das die Unterschiede zwischen einer Wasserstoffflamme und einer Propanflamme veranschaulicht, ist verfügbar unter: <https://youtu.be/r-8H5u4YzuY>. An dieser Stelle **wird** ein einfaches **Laborexperiment** empfohlen, damit sich die Lernenden eine Wasserstoffflamme vorstellen und sie mit der Flamme anderer gängiger Brennstoffe vergleichen können, wobei die relevanten Sicherheitsaspekte hervorgehoben werden.

In Block 2 werden auch die drei Schlüsselbereiche des Wasserstoffverbrennungsmanagements erläutert: Verhinderung, Erkennung und Unterdrückung (unerwünschter/unkontrollierter) Verbrennung, wobei hervorgehoben wird, dass Wasserstoff nicht mehr oder weniger gefährlich ist als andere brennbare Brennstoffe, aber besondere Sicherheitsaspekte aufweist. **Es wird** empfohlen, eine **Diskussion in der Klasse** über das Management der Wasserstoffverbrennung zu führen, wobei die Besonderheiten und allgemeinen Aspekte hervorgehoben und mit dem möglicherweise vorhandenen Wissen der Lernenden über die Verbrennung anderer Brennstoffe verglichen werden.

## Block 3

Der dritte Block konzentriert sich auf spezielle Wasserstoffverbrennungssysteme, wobei der erste Block Wasserstoffverbrennungsmotoren (ICEs) betrifft. Der Viertakt-Verbrennungszyklus wird erläutert, und die Vor- und Nachteile von Wasserstoff als Kraftstoff in diesem Zusammenhang werden vorgestellt. Eine nützliche Veröffentlichung von *H<sub>2</sub> tools* über Sicherheitsaspekte von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren ist eine **empfohlene Lektüre**, verfügbar unter: <https://bit.ly/3y7007Z>.

Block 3 befasst sich auch mit den Prinzipien und dem Betrieb von Wasserstoffheizkesseln, wobei Themen wie Kosten und Komplexität, Unterschiede zu herkömmlichen Methansystemen, Beispielprojekte und die vier grundlegenden Schritte des Betriebs von Wasserstoffheizkesseln behandelt werden. Ein **Video** (<https://youtu.be/241Ltw7B8ZA>) von Viessmann veranschaulicht die Funktionsweise solcher Systeme, und es wird empfohlen, die

zusätzlichen Komponenten eines Wasserstoffkessels sowie allgemeine Sicherheitsüberlegungen **im Unterricht zu besprechen**.

## 4.8. Wasserstoffsensoren, -detektoren und -überwachung

Der vorgeschlagene Inhalt der Lerneinheit *Wasserstoffsensoren, -detektoren und -überwachung* ist in drei Blöcke unterteilt. Sie befasst sich mit Sensoren, ihren Anforderungen/Spezifikationen und den verschiedenen Typen, die heute auf dem Markt sind. Das Modul befasst sich mit dem Standort, der Wartung und der Kalibrierung dieser Sensoren. Darüber hinaus geht das Modul auf die Bedeutung der Wasserstofferkennung ein und erläutert kurz die Eigenschaften von Wasserstoff, die für die Erkennung genutzt werden. Schließlich wird auch auf die Erkennung von Wasserstoffflammen und thermische Detektoren und Bildgebungssysteme eingegangen.

Block	Zusammenfassung der Themen	Vorgeschlagene Bewertung
1	Einführung in die Wasserstoffsensoren-Technologien zur Messung von Wasserstoff.	Quiz
2	Einführung in Wasserstoffsensoren und -detektion. Wartung, Prüfung und Kalibrierung.	Unterrichtseinführung/Quiz
3	Nachweis von Wasserstoff. Eigenschaften des Wasserstoffs und Bedeutung des Nachweises.	Entwurfsprojekt

### Block 1

Der erste Block befasst sich mit den derzeit verfügbaren Wasserstoffsensoren und bietet einen detaillierten Vergleich zwischen den verschiedenen Sensortypen (einschließlich elektrochemischer, Wärmeleitfähigkeits- und katalytischer Sensoren), ihren Eigenschaften sowie den für einen Wasserstoffsensoren erforderlichen Mess- und Leistungsspezifikationen.

Innerhalb dieses ersten Blocks können **Lesevorschläge** aus dem Sensorhandbuch verwendet werden, um einen vollständigen Überblick über das Material zu geben, und Quizfragen können verwendet werden, um das Wissen zu testen. Demonstrative **Laborexperimente** oder Lektionen mit echten Sensoren zur Analyse und zum Verständnis von Sensortypen können ebenfalls eingesetzt werden.

### Block 2

Block 2 befasst sich mit der Wartung und Prüfung von Wasserstoffdetektoren, einschließlich der Bedeutung der Kalibrierung. Dieser Block könnte eine **klasseninterne Diskussion** über die Notwendigkeit von Wartung und Kalibrierung sowie einen Vergleich mit anderen gebräuchlichen Sensortypen beinhalten. Empfehlenswert sind demonstrative

**Laborexperimente** zum Zerlegen und Beobachten von Detektoren und zur Analyse von sauberen und unsauberen Sensoren sowie der damit verbundenen Auswirkungen.

Demonstrative **Laborexperimente** könnten auch unter Verwendung eines Inertgases, z. B. Stickstoff, durchgeführt werden, um eine Kalibrierungskurve zu analysieren und die korrekte Reaktion des Sensors sicherzustellen, insbesondere bei der erforderlichen niedrigen Nachweisgrenze. Eine **Laborübung** mit Excel (<https://bit.ly/467cmfW>) kann durchgeführt werden, um Kalibrierungskurven zu erstellen und eine grafische Darstellung der Genauigkeit der verschiedenen Sensortypen, die in Block 1 besprochen wurden, zu ermöglichen.

### **Block 3**

Der dritte Block fasst die Eigenschaften von Wasserstoff im Hinblick auf seine Erkennung und zwei wichtige Aspekte der Erkennung zusammen: gasförmiger Wasserstoff und Wasserstoffflammen. Weitere Einzelheiten zu diesen Eigenschaften finden sich im zweiten Block des Moduls "*Grundlagen des Wasserstoffs*". Hier könnte ein **Quiz** über die Eigenschaften eingesetzt werden, um die Kenntnisse der Lernenden über die wichtigsten Eigenschaften zu testen.

Block 3 beinhaltet auch Überlegungen zu den Risiken von gasförmigen Wasserstofflecks, die sowohl ein Erstickungsrisiko als auch eine potenziell explosive Umgebung verursachen, sowie die Bedeutung der Sensorplatzierung und die Notwendigkeit einer Risikobewertung. Hier wird ein **Entwurfsprojekt** empfohlen, um das Wissen der Lernenden über die korrekte Platzierung von Sensoren zu bewerten, wobei weitere **vorgeschlagene Lektüre** aus dem Gas Detection Handbook (<https://bit.ly/4447ab7>) verwendet wird. Ein **interaktives Video/3D-Rendering** oder eine erweiterte bzw. virtuelle Realität könnte ebenfalls verwendet werden, um das Wissen der Lernenden zu testen, indem Szenarien bereitgestellt werden, in denen die Lernenden die Sensoren an die besten Stellen bringen können.

## 5. Pädagogische Techniken

Pädagogik bezieht sich auf die Methoden und Praktiken eines Lehrers. In der modernen Welt des Unterrichts müssen die Lehrkräfte die pädagogischen Techniken und Ansätze kennen, die den Lernprozess zusätzlich zur Verbesserung des Lernens durch Technologie fördern können.

In diesem Abschnitt werden die fünf pädagogischen Ansätze beschrieben, die in die Vermittlung der HySkills-Lerneinheiten integriert werden können, damit die Lernenden ihr volles Potenzial ausschöpfen können, sowie die Metafähigkeiten und T-förmigen Fähigkeiten, die bei den Lernenden während des gesamten Programms gefördert werden sollten.

### 5.1. Pädagogische Ansätze

- **Konstruktivismus**

Der konstruktivistische Unterricht basiert auf der konstruktivistischen Lerntheorie. Er basiert auf der Überzeugung, dass Lernen stattfindet, wenn die Lernenden aktiv in einen Prozess der Bedeutungs- und Wissenskonstruktion eingebunden sind, im Gegensatz zur passiven Aufnahme von Informationen. Die Lernenden sind die Schöpfer von Bedeutung und Wissen. Nach der Theorie des Konstruktivismus besteht die Rolle des Lehrers also darin, den Lernenden Möglichkeiten und Erfahrungen zum Lernen zu bieten.

Daher könnte man sagen, dass die Lehrkraft mehr zu einem Moderator werden sollte. Auf diese Weise werden die Lernenden zu aktiven Teilnehmern, wobei der Moderator den Lernenden ein Lernumfeld bietet, das ihr Denken unterstützt und herausfordert, und es gibt keinen besseren Weg, dies zu tun, als den Einsatz von Technologie. Die Moderatoren sollten darauf abzielen, den Lernenden die Verantwortung für ihren eigenen Lernprozess zu übertragen, damit sie zu effektiven Denkern werden. Während digitale Technologie das Lernen verbessern kann, kann auch das Gegenteil der Fall sein, wenn kein gut durchdachter pädagogischer Ansatz entwickelt und ausgewertet wird, daher ist Vorsicht geboten.

- **Der forschungsbasierte Ansatz**

Beim forschenden Lernen handelt es sich um aktives Lernen, das damit beginnt, dass ein Lehrer/Moderator Fragen, Probleme oder Szenarien aufwirft. Traditionell würde ein Lehrer einfach bewährte Fakten präsentieren oder demonstrieren. Diese Pädagogik eignet sich für MINT-Fächer und die höhere Bildung und Ausbildung, da sie problemorientiertes Lernen beinhaltet und im Allgemeinen in kleinen Untersuchungen und Projekten eingesetzt wird.

Die forschungsbasierte Pädagogik ist in erster Linie stark mit der Entwicklung und Einübung von Denkfähigkeiten verbunden. Als ein Beispiel für MINT kann die Einführung digitaler Technologien in die ingenieur- und naturwissenschaftliche Bildung den Prozess der wissenschaftlichen Untersuchung erheblich unterstützen. Gut strukturiertes forschendes Lernen sollte den Geist der Lernenden so lenken, dass Probleme sie dazu anregen, unabhängig oder gemeinsam nach Lösungen zu suchen. Im Gegensatz zum traditionellen Lernen, bei dem die Informationen den Lernenden einfach zur Verfügung gestellt werden, fördert das forschende Lernen den kritischen und analytischen Verstand der Lernenden, und die digitale Technologie ermöglicht es den Lernenden, die notwendigen Daten und Informationen selbständig zu erfassen.

- **Der reflexive Ansatz**

Reflektierter Unterricht ist ein regelmäßiger Prozess, bei dem die Lehrkräfte ihre Unterrichtspraktiken überdenken, indem sie analysieren, wie etwas gelehrt wurde und wie die Praxis verbessert werden könnte, um bessere Lernergebnisse zu erzielen, und indem sie gemeinsam überlegen, warum dies getan wird und wie gut die Lernenden lernen. Die Lehrkräfte nutzen die Reflexion, um einfach mehr über ihre eigene Praxis zu erfahren, um eine bestimmte Praxis zu verbessern, um das Lernen in der Gruppe oder individuell zu verbessern oder um sich auf ein Problem zu konzentrieren, das die Lernenden haben.

Der Einsatz digitaler Technologie unterstützt den reflexiven Ansatz. Die Lehrkräfte können Online-Foren nutzen, um den Unterricht der anderen unmittelbar zu reflektieren, da Technologie und Internet zu einem untrennbaren Bestandteil ihres täglichen Lebens geworden sind. Darüber hinaus können Lernende und Lehrkräfte über soziale Medien professionelle Gemeinschaften bilden, die das Unterrichten als Untersuchung modellieren und praktizieren können. Viele Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Kluft zwischen den Bedürfnissen der Lernenden und der Fähigkeit der Lehrkräfte, sinnvolle Lernmöglichkeiten zu schaffen, immer größer wird, wenn die Lehrkräfte nicht damit beginnen, Technologie in den Lehrplan einzubauen.

- **Der kooperative Ansatz**

Gemeinsames Lernen ist eine Situation, in der zwei oder mehr Personen gemeinsam etwas lernen oder versuchen zu lernen. Im Gegensatz zum eigenständigen Lernen nutzen die Lernenden beim kollaborativen Lernen die Ressourcen und Fähigkeiten der anderen, was sich heute auch auf die Nutzung der digitalen Technologie und aller Ressourcen des Internets erstreckt. Man könnte sagen, dass der traditionelle kollaborative Ansatz darin bestand, dass die Lernenden sich gegenseitig um Informationen baten, die Gedanken der anderen bewerteten, die Arbeit der anderen überprüften, usw. Jetzt enthält sogar das unabhängige Lernen ein Element des kollaborativen Ansatzes durch den Einsatz von

Videokonferenzplattformen und anderen digitalen Ressourcen, die den Lernenden zur Verfügung stehen.

Es ist ganz offensichtlich, dass sich die Rolle der Lehrenden und Lernenden verändert. Die Lehrkräfte müssen die Stärken der Technologie nutzen, indem sie den Lernenden die Möglichkeit geben, in ihrem eigenen Tempo zu lernen, und zwar in einem projektbasierten, gemeinschaftlichen Ansatz, der viele Vorteile mit sich bringt. Die Lernenden von heute erwarten Technologie als Teil ihrer Lernerfahrung mehr als die Generation ihrer Eltern. Alles, von sozialen Medien bis hin zu technologischen Spielen, Mobiltelefonen und Apps, ist ein großer Teil ihres Lebensstils. Die Lehrkräfte akzeptieren diese Abhängigkeit, um das gemeinsame Lernen durch digitale Formate zu fördern oder einen gemischten Ansatz anzubieten, je nachdem, welches Fach unterrichtet wird.

- **Der integrative Ansatz**

Integratives Lernen ist eine Lerntheorie, die eine Bewegung hin zu integriertem Unterricht beschreibt, der den Lernenden hilft, Verbindungen zwischen verschiedenen Lehrplänen herzustellen, was ein wesentlicher Bestandteil eines modernen Lehrplans ist. Dieses Konzept unterscheidet sich von dem der unteren Bildungsstufen, da es ein vorheriges Verständnis voraussetzt. Integrierte Untersuchungen bringen traditionell getrennte Fächer zusammen, so dass die Lernenden ein authentischeres Verständnis erlangen können. Dieser Ansatz ist sehr stark auf MINT ausgerichtet und wird durch den Einsatz digitaler Technologien verbessert, die viele der interdisziplinären Aspekte von MINT zum Leben erwecken.

Mehrere Studien haben gezeigt, dass interdisziplinäre Lehrpläne das Engagement der Lernenden fördern. Es hat sich gezeigt, dass die Integration von Technik/Wissenschaft mit dem Verstehen, z. B. durch das Schreiben von Berichten, das Verständnis der Lernenden sowohl in den Naturwissenschaften als auch in der englischen Sprache verbessert. Es ist wichtig anzumerken, dass Lehrkräfte, die digitale Technologien einführen wollen, sich gründlich mit der Funktionsweise der Tools vertraut machen und sicherstellen müssen, dass sie Lernsituationen sorgfältig konzipieren und bei der Umsetzung dieser Situationen - entweder physisch oder virtuell oder beides - auf Details achten. Es ist von entscheidender Bedeutung, den Lernenden nicht einfach nur Technologie zur Verfügung zu stellen, sondern mit ihnen zusammenzuarbeiten, um gemeinsame, differenzierte und situierte Lernpraktiken zu fördern.

## 5.2. Meta-Fähigkeiten

Für die Zukunft können wir eine Zunahme digitaler Technologien an allen Orten und in allen Arbeitsbereichen sowie eine kontinuierliche Zunahme neuer Möglichkeiten der Verbindung

zwischen Menschen und Geräten erwarten. Dies gilt insbesondere für den Energiesektor durch die Steuerung von Energiemanagementsystemen durch Technologien des industriellen Internets der Dinge (IIOT).

Dies wird es den Menschen ermöglichen, branchenübergreifend zusammenzuarbeiten und neue Marktchancen zu eröffnen. Folglich wird die Menge der erzeugten Daten immens sein, und die Menschen müssen Fähigkeiten entwickeln, um diese Komplexität zu bewältigen. Die Beschäftigten im Bereich grüner Wasserstoff werden lernen müssen, mit diesen Technologien umzugehen. Neben den technischen Fähigkeiten, die erforderlich sind, um in diesem neuen Energieumfeld erfolgreich zu sein, müssen die Menschen eine neue, übergreifende Reihe von Fähigkeiten entwickeln, die in der grünen Wasserstoffindustrie angewandt werden können und die allgemein als "Metafähigkeiten" bezeichnet werden.

Zu den Metafähigkeiten gehören: Konzentrationsfähigkeit und Prioritätensetzung, Integrität und Selbstbewusstsein, Anpassungsfähigkeit und Belastbarkeit, kognitive Flexibilität, Eigeninitiative und Unternehmertum, Zeitmanagement, Verantwortungsbewusstsein, Einfühlungsvermögen (emotionale Intelligenz), Kommunikation, Zusammenarbeit und Koordination, Führung und Mitarbeiterführung, Verhandlungsführung und Überzeugungskraft, Dienstleistungsorientierung, Neugierde und Kreativität. Eine umfassende Liste findet sich in Tabelle x.

Tabelle x. Überblick über die Metafähigkeiten.

Fähigkeit, sich zu konzentrieren und Prioritäten zu setzen	Einfühlungsvermögen (emotionale Intelligenz)	Neugierde und Kreativität
Integrität und Selbsterkenntnis	Dienstleistungsorientierung	Lernen-zu-Lernen
Anpassungsfähigkeit, Widerstandsfähigkeit und Ausdauer	Kommunikation und Geschichtenerzählen	Kritisches Denken und Sinnstiftung
Kognitive Flexibilität	Zusammenarbeit und Koordinierung	Lösung von Problemen
Eigeninitiative und Unternehmertum	Führung und Personalmanagement	Urteilsvermögen oder die Fähigkeit, Zusammenhänge zu erkennen
Zeitmanagement	Verhandlung	Entscheidungsfindung
Verantwortung	Überredung	Recherchieren (einschließlich effektiver Befragungen)
Wirkung haben und Sinn haben	Prototyping und Iteration	Schmerztabletten
Ko-Kreation	Laterales Denken	

Metafähigkeiten sind am effektivsten, wenn sie am Arbeitsplatz gelernt und entwickelt werden. Meta-Fähigkeiten könnten zum Beispiel durch Fallstudien oder durch reale Aufgabenstellungen in Unternehmen erlernt werden. Dies bietet den Anbietern von beruflicher Aus- und Weiterbildung die Möglichkeit, enger mit den Unternehmen zusammenzuarbeiten und sie dazu anzuregen, am Arbeitsplatz innovativ zu sein, so dass dies ein optimaler Ort für die Entwicklung von Fertigkeiten ist, z. B. durch die Förderung von Praktiken wie Offenheit für neue Ideen oder selbständiges Arbeiten.

HySkills zielt darauf ab, dass die Lernenden anpassungsfähige und übertragbare Metafähigkeiten als Teil des Programms erwerben, wobei die Metafähigkeiten durch die Vermittlung von Inhalten oder durch die Bewertung erreicht werden. Die Kursanbieter werden nachdrücklich ermutigt, sicherzustellen, dass die relevanten Metafähigkeiten in die Vermittlung der HySkills-Module eingestreut und gemessen werden.

### 5.3. T-förmige Fertigkeiten

T-förmige Fähigkeiten sind eine Methode zur Beschreibung spezifischer Fähigkeiten und Attribute wünschenswerter Arbeitskräfte - dies gilt insbesondere für Technologiebranchen wie die im grünen Wasserstoffsektor erforderlichen Fähigkeiten. Die Beschreibung lautet so: Der vertikale Balken des "T" bezieht sich auf Fachwissen und Erfahrung in einem bestimmten Berufsfeld; dies kann als Kompetenz in einer technischen Disziplin angesehen werden. Der obere Teil des "T" bezieht sich auf die Fähigkeit, mit Experten anderer Disziplinen zu kommunizieren, zusammenzuarbeiten oder zu kooperieren, und auf die Bereitschaft, das aus dieser Zusammenarbeit gewonnene Wissen zu nutzen; dies kann als notwendige Metafähigkeit angesehen werden.

Es wird davon ausgegangen, dass eine T-förmige Person über fundierte Kenntnisse/Fähigkeiten in einem technischen Beruf/Berufsfeld und eine breite Basis an allgemeinen Kenntnissen/Fähigkeiten verfügt. Dies wurde bei der Entwicklung der HySkills-Lehrpläne ausgiebig berücksichtigt, da Metafähigkeiten die Arbeitskräfte in die Lage versetzen, mit zukünftigen technologischen Unsicherheiten umzugehen, insbesondere mit dem multidisziplinären Charakter der Dekarbonisierung.

## 6. Abschließende Überlegungen

Dieses Umsetzungshandbuch stellt das HySkills-Projekt, seine Ergebnisse, die entwickelten Lerneinheiten und die vorgeschlagenen pädagogischen Ansätze für Ausbildung und Unterricht vor. Insgesamt stellt es einen Leitfaden für die Projektmaterialien dar, die nun für Lehrer, Ausbilder, Kursgestalter, Studenten und jeden, der sie nutzen möchte, zur Verfügung stehen.

Es ist wichtig, noch einmal zu betonen, dass dieses Dokument keine Vorschriften enthält. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, werden in diesem Handbuch zwar Lehransätze, Materialien und Methoden vorgeschlagen, doch soll die Durchführung des Programms letztendlich von den Zentren selbst entwickelt und an die lokalen Bedürfnisse und Umstände angepasst werden. Faktoren wie die Verfügbarkeit von Ressourcen, geografische Gegebenheiten und spezifische Bedürfnisse werden das tatsächliche Format und den Inhalt jeder Lerneinheit in der Praxis bestimmen, während dieses Dokument und andere Projektmaterialien als Leitfaden und Ressourcen betrachtet werden sollten, die verändert, angepasst und ausgebaut werden können.

Darüber hinaus ist jede Einrichtung, die eine Akkreditierung für das Programm wünscht, willkommen, dies zu tun. Der Kurs wurde von den Projektpartnern in keinem Land akkreditiert, da dies über den Rahmen des Projekts hinausgeht und nie als Ergebnis vorgesehen war. Daher steht es denjenigen, die sich um eine Akkreditierung durch eine Vergabestelle bemühen möchten, frei, dies zu tun.

Das HySkills-Team bedankt sich für Ihr Interesse an dem Projekt und freut sich über Ihre Fragen und Ihr Feedback. Dies kann auf der Projektwebsite (<https://hyskills.org>) geschehen, wo Sie auch alle Projektmaterialien und -inhalte zum Herunterladen finden. Wir hoffen, dass die HySkills-Ergebnisse für Ihren Schulungsbedarf nützlich sind und dass sie eine wichtige Ressource für die Entwicklung grüner Kompetenzen für eine sachkundige und qualifizierte Wasserstoffbelegschaft darstellen.

