

# Abschlussbericht zum Projekt

„Echt Kreislaufwirtschaft: Zirkuläre Wertschöpfungsstrukturen ganzheitlich verstehen“

gefördert durch



Deutsche  
Bundesstiftung Umwelt

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

**DBU-Aktenzeichen:** Projekt 40002/01

**Projektbeginn:** 01.01.2025

**Projektende:** 31.12.2025

**Berichtszeitraum:** 01.01.2025 bis 31.12.2025

**Verfasserinnen und Verfasser:**

Prof. Dr.-Ing. Gernot Schullerus

Prof. Dr.-Ing. Anja Braun

Nada Ruzicic

Sethulakshmi Sivasankaran

Reutlingen, 31.03.2026



**Hochschule Reutlingen**  
Reutlingen University



## Inhalt

Inhalt .....	2
Bildverzeichnis.....	2
Abkürzungsverzeichnis .....	2
Zusammenfassung.....	3
Einleitung: Ausgangssituation und Zielsetzung.....	4
Arbeitsschritte und Methoden.....	4
Ergebnisse und Diskussion .....	7
Öffentlichkeitsarbeit.....	11
Fazit .....	12
Literatur.....	12

## Bildverzeichnis

Abbildung 1: Varianten der Gleichrichterbaugruppe. Quelle: Projektteam Echt Kreislaufwirtschaft. ....	6
Abbildung 2: Versuchsaufbau zum Test der entwickelten Baugruppen .....	7
Abbildung 3: Lehrvideo zu den 3 Varianten der Gleichrichterbaugruppe .....	8
Abbildung 4: Bezug der “Echt Kreislaufwirtschaft” Unterrichtsmodul zum NwT-Lehrplan.....	9

## Abkürzungsverzeichnis

<b>DBR</b>	Design Based Research. Der Ansatz beschreibt die iterative Entwicklung, Erprobung und Weiterentwicklung von Lehr Lern Arrangements in realen Lernumgebungen.
<b>NwT</b>	Unterrichtsfach Naturwissenschaft und Technik an Gymnasien in Baden-Württemberg.
<b>NIT</b>	geplantes Unterrichtsfach Naturwissenschaft, Informatik und Technik an Gymnasien in Baden-Württemberg.
<b>SMT</b>	Surface Mounted Technology. Der Begriff bezeichnet eine Technik zur Montage von Bauelementen auf einer Leiterplatte.
<b>THT</b>	Through Hole Technology. Der Begriff bezeichnet eine weitere Technik zur Montage von Bauelementen auf einer Leiterplatte.
<b>SIA</b>	Schüler Ingenieur Akademie. Das Format dient der Schule Hochschule Kooperation zur Förderung von MINT Kompetenzen.



## Zusammenfassung

Im DBU-geförderten Vorhaben „Echt Kreislaufwirtschaft: Zirkuläre Wertschöpfungsstrukturen ganzheitlich verstehen“ wurde ein schulisches Bildungsmodul entwickelt, das Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe ein fundiertes und praxisnahes Verständnis der Kreislaufwirtschaft vermittelt. Eine zentrale Leitidee des Projekts ist, dass die Kreislauffähigkeit eines Produkts bereits in der Produktentwicklung festgelegt wird und nicht erst am Ende des Lebenszyklus‘ beginnt.

Als durchgängiges Produktbeispiel dient ein an einen Fahrradnabendynamo anschließbares Ladegerät für ein Smartphone. Hierzu wurden mehrere, hinsichtlich ihrer Kreislauffähigkeit bewusst unterschiedlich ausgelegte, Varianten konzipiert und als Hardwaredemonstratoren sowie als Bausatz umgesetzt. Auf dieser Grundlage entstanden modulare Unterrichtseinheiten, Experimente, Arbeitsaufträge und Reflexionsfragen, die sich am Bildungsplan des Fachs Naturwissenschaft und Technik orientieren und zugleich Transferbezüge zu weiteren Fächern ermöglichen.

Die Lehrinhalte wurden medientechnisch aufbereitet und in Pilotdurchläufen erprobt. Die im Antrag vorgesehene Einbindung in das Netzwerk letsgoING konnte nicht umgesetzt werden. Für die Evaluation und Verbreitung wurden daher nach alternativen Formaten und Kontakten gesucht. Diese sind vielversprechend, aus Zeitgründen liegen aber noch keine konkreten Ergebnisse vor.



## Einleitung: Ausgangssituation und Zielsetzung

Die fortschreitende Digitalisierung des Alltags führt zu einer steigenden Anzahl elektronischer Geräte. Damit wachsen sowohl der Rohstoffbedarf als auch die Menge an Elektroaltgeräten. Die Kreislaufwirtschaft setzt an dieser Herausforderung an, indem sie den Ressourcenverbrauch senkt und Abfälle vermeidet. Eine wirksame Umsetzung erfordert jedoch nicht nur geeignete Recyclingstrukturen, sondern insbesondere Produkte, die von Beginn an für Wiederverwendung, Reparatur und hochwertiges Recycling gestaltet werden.

Für Entwickler von Produkten muss es daher selbstverständlich werden, Kreislauffähigkeit bereits im Design mitzudenken. Dazu muss der Gedanke möglichst früh im Bewusstsein vorhanden sein. Ein guter Zeitpunkt ist während der Schulzeit, wenn die zukünftigen Entwickler zum ersten Mal in Kontakt Technik kommen, also z.B. im NwT-Unterricht in Baden-Württemberg.

Das Projekt „Echt Kreislaufwirtschaft“ adressiert diese Lücke in der schulischen Bildung. Ziel war die Entwicklung eines modularen, projektbasierten Bildungsmoduls für den NwT-Unterricht an Gymnasien in Baden-Württemberg, das die Kreislaufwirtschaft als technisch, ökonomisch und gesellschaftlich vernetztes Konzept erlebbar macht [1;2]. Im Mittelpunkt steht der Entwicklungsprozess eines Produkts. Die Lernenden erfahren anhand konkreter Konstruktionsentscheidungen, wie stark sich Designvarianten auf Demontage, Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit und Lebensdauer auswirken.

Als Produktbeispiel wurde ein Ladegerät gewählt, das über einen Fahrradnabendynamo betrieben wird und ein Smartphone laden kann. Dieses Beispiel ermöglicht eine anschlussfähige Verbindung zu Inhalten aus Elektronik, Energieumwandlung und Nachhaltigkeitsbewertung. Ergänzend wurden Transferfragen für weitere Wissensbereiche der Kreislaufwirtschaft ausgearbeitet, beispielsweise für Wirtschaft, Geographie, Chemie und Mathematik.

Das Vorhaben leistet keinen unmittelbaren technischen Umweltschutzbeitrag. Es schafft jedoch Voraussetzungen für eine langfristige Umweltentlastung, indem es zirkuläres Denken, reflektiertes Konsumverhalten und ein Verständnis für technische Lösungsbeiträge zur Kreislaufwirtschaft in der Zielgruppe stärkt. Gleichzeitig adressiert das Projekt die Motivation für MINT-Fächer, die für die Transformation zu einer Kreislaufwirtschaft erforderlich sind.

## Arbeitsschritte und Methoden

Das Vorhaben wurde als Design Based Research (DBR) Projekt umgesetzt. Dieser Ansatz verbindet die systematische Entwicklung eines Lehr- und Lern-Arrangements mit dessen Erprobung in realen Lernumgebungen und einer iterativen Verbesserung auf Basis strukturierter Rückmeldungen. Die Umsetzung orientierte sich an den im Antrag beschriebenen Arbeitspaketen und Meilensteinen.

**Arbeitspaket 1** umfasste die Anforderungsdefinition für das Bildungsmodul sowie für das Produktbeispiel. Die fachlich didaktischen Anforderungen wurden aus dem Bildungsplan NwT (vgl. Abbildung 6) sowie aus etablierten Kompetenzmodellen für Bildung für nachhaltige Entwicklung abgeleitet. Technische



Anforderungen wurden entlang zentraler R-Strategien der Kreislaufwirtschaft operationalisiert. Für das vorliegende Projekt wurden die Strategien *REPAIR*, *REUSE* ausgewählt, da diese in konkrete, im Unterricht beobachtbare Kriterien, nämlich Demontierbarkeit, Austauschbarkeit von Komponenten, Reparaturfähigkeit und Wiederverwendbarkeit, übersetzt werden können. Die eigentlich im Vorhaben fokussierten R-Strategien *RETHINK*, bzw. *REDUCE BY DESIGN* zielen darauf ab, die oben genannten Kriterien überhaupt erst im Entwurf zu berücksichtigen.

**Arbeitspaket 2** beinhaltet die Konzeption und Auslegung des Ladegeräts in bewusst unterschiedlichen Varianten der Kreislauffähigkeit. Entsprechend der Abbildung 1 sind die zwei wesentlichen Funktionen des Ladegeräts der Gleichrichter sowie ein Gleichspannungswandler zur Spannungsanpassung. Der Fokus im Vorhaben lag in der kreislauffähigen Entwicklung des Gleichrichters, da dieser in seiner Funktion und den verwendeten Komponenten besser an die Anforderungen des Lehrplans angepasst werden kann.

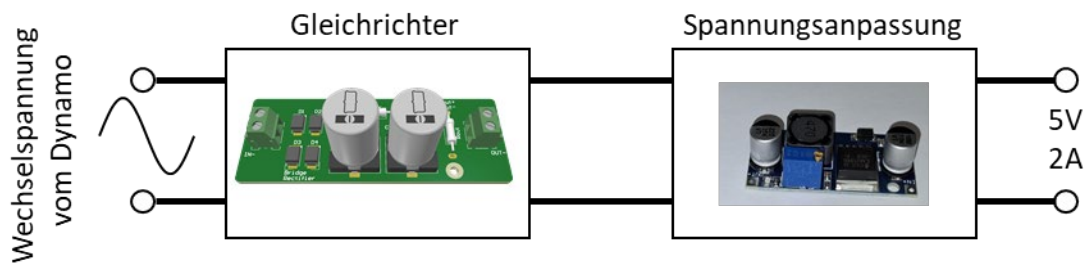


Abbildung 1: Blockschaltbild

Grundlage für den Entwurf war eine technische Auslegung. Diese umfasste die Planung der Anforderungen an Ströme und Spannungen der erforderlichen Baugruppen und den Abgleich mit am Markt verfügbaren Komponenten. Eingangsseitig legt der Nabendynamo die Spannungsbereiche fest während die aufgenommene Ladeleistung des Smartphones den Ausgangsstrom bestimmt.

Anhand des Schaltplans für den Gleichrichter wurde zur strukturierten Variantenbildung die morphologische Analyse eingesetzt. Es wurden die Kondensatorvarianten Folienkondensator und Elektrolytkondensator, bezogen auf die Aufbau- und Verbindungstechnik die *Surface Mount Technology (SMT)* bzw. die *Through Hole Technology (THT)*, die Verwendung von Baugruppenmodulen bzw. diskreten Bauelementen sowie die Art der Verbindung zwischen Baugruppen in einer Matrix wie in der Abbildung 2 dargestellt, betrachtet und bewertet.

	Kreislauffähigkeit hoch		Kreislauffähigkeit niedrig
Kondensatortyp	Folienkondensator (K=1,G=1,KF=2)		(K=1,G=2,KF=0) Elektrolytkondensator
Aufbau- und Verbindungstechnik	THT (K=1,G=0,KF=2)		(K=2,G=2,KF=1) SMT
Module   Diskret	Diskret (K=1,G=0,KF=2)		(K=2,G=2,KF=1) Module
Anschlusstechnik	Steckverbinder (K=1,G=1,KF=2)	Schraubklemmen (K=1,G=1,KF=1)	(K=2,G=2,KF=0) Gelötet

Abbildung 2: Morphologischer Kasten zur Bewertung der Varianten. Die Kürzel K, G, und KF bewerten jeweils die Kosten, den Beitrag zur Baugröße bzw. die Kreislauffähigkeit.

Auf dieser Basis wurden Varianten ausgewählt, konstruktiv ausgearbeitet und als Demonstratoren beziehungsweise als Bausatz umgesetzt. Die Abbildung 3 zeigt die drei unterschiedlichen Varianten nebst ihrer Bewertung.

Variante 1	Variante 2	Variante 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrolytkondensator</li> <li>• SMT</li> <li>• Gleichrichter als Modul</li> <li>• Gelötete Anschlüsse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Folienkondensator</li> <li>• Mischung: THT / SMT</li> <li>• Gleichrichter diskret</li> <li>• Schraubklemmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Folienkondensator</li> <li>• THT</li> <li>• Gleichrichter diskret</li> <li>• Kontaktstifte</li> </ul>
Kreislauffähigkeit ↓ Volumen ↓ Kosten ↓	Kreislauffähigkeit → Volumen → Kosten →	Kreislauffähigkeit ↑ Volumen ↑ Kosten ↑
		
LxBxH (mm): 45x20x19 Kosten: 17 €	LxBxH (mm): 72x26x26 Kosten: 22 €	LxBxH (mm): 113x46x43 Kosten: 55 €

Abbildung 3: Varianten der Gleichrichterbaugruppe. Quelle: Projektteam Echt Kreislaufwirtschaft.

**Arbeitspaket 3** fokussierte die didaktische Ausarbeitung des Lernmoduls und den Transfer zentraler Wissensbereiche der Kreislaufwirtschaft in den Unterricht. Die Unterrichtsstruktur wurde modular aufgebaut und so gestaltet, dass Lehrkräfte sie in unterschiedlichen Zeitbudgets einsetzen können. Die Lernaktivitäten wurden entlang kognitiver Anforderungsniveaus konzipiert und verbinden Instruktion, Konstruktion und Reflexion. Eine ausführlichere Darstellung erfolgt bei der Diskussion der Ergebnisse.

**Arbeitspaket 4** umfasste die medientechnische Aufbereitung. Es wurden eine Rahmengeschichte als Einstieg, digitale Lernbausteine sowie Materialien für die Durchführung, Dokumentation und Reflexion entwickelt. Damit wurde eine altersgerechte Ansprache unterstützt, ohne die technische Tiefe des Themas zu reduzieren. Eine ausführlichere Darstellung erfolgt bei der Diskussion der Ergebnisse.

Für das **Arbeitspaket 5** war ursprünglich die Erprobung und Evaluation des Bildungsmoduls geplant. Aufgrund des fehlenden Kontakts zum Netzwerk letsgoING konnte die geplante Evaluation nicht durchgeführt werden. Unterlagen wurden zwar von einzelnen Schülern bewertet; diese Beurteilung kann jedoch nicht als repräsentativ angesehen werden. Nichtsdestotrotz, wurden diese Aussagen berücksichtigt.

**Arbeitspaket 6** diente der Dokumentation, der Vorbereitung der Verstetigung sowie der Verbreitung der Projektergebnisse. Die Materialien wurden so dokumentiert, dass eine Nachnutzung und Anpassung an andere Lerngruppen und Schulformen möglich ist. Die im Antrag vorgesehene Kooperation mit dem Netzwerk letsgoING konnte nicht umgesetzt werden. Für den projektbegleitenden Austausch und die Ausrichtung auf schulische Bedarfe wurden daher alternative Kontakte und Formate genutzt, unter anderem der Austausch mit dem Institut für Erziehungswissenschaft an der Universität Stuttgart sowie Formate der Schule Hochschule Kooperation.

## Ergebnisse und Diskussion

Das Projektziel, ein praxistaugliches Bildungsmodul zur Kreislaufwirtschaft mit Fokus auf den Produktentwicklungsprozess zu entwickeln, wurde erreicht. Die Ergebnisse lassen sich in technische Artefakte, didaktische Materialien und Transferformate gliedern.

**Erstens** wurden für das Produktbeispiel mehrere Varianten des Ladegeräts ausgelegt, die zentrale Zielkonflikte der Kreislauffähigkeit sichtbar machen [3-6]. Diese sind in der Abbildung 3 als Darstellungen aus dem Entwurfswerkzeug abgebildet. Die Abbildung 4 zeigt die Baugruppen im Versuchsaufbau.

Bausätze für den Einsatz im Unterricht einschließlich der entsprechenden Anleitungen stehen zur Verfügung. Zudem wurde ein in der Abbildung 4 dargestellter Versuchsaufbau erstellt, mit dem die Funktionen der Baugruppen getestet werden können. Dieser Aufbau kann auch in den Schulen leicht nachgebaut werden, ist jedoch nicht Bestandteil der Unterrichtsmaterialien.

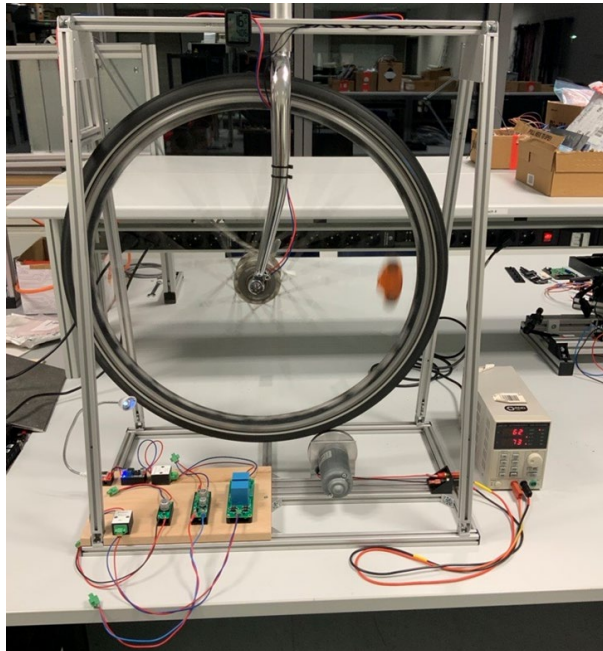


Abbildung 4: Versuchsaufbau zum Test der entwickelten Baugruppen

Wie in der Abbildung 4 dargestellt, wird dazu ein Vorderrad mit einem Nabendynamo in einer Gabel durch einen Motor angetrieben, um kontinuierlich eine gewählte Raddrehzahl und damit eine Ausgangsspannung des Dynamos zu erzeugen. Die Ausgangsspannung des Nabendynamos kann an die unterschiedlichen Baugruppenvarianten angeschlossen werden. Der Versuchsaufbau ist so gestaltet, dass das Umschalten schnell erfolgen kann. Über einen am Rahmen angebrachten Tachometer wird die Geschwindigkeit angezeigt.

Im Sinne der R-Strategien wurde für den Aufbau sowohl ein ehemaliger Versuchsaufbau aus dem Bestand der Projektleiter als auch ein Vorderrad mit Nabendynamo wieder- bzw. weiterverwendet.

Die Varianten ermöglichen den Vergleich von Designentscheidungen [7], beispielsweise im Spannungsfeld zwischen kompakter Bauweise und Reparaturfähigkeit. Neben der physischen Varianten wurde ein Video erarbeitet (vgl. Abbildung 5), das als zusätzliches Medium den Lernenden als weitere und wiederholbare Lernquelle zur Verfügung steht. Ein weiteres Video ist als Motivation für das Projekt gedacht.

## Einstiegsvideo Montage



Quelle: Eigene Produktion mit Unterstützung von KI (Canva)

6

Abbildung 5: Lehrvideo zu den 3 Varianten der Gleichrichterbaugruppe

Die Hardwareartefakte sind so gestaltet, dass Schülerinnen und Schüler wesentliche Funktionen verstehen, Komponenten identifizieren sowie Demontage und Reparaturszenarien nachvollziehen können. Für den Einsatz im Unterricht werden Bausätze zur Verfügung gestellt, die – nach Varianten sortiert – die erforderlichen Bauelemente und das Zubehör für den Aufbau der unterschiedlichen Varianten des Ladegeräts zur Verfügung stellen. Diese sind in der Abbildung 6 dargestellt.



Abbildung 6: Bausätze für die drei Varianten

**Zweitens** wurde ein modularer Unterrichtsablauf entwickelt, der Grundlagen der Kreislaufwirtschaft mit technischen Inhalten aus Elektronik und Energieumwandlung verbindet. Es wurde auf den Bezug zu den Inhalten des NwT-Lehrplans geachtet. Die Abbildung 7 veranschaulicht die Übereinstimmung des Unterrichtsablaufs mit den bestehenden NwT-Inhalten.

Die Schülerinnen und Schüler können	Die Schülerinnen und Schüler können
<b>interdisziplinär denken</b>	(1) die Funktion von Bauteilen elektrischer oder elektronischer Schaltungen beschreiben (Schalter, Widerstand, Leuchtdiode, Transistor)
1. Lösungsansätze für fachübergreifende <b>Problemstellungen entwickeln</b>	(2) <b>Schaltungen entwickeln, Bauteile dimensionieren und auswählen</b> (Schaltplan, Datenblatt, Vorwiderstand, Spannungsteiler)
2. das <b>Zusammenwirken naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und technischer Innovationen erläutern</b>	(3) elektrische oder elektronische Schaltpläne analysieren und in einfachen Fällen entwickeln
3. den <b>Zusammenhang zwischen Bedürfnissen des Menschen und naturwissenschaftlichen und technischen Entwicklungen erläutern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li> 2.1 Erkenntnisgewinnung und Forschen 2, 4, 15</li> <li> 2.3 Kommunikation und Organisation 1, 4</li> <li> 2.4 Bedeutung und Bewertung 1, 2, 3</li> <li> 3.2.1 Denk- und Arbeitsweisen in Naturwissenschaft und Technik: Systeme und Prozesse (5)</li> <li> 3.2.2.2 Energieversorgungssysteme (*) (4)</li> <li> 3.2.2.3 Bewegung und Fortbewegung (7)</li> <li> 3.2.3.3 Produktentwicklung (4)</li> <li> 3.2.3.4 Stoffströme und Verfahren (3)</li> <li> PH 3.2.2 Optik und Akustik (9)</li> <li> PH 3.2.5 Grundgrößen der Elektrizitätslehre</li> <li> BO Fachspezifische und handlungsorientierte Zugänge zur Arbeits- und Berufswelt; Planung und Gestaltung des Übergangs in Ausbildung, Studium und Beruf</li> <li> PG Sicherheit und Unfallschutz</li> </ul>
4. <b>naturwissenschaftlich - technische Problemstellungen vor dem Hintergrund gesellschaftlicher und ökologischer Wechselwirkungen analysieren</b>	
5. die <b>Folgen der Wechselwirkungen</b> eines technischen Systems mit Gesellschaft und Umwelt an einfachen Beispielen <b>abschätzen und bewerten</b>	
<b>Nutzen und Risiken abschätzen und bewerten</b>	(4) elektrische oder elektronische Schaltungen realisieren und ihre Funktionsfähigkeit untersuchen
6. <b>Material und Energie verantwortungsbewusst verwenden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li> 2.2 Entwicklung und Konstruktion 4, 7</li> <li> 2.3 Kommunikation und Organisation 4, 6, 8</li> <li> 2.4 Bedeutung und Bewertung 7, 8</li> <li> 3.2.2.2 Energieversorgungssysteme (*) (4)</li> <li> 3.2.2.3 Bewegung und Fortbewegung (7)</li> <li> 3.2.3.3 Produktentwicklung (1)</li> <li> 3.2.3.4 Stoffströme und Verfahren (3)</li> <li> PH 3.2.5 Grundgrößen der Elektrizitätslehre</li> <li> BO Fachspezifische und handlungsorientierte Zugänge zur Arbeits- und Berufswelt; Planung und Gestaltung des Übergangs in Ausbildung, Studium und Beruf</li> <li> PG Sicherheit und Unfallschutz</li> </ul>
7. <b>Qualität</b> von Untersuchungsergebnissen und Produkten <b>begründet einschätzen</b>	
8. Risiken beim praktischen Arbeiten erkennen und durch Sicherheitsvorkehrungen Gefährdungen vermeiden	
<b>Arbeits- und Berufsfelder beschreiben</b>	
9. Arbeitsfelder regionaler Firmen in Forschung, Entwicklung und Produktion erkunden und Berufe und Ausbildungsgänge zu Arbeitsgebieten der angewandten Naturwissenschaften und der Technik beschreiben	
10. <b>ausgewählte aktuelle Forschungsziele und Entwicklungen beschreiben und deren Bedeutung für die Gesellschaft erläutern</b>	

Abbildung 7: Bezug der “Echt Kreislaufwirtschaft” Unterrichtsmodule zum NwT-Lehrplan

Das Lernmodul umfasst 5 Kapitel (vgl. Abbildung 8), die in 12 interaktive Unterrichtseinheiten á 45 min gegliedert sind: Theoriegestützte Einführungen, praktische Konstruktions- und Montageaufgaben sowie Reflexions- und Bewertungsaufgaben, die beispielsweise R-Strategien, Lebensdauerbetrachtungen und Zielkonflikte zwischen Kosten, Performance und Kreislauffähigkeit adressieren. Transferbezüge zu weiteren Fächern wurden als Leitfragen und Aufgabenformate ausgearbeitet, um den transdisziplinären Charakter der Kreislaufwirtschaft im Unterricht sichtbar zu machen.

Jedes Lernmodul beginnt mit definierten Lernzielen und endet mit einer Lernerfolgskontrolle, um sowohl für den Lehrenden als auch für den Lernenden den Lehr- und Lernerfolg zu reflektieren.

Das im Vorhaben entwickelte Lernmodul vermittelt Kreislaufwirtschaft anhand eines konkreten elektronischen Produktbeispiels in einer Kombination aus technischer Grundlagenvermittlung, praktischer Erprobung, systematischer Bewertung und reflexivem Transfer. Die inhaltliche Struktur orientiert sich an den im Antrag beschriebenen didaktischen und fachlichen Zielsetzungen. Die Schülerinnen und Schüler sollen Kreislaufwirtschaft nicht nur als nachgelagerte Entsorgungs- oder Recyclingfrage kennenlernen, sondern als Gestaltungsaufgabe, die bereits in der Produktentwicklung beginnt. Als konkretes Produktbeispiel dient das mobile Handyladegerät für das Fahrrad, an dem technische Funktion, Aufbau, Demontage, Wiederverwendung, Bewertung und Transfer auf alltägliche Vorgänge wie das Laden eines Smartphones bearbeitet werden.



Kapitel	Titel	Aufbau Unterrichtseinheiten	Kurzbeschreibung
1	Grundlagen: Dynamo und Schaltkreise	4 Blöcke á 45min.	Einführung in den Aufbau und die Funktion des Handyladegeräts. Behandelt werden Energieumwandlung, Gleichrichtung, Spannungsanpassung und grundlegende Zusammenhänge elektrischer Schaltungen.
2	Einführung in die Kreislaufwirtschaft	1 Block 45min.	Einführung in Kreislaufwirtschaft und R-Strategien am Beispiel von Elektronik und Elektroschrott. Dabei wird der Zusammenhang zwischen Produktgestaltung, Nutzung, Demontage und Wiederverwertung aufgezeigt.
3	Praktische Übung: Bau von drei Varianten	4 Blöcke á 45min. 3 Blöcke praktische Übung / ein Block Nachbesprechung	Die Schülerinnen und Schüler bauen verschiedene Varianten des Handyladegeräts mit bereitgestellten Baukästen auf und setzen sich dabei auch mit dem Fügeverfahren Löten auseinander.
4	Bewertung der Varianten	2 Blöcke á 45min	Die aufgebauten Varianten werden hinsichtlich ihrer Kreislauffähigkeit erprobt, diskutiert und bewertet. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für Verbesserungen und weiterführende Überlegungen.
5	Kritische Reflexion und Wissenstransfer	1 Block 45min.	Die Ergebnisse werden zusammengeführt, reflektiert und auf weitere Produkte und Fragestellungen übertragen. Ziel ist ein anwendungsnahes Verständnis von Kreislaufwirtschaft im technischen und gesellschaftlichen Kontext.

Abbildung 8: Aufbau und Struktur des Lernmoduls

Aus den Diskussionen mit Lehrerinnen und Lehrern aus dem NwT-Bereich wurde deutlich, dass zusätzlich zu den bereits geplanten Inhalten auch Entwurfs- und Berechnungsaufgaben sinnvoll seien, die die Praxisrelevanz des Unterrichts in den MINT-Fächern nachweisen. Aufgrund dieser Diskussionen wurde das Aufgabenspektrum um derartige Aufgaben erweitert. Beispielsweise wird erarbeitet, welche der in der praktischen Übung von den Schülern erarbeiteten Variante die ökologisch bzw. ökonomisch sinnvollste Variante ist und welchen Einfluss die ökologische und ökonomische Dimension auf Baugröße und Kosten hat.

**Drittens** wurden zur Unterstützung der Zielgruppenansprache digitale und mediale Elemente entwickelt. Die Materialien ermöglichen sowohl einen handlungsorientierten Präsenzunterricht als auch eine ergänzende Vor- und Nachbereitung. Die medientechnische Aufbereitung dient dabei der Aktivierung, der Strukturierung komplexer Inhalte und der Dokumentation der Arbeitsergebnisse durch die Lernenden. Darüber hinaus wurde für Lehrer Hilfsmaterial erarbeitet, das die Etablierung der Lehrmodule erleichtert. Beispielsweise erfolgt eine Einordnung der Taxonomiestufen nach Bloom [8;9] für die einzelnen Unterrichtseinheiten oder auch eine Einführung in die QuizAcademy als spielerische online-Quiz eingebettet in die Lernmodule.

Die nicht umgesetzte Einbindung in das Netzwerk letsgoING erforderte Anpassungen in der geplanten Verbreitungs- und Fortbildungsstrategie. Die fachlichen Arbeitsergebnisse, die Entwicklung der Hardwarevarianten sowie die didaktische Ausarbeitung wurden davon nicht beeinträchtigt. Transfer, Austausch und Erprobung werden über alternative Kontakte und Formate realisiert.

Im Projektverlauf wurde zudem die Weiterentwicklung des gymnasialen Fächerkanons im Kontext der Wiedereinführung von G9 beobachtet. Die Modularität des Konzepts erleichtert eine Anpassung an zukünftige Anforderungen, beispielsweise durch eine stärkere Integration von Kompetenzen aus dem

Bereich der Informatik im Sinne des geplanten Fachs NIT, für das zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch noch zu wenig Informationen vorliegen.

Aktuell ist der im Aufbau aus der Abbildung 4 dargestellte Spannungswandler für die Anpassung der Ausgangsspannung des Gleichrichters aus der Abbildung 3 noch eine Komponente, die zugekauft wurde. Bereits während der Projektlaufzeit wurde jedoch ein Konzept für eine Umsetzung dieser Baugruppe zur Integration in das didaktische Konzept entwickelt. Dieses befindet sich derzeit in der Umsetzung und wird in der Perspektive ebenfalls im Sinne des Entwurfs für Kreislauffähigkeit weiterentwickelt.

## Öffentlichkeitsarbeit

Die Projektergebnisse wurden im Projektverlauf in schulischen und hochschulischen Kontexten kommuniziert und diskutiert. Beispielhaft wurde das Projekt am 25.03.2025 und am 26.03.2026 im Rahmen der Schüler Ingenieur Akademie (SIA) eines Reutlinger Gymnasiums vorgestellt. Im Rahmen eines Besuchs des technischen Gymnasiums Sindelfingen am 14.03.2025 wurden Inhalte des Vorhabens mit Schülerinnen, Schülern und Lehrkräften aus der Oberstufe diskutiert. Zusätzlich wurde ein Austausch mit der BBQ Bildung und Berufliche Qualifizierung gGmbH in Reutlingen initiiert. Ziel dieser Aktivitäten ist es, das Projekt bekannt zu machen und als Projekte z.B. im Rahmen der SIA zu etablieren.

Am 11.12.2025 fand ein Austauschtreffen mit 3 Lehrkräften aus Oberstufen statt, die im Bereich MINT lehren. Die Rückmeldungen daraus wurden insbesondere für die Optimierung der Arbeitsschritte, für die didaktische Progression sowie für die Verständlichkeit technischer Begriffe genutzt. Damit konnte die Qualität des Lernarrangements iterativ verbessert werden. Daraus ergab sich ein weiterer wertvoller Termin am 05.01.2026 im Rahmen des Technik-Team-Treffens der Techniklehrkräfte aus Schleswig-Holstein an dem die Ergebnisse des Vorhabens "Echt Kreislaufwirtschaft" einem großen Teilnehmerkreis vorgestellt wurden konnte. Das Feedback war durchweg positiv und insbesondere der Leiter des Technik-Teams war sehr interessiert und will bezüglich der im Vorhaben entwickelten Lehreinheiten im Austausch bleiben.

Eine Publikation bei der International Conference on Industry of the Future and Smart Manufacturing im Education Sector wurde realisiert [10]. Eine weitere Publikation [11] erfolgte auf der MECATRONICS REM Conference im Bereich Sustainable Mechatronics im Dezember 2025. Die Arbeiten am vorliegenden Vorhaben stärkten auch die wissenschaftlichen Arbeiten der Projektverantwortlichen, wie ein Beitrag zur Operationalisierung eines kreislauffähigen Elektronikdesigns für zeigt [12].

Die im Antrag vorgesehene Publikation im Rahmen des Forums Wissenschaftskommunikation wurde nicht weiterverfolgt, da die Tagung im Jahr 2025 einen anderen thematischen Schwerpunkt setzte.

Eine weitere Publikation auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für technische Bildung am September 2026 ist geplant.

Das Projekt wird zusätzlich über die Internetseiten der Projektleiter veröffentlicht.



## Fazit

Das Vorhaben hat gezeigt, dass sich die Kreislaufwirtschaft mit einem technisch greifbaren Produktbeispiel für die gymnasiale Oberstufe didaktisch tragfähig aufbereiten lässt. Der entwickelte Ansatz macht die Gestaltungsrelevanz der Produktentwicklung für die Kreislauffähigkeit konkret erfahrbar und verbindet technische, ökonomische und ökologische Perspektiven in einem durchgängigen Lernarrangement.

Die entwickelten Hardwarevarianten und Materialien sind so dokumentiert, dass sie nachgenutzt und weiterentwickelt werden können. In ersten Diskussionen mit Lehrkräften und einzelnen Schülern war das Feedback sehr positiv.

In einer Fortführung bietet sich insbesondere eine Ausweitung des Einsatzes auf weitere Schulformen sowie eine stärkere Integration informatischer Elemente an. Darüber hinaus können die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse in weitere Forschungs- und Transferaktivitäten zu kreislauffähigem Elektronikdesign und zu Bildung für nachhaltige Entwicklung eingebracht werden.

## Literatur

- [1] Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg: Bildungsplan des Gymnasiums. Bildungsplan 2016. Naturwissenschaft und Technik (NwT) Profulfach. BP2016BW-ALLG-GYM-NWT 2016.
- [2] Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg: Bildungspläne 2016. Gymnasium. Naturwissenschaft und Technik (NwT) Basisfach in der Kursstufe. BP2016BW-ALLG-GYM-NWTBFO 2016.
- [3] Charter, M. (Hrsg.): Designing for the circular economy. London und New York: Routledge 2019.
- [4] Sumter, D., de Koning, J., Bakker, C. et al.: Key Competencies for Design in a Circular Economy: Exploring Gaps in Design Knowledge and Skills for a Circular Economy. Sustainability 13 (2021), Nr. 2, S. 776.
- [5] Schmitt, T., Wolf, C., Lennerfors, T. T. et al.: Beyond “Leaneer” production: A multi-level approach for achieving circularity in a lean manufacturing context. Journal of Cleaner Production 318 (2021), S. 128531.
- [6] Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., Hanemaaijer, A.: Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague 2017.
- [7] Belaziz, M., Bouras, A., Brun, J. M.: Morphological Analysis for Product Design. Computer-Aided Design 32 (2000), Nr. 5-6, S. 377-388.
- [8] Bloom, B. S. (Hrsg.): Taxonomy of Educational Objectives. The Classification of Educational Goals. Handbook I: Cognitive Domain. New York: David McKay 1956.
- [9] Anderson, L. W., Krathwohl, D. R. (Hrsg.): A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing. A Revision of Bloom’s Taxonomy of Educational Objectives. New York: Longman 2001.
- [10] Ruzicic, N., Schullerus, G., Braun, A.: Integrating Circular Economy into Engineering Curricula: A Modular and Interdisciplinary Educational Concept. In: Procedia Computer Science 277, S. 3123–3132. 2026. DOI: 10.1016/j.procs.2026.02.348.



- [11] Braun, A.; Schullerus, G., Ruzicic, N., Sivasankaran, S.: Electronics Design for Circularity Using a Fuzzy Decision Making System. - In: MECHATRONICS-REM 2025 International Conference Proceedings., Paris, 3.-5. Dezember, 2025. DOI: 10.1109/MECATRONICS-REM67547.2025.11349562.
- [12] Braun, A.; Schullerus, G.: Kreislauffähigkeit im Elektronikdesign. In: wt Werkstattstechnik online 116 (01-02), S. 2–7. DOI: 10.37544/1436-4980-2026-01-02-6.

