

Projektverbund für mehr Ressourceneffizienz in der bayerischen Wirtschaft  
insbesondere für KMU und Handwerk – **ForCYCLE II**

## Abschlussbericht

*Dachprojekt des Projektverbundes ForCYCLE II zur Vernetzung und Bewertung innovativer Ressourceneffizienzpotenziale in der bayerischen Wirtschaft – **NetCYCLE II***

### Projektleiter und durchführende Hochschule

Prof. Dr. Mario Mocker  
Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden  
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik  
Kaiser-Wilhelm-Ring 23, 92224 Amberg  
Tel. 09621 482-3335, Fax 09621 482-4335  
E-Mail [m.mocker@oth-aw.de](mailto:m.mocker@oth-aw.de)

### Kooperationspartner

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT  
Katharina Reh  
Institutsteil Sulzbach-Rosenberg  
An der Maxhütte 1, 92237 Sulzbach-Rosenberg  
Tel. 09661 8155431  
E-Mail [katharina.reh@umsicht.fraunhofer.de](mailto:katharina.reh@umsicht.fraunhofer.de)

### Projektlaufzeit

01. Mai 2019 bis 31. Oktober 2022

Amberg, Juli 2022

## **Abstract (Kurzzusammenfassung)**

Der effiziente und sparsame Einsatz natürlicher Ressourcen schafft Unabhängigkeit, spart Kosten, schont die Umwelt und das Klima. Gleichzeitig ist ein verantwortungsbewusster Umgang mit Ressourcen ein zentrales Zukunftsthema: Er ermöglicht nachhaltiges Wachstum, generationsgerechten Wohlstand und stärkt den Wirtschaftsstandort Bayern.

Lösungsansätze und Technologien im Bereich der Ressourceneffizienz und der Kreislaufwirtschaft zu entwickeln war das Ziel des Projektverbundes für mehr Ressourceneffizienz in der Bayerischen Wirtschaft, insbesondere KMU und Handwerk - ForCYCLE II. Dieser stellt einen Baustein des 7-Punkte Plans der Bayerischen Staatsregierung zur Steigerung der Ressourceneffizienz dar. Der Projektverbund setzte sich aus einem Dachprojekt und zehn Fachprojekten zusammen, die gemeinsam mit Partnern aus der Wissenschaft und der Wirtschaft Verfahren und Methoden zur Ressourceneffizienz sowie dem Recycling entwickeln.

NetCYCLE II bildet im Projektverbund das Dachprojekt. In dieser Funktion setzten sich die Aufgaben aus der Administration, Organisation und Koordination sowie dem fachlichen Bereich, in dem die Konzeption einer Kennzahl zur Bewertung bzw. als Messgröße der Ressourceneffizienz im Fokus stand, zusammen. Mit dieser Zahl konnten die in den Projekten erreichten Auswirkungen hinsichtlich ihres Beitrags zur Ressourceneffizienz im Vergleich zu standardisierten Methoden aufgezeigt werden. Allerdings soll die Kennzahl nicht nur auf die Projekte selbst bezogen werden, sondern auch Wirkungen von Effizienzmaßnahmen im Allgemeinen betrachten. Somit stellt sie eine Mess- bzw. Vergleichsgröße hinsichtlich des Ressourceneffizienzpotenzials von verschiedenen Technologien und Verfahren dar und kann so für unternehmerische und politische Entscheidungsprozesse herangezogen werden.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract (Kurzzusammenfassung)</b> .....	<b>1</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Hintergrund, Aufgabenstellung und Zielsetzung</b> .....	<b>5</b>
1.1 Ausgangslage und Stand der Technik .....	5
1.2 Projektziele und Lösungsansätze.....	6
<b>2 Planung und Ablauf der Arbeiten</b> .....	<b>7</b>
<b>3 Darstellung und Bewertung der erzielten Ergebnisse</b> .....	<b>10</b>
3.1 Interne Organisation – Koordinierung, Vernetzung und thematische Strukturierung des Verbundes (AP1).....	10
3.1.1. Bildung von Clustern und Arbeitskreisen (AP 1.1).....	10
3.1.1.1. Cluster.....	10
3.1.1.2. Arbeitskreise .....	13
3.1.2. Projektfortschritt – Organisation von Veranstaltungen und Berichte (AP 1.2).....	16
3.1.2.1. Auftaktveranstaltung.....	16
3.1.2.2. Erstes Statustreffen.....	17
3.1.2.3. Zweites Statustreffen.....	17
3.1.2.4. Abschlussveranstaltung.....	20
3.1.2.5. Berichte.....	23
3.1.3. Wissensaustausch – Organisation von Workshops, Einrichten einer Plattform zum Austausch von Daten und Informationen .....	24
3.1.4. Administrative Begleitung der Einzelprojekte .....	24
3.2 Public Relations – Vertretung des Verbundes nach außen (AP2).....	24
3.2.1. Erstellung einer Corporate Identity .....	24
3.2.2. Digitale Repräsentation des Verbundes .....	25
3.2.3. Organisation von öffentlichen Veranstaltungen .....	25
3.2.4. Veröffentlichung des Projektverbundes ForCYCLE II.....	26
3.3 Bewertung der Projektergebnisse (AP 3).....	27
3.3.1. Erarbeitung von Bewertungsmatrix und Kennzeichnungssystem (AP 3.1) ..	27
3.3.1.1. Bewertungsmatrix.....	27
3.3.1.2. Ressourceneffizienz­kennzahl zur Bewertung des..... Ressourceneffizienzpotenzials.....	28
3.3.2. Verarbeitung der Daten aus den Einzelprojekten (AP 3.2) .....	31
3.3.2.1. Erhöhung der Ressourceneffizienz durch Einsatz von.....	

verwendungsornahen 3D-Drucktechnologien - REV3D.....	31
3.3.2.2. Steigerung der Ressourceneffizienz in KMU und Handwerk durch.... ein digitales Benchmarksystem für Abfallvermeidungs- und.....	
Abfallverwertungspotenziale – KMU DigiCheck Abfall.....	34
3.3.2.3. Digitale multikriterielle Materialauswahl zur optimierten .....	
Kreislauffähigkeit von Kunststoffprodukten – DIMOP .....	35
3.3.2.4. Innovative Recyclingverfahren für Elektroschrott – IRVE.....	38
3.3.2.5. Plattformtechnologie zur Verwertung chlorhaltiger Abfälle..... und Rückgewinnung kritischer Metalle – Chlor-Plattform .....	42
3.3.2.6. Rohstoffsicherung und –erhalt durch Aufbereitung und Verwertung .. von Gießerei-Stäuben – Bayerisches Konsortium für .....	
Gießereistaub-Metall-Rückgewinnung – BGMR.....	46
3.3.2.7. Recycling von Wärmedämmverbundsystemen – WDVS .....	49
3.3.2.8. Erhöhung der Nachhaltigkeit in der Behälterglasindustrie..... durch Vermeidung von Beschichtungen – VaporCoat.....	52
3.3.2.9. Optimierung von Holz-Beton-Verbundbauweise durch Verwendung . natürlicher und ökologischer Wertstoffe – HB(Ca)V .....	55
3.3.2.10. Chemische Mobilisierung und Mikroalgen-basierte Bioadsorption . von Seltenen Erden aus Kaolinit und anderen Wertstoffen – MiKa .....	58
3.3.3. Ausblick: Formulierung von Handlungsempfehlungen für politische..... Entscheidungsträger und Unternehmen; Formulierung weiterer Forschungsfragen ... (AP 3.3).....	61
3.3.3.1. Technologisches Verbesserungspotenzial .....	61
3.3.3.2. Weiterentwicklung der RessourceneffizienzKennzahl .....	62
3.3.3.3. Bereitstellung von Datengrundlagen.....	62
3.3.3.4. Beratungs- und Unterstützungsangebote für die Wirtschaft.....	62
3.4 Ressourceneffizienzpreis (AP 4).....	64
3.4.1. Analyse bestehender Preise .....	64
3.4.2. Gestaltung Bewerbungsprozess für Unternehmen (AP 4.1) .....	64
3.4.2.1. Ziele des Preises.....	65
3.4.2.2. Auszeichnungsgegenstand .....	65
3.4.2.3. Teilnahmebedingungen .....	66
3.4.2.4. Bewerbungsablauf.....	66
3.4.2.5. Kriterien des Auswahlprozesses.....	66
3.4.2.6. Preisverleihung .....	66
3.4.2.7. Auskünfte .....	67
3.4.3. Gestaltung des Auswahlverfahrens (AP 4.2).....	67
3.4.3.1. Wissenschaftliche Erarbeitung einer multikriteriellen Bewertungs- .... matrix (4.2.1).....	67
3.4.3.2. Einbindung eines Expertenkomitees als Beirat und Preisjury .....	

(AP 4.2.2) .....	67
3.4.4. Begleitung des Auswahlprozesses und der Preisverleihung (AP 4.3) .....	68
3.4.4.1. Vorabprüfung eingereicherter Bewerbungen (AP 4.3.1) .....	68
3.4.4.2. Erstellung von Kurzfilmen (AP 4.3.2) .....	70
3.4.4.3. Wissenschaftliche Aufbereitung der Ergebnisse für StMUV und REZ (AP 4.3.3) .....	70
<b>4 Praktische Anwendbarkeit der Ergebnisse und Darstellung der Kooperation mit Wirtschaftspartnern .....</b>	<b>71</b>
<b>Veröffentlichungen im Rahmen des Projekts.....</b>	<b>71</b>
<b>5 Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern und im Projektverbund .....</b>	<b>72</b>
<b>6 Zusammenfassung.....</b>	<b>73</b>
<b>7 Ausblick .....</b>	<b>74</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>75</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>77</b>
Anlage 1: Abkürzungsverzeichnis.....	77
Anlage 2 .....	78
Anlage 3 .....	79
Anlage 4 .....	81
Anlage 5 .....	82
Anlage 6 .....	83

# 1 Hintergrund, Aufgabenstellung und Zielsetzung

## 1.1 Ausgangslage und Stand der Technik

Spätestens seit dem Erscheinen des sog. Brundtland-Berichts der Vereinten Nationen besteht ein globaler Konsens zur nachhaltigen Entwicklung der menschlichen Gesellschaft [1]. Ein Kernaspekt der Nachhaltigkeit ist die Erhaltung ausreichender natürlicher Ressourcen als Lebensgrundlage für kommende Generationen. Vor dem Hintergrund der großen globalen Herausforderungen des zunehmenden Verbrauchs endlicher, natürlicher Rohstoffe sowie des maßgeblich aus hohen Ressourceneinsatz resultierenden Klimawandels, muss der Steigerung der Ressourceneffizienz übergeordnete Priorität beigegeben werden.

Anerkannte Strategien hierzu sind die generelle Verringerung des Ressourceneinsatzes zum Erreichen eines bestimmten Nutzens oder die Erhöhung des Nutzens aus einem gegebenen Ressourceneinsatz. In beiden Fällen steigt der Quotient aus Nutzen zum dafür nötigen Ressourceneinsatz an. Dieses mathematische Verhältnis wird üblicherweise als Ressourceneffizienz definiert [2]. Im Gegensatz zu dieser einfachen, anschaulichen Definition werden die einzelnen Berechnungsgrößen im Zähler und Nenner allerdings sehr uneinheitlich angewandt. So umfasst der Ressourcenbegriff unterschiedlichste materielle Dinge wie z. B. Primärrohstoffe sowie immaterielle Aspekte wie Wissen, Kompetenz oder auch Ökosystemleistungen [2, 3]. Ebenso besteht der mögliche Nutzen aus einer Vielzahl verschiedener Funktionen. In einem Indikatorenbericht zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie wird mittlerweile der Wert der produzierten Güter in Euro als Nutzen angesehen und ins Verhältnis zur Masse der eingesetzten Rohstoffe gesetzt, woraus sich die sog. Gesamtrohstoffproduktivität ergibt [4]. Obwohl inzwischen die Vorketten importierter Rohstoffe Berücksichtigung finden, werden bei dieser Methode Umweltauswirkungen und Kritikalitäten, z. B. drohende Versorgungsengpässe, noch nicht ausreichend berücksichtigt.

Für verschiedene Bundesländer liegen Studien vor, in denen aggregierte Berechnungsweisen erarbeitet wurden, die wirtschaftliche, ökologische und Kritikalitätsaspekte miteinander verknüpfen und zu Empfehlungen führen, für welche Rohstoffe Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz mit hoher Priorität erarbeitet werden sollten [5, 6].

Mit der VDI 4800 Blatt 2 existiert zudem eine Handlungsanweisung, die zumindest auf betrieblicher Ebene hier eine differenziertere Betrachtungsweise erlaubt [7]. Die ressourceneffiziente Gestaltung von Produktionsprozessen ermöglicht es Unternehmen die Kosten, die Abhängigkeit von Rohstoffimporten und die mit dem Rohstoffverbrauch verbundenen Umweltauswirkungen entscheidend zu verringern. Durch Effizienzgewinne auf betrieblicher Ebene realisierte Einsparungen im Materialverbrauch tragen zudem, zusammen mit Anstrengungen der öffentlichen Hand und nicht zuletzt auch Veränderungen im privaten Konsumverhalten, entscheidend dazu bei, die auf Bundes- und Landesebene formulierten Nachhaltigkeitsziele in Bezug auf die Ressourceneffizienz zu erreichen. Dementsprechend wurden diesbezügliche politische Strategien erarbeitet und daraus zahlreiche unterstützende Initiativen und Maßnahmen abgeleitet. Zur Förderung von innovativen Ansätzen wurden und werden die Strategien durch Forschungsprogramme wie den von 2014 bis 2016 laufenden Projektverbund ForCYCLE des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz

(StMUV) flankiert. Trotz einer engen Verflechtung von Forschungseinrichtungen und Wirtschaftsunternehmen in den bisherigen Projektkonsortien war aber festzustellen, dass Ressourceneffizienzmaßnahmen – abgesehen von naheliegenden Kostensenkungen – auf betrieblicher Ebene nur langsam umgesetzt werden.

Die zunehmende Notwendigkeit und Dringlichkeit der Ressourceneffizienz weiter zu steigern unterstreicht auch der Freistaat Bayern seit langem. So hat das Bayerische Kabinett bei einer Sitzung am 31.07.2018 einen 7-Punkte-Plan zum sparsamen und effizienten Einsatz von Ressourcen beschlossen. Inhalte dieses 7-Punkte-Plans sind unter anderem die Fortführung und Stärkung des erfolgreichen Ressourceneffizienz-Zentrums Bayern (REZ) sowie die Initiierung des neuen Projektverbundes ForCYCLE II, der die Fortschreibung des erfolgreichen Formats ForCYCLE darstellt.

## **1.2 Projektziele und Lösungsansätze**

Ziel des Projektverbundes für mehr Ressourceneffizienz in der Bayerischen Wirtschaft, insbesondere KMU und Handwerk - ForCYCLE II war es, Technologien und Verfahren zum effizienten Einsatz von Ressourcen und zum Recycling zu entwickeln, um die Ressourceneffizienz in der bayerischen Wirtschaft weiter zu steigern. Dies fand in einem Dachprojekt und zehn Fachprojekten in enger Zusammenarbeit mit Partnern aus der Wissenschaft und der Wirtschaft statt. Die praxisorientierte Entwicklung bzw. die Integration der KMU und dem Handwerk stellte einen zentralen Aspekt des Forschungsverbundes ForCYCLE II dar, worin ein wesentlicher Unterschied zum vorangegangenen, eher grundlagenorientierten Forschungsverbund ForCYCLE I bestand.

Während der Projektlaufzeit von ForCYCLE II übernahm das Dachprojekt NetCYCLE sowohl die Administration, Koordination und Repräsentation des Projektverbundes ForCYCLE II als auch die fachliche Aufgabe eine Methodik zur Bewertung des Ressourceneffizienzpotenzials, die ebenfalls für Ökobilanzen nutzbar ist und dabei den abiotischen Ressourcenverbrauch ganzheitlich messbar macht, zu erarbeiten. Neben der Methodik selbst wird auch die Datengrundlage geologischer Vorkommen als Basis der Bilanzierung ebenso wie die Äquivalenzeinheit neu aufgestellt. Zusammenfassend werden hinsichtlich geologischer Aspekte der Verbrauch, die Ressourcenverfügbarkeit, der anthropogene Vorrat und die dissipativen Verluste global betrachtet berücksichtigt. Zusätzlich fließen acht sozioökonomische Aspekte als ein Co-Faktor in die Betrachtung ein. Zu diesen zählen globale (z. B. Länderrisiko, Länderkonzentration) als auch regionale (z. B. Importabhängigkeit, regionale Bedeutung) Kenngrößen. Durch diese einheitliche Bewertungsmethodik und die daraus resultierende Quantifizierung können Handlungsempfehlungen für politische Entscheidungsträger abgeleitet werden. Zudem diente die Kennzahl dazu die entwickelten Verfahren der Einzelprojekte hinsichtlich ihrer Ressourceneffizienzpotenziale in Bezug auf die jeweiligen Standardverfahren zu vergleichen.

Um die Bewusstseinsförderung des Themas „Ressourceneffizienz“ noch weiter zu stärken und dieses Thema auch in das unternehmerische Handeln zu integrieren bzw. einen Anreiz zu schaffen, sah die Strategie der Bayerischen Staatsregierung vor, auf verschiedene Art und Weisen eine Bewusstseinsförderung des Themas „Ressourceneffizienz“ zu schaffen. Zu dieser gesteigerten Wahrnehmung sollte auch eine öffentlichkeitswirksame Auszeichnung in Form des „Bayerischen Ressourceneffizienzpreises“ beitragen. Der Preis dient dazu herausragende und zukunftsweisende Leistungen bayerischer Unternehmen – insbesondere KMU und Handwerksbetriebe – im Bereich

Ressourcenschutz anzuerkennen. Gleichzeitig wurden auf diese Weise wegweisende Impulse für die (gesamte) bayerische Wirtschaft gesetzt, um weitere innovative Maßnahmen zur Rohstoff- und Materialeffizienz zu entwickeln und umzusetzen. Der Bayerische Ressourceneffizienzpreis fokussierte sich auf die Steigerung der Ressourceneffizienz im Sinne einer umweltschonenden Nutzung von Rohstoffen und Materialien. Mit dieser Ausrichtung stellt der Preis eine deutliche inhaltliche Erweiterung gegenüber sonstigen in Bayern verliehenen Auszeichnungen dar, Überschneidungen und Doppelungen werden vermieden. Einzig der Deutsche Rohstoffeffizienzpreis, der durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi unter der fachlichen Leitung der Deutschen Rohstoffagentur DERA verliehen wird, hat eine ähnliche Ausrichtung, beschränkt sich jedoch weitgehend auf Rohstoff- und Materialeffizienz und richtet sich an Firmen und wissenschaftliche Einrichtungen, während der vorerst auf Unternehmen beschränkte Bayerische Ressourceneffizienzpreis deutlich mehr Aspekte berücksichtigt.

Das Vorhaben sollte zudem die Grundlage liefern, um den Preis - nach dem ersten Pilotlauf im Rahmen dieses Vorhabens – routinemäßig in den Folgejahren durch das REZ vergeben zu können.

## **2 Planung und Ablauf der Arbeiten**

Zur übersichtlichen und strukturierten Umsetzung der durchzuführenden Aufgaben wurden diese thematisch in einzelne Arbeitspakete aufgeteilt und in einen Zeitplan überführt. Die Aufgaben des Dachprojekts teilten sich dabei in vier verschiedene Arbeitspakete (AP) auf:

- interne Organisation – Koordinierung, Vernetzung und thematische Strukturierung des Verbundes (AP 1)
- Public Relations – Vertretung des Verbundes nach außen (AP 2)
- Bewertung der Projektergebnisse (AP 3)
- Konzeption des Bayerischen Ressourceneffizienzpreises (AP 4)

Die vier übergeordneten Arbeitspakete sind in weitere Aufgabenteile untergliedert. Dabei können manche Teile unabhängig voneinander durchgeführt werden, bei anderen können diese nur nacheinander erfolgen. Der ursprüngliche Projektantrag beinhaltete lediglich die Arbeitspakete 1 bis 3. Dieser wurde im späteren Verlauf um das AP 4 erweitert. Die zeitlichen Abläufe einiger Arbeitspakete haben sich auf Grund der Corona-Pandemie im Vergleich zum ursprünglichen Zeitplan häufiger verschoben. Insgesamt führt dies aber zu keiner Verzögerung der Gesamtprojektlaufzeit, da es möglich war, einzelne Aufgaben vorzuziehen. Zur Erfolgskontrolle beinhaltete der Zeitplan 10 Meilensteine. Der detaillierte Zeitplan ist der Abbildung 1 zu entnehmen.



Anmerkungen:

\* Bericht zum Abschluss des Projektteils "Ressourceneffizienzpreis"

Meilensteine:

- 1 Abschluss der Bildung von Clustern und Arbeitskreisen, Corporate Identity erstellt
- 2 Bewertungsmatrix und Kennzeichnungssystem sind ausgearbeitet
- 3 10 Kurzfilme zu Einzelprojekten sind erstellt
- 4 Die ersten zwei Best-Practice Beispiele sind online gestellt.
- 5 Datenverarbeitung und Bewertung der Projektergebnisse ist abgeschlossen
- 6 Ressourceneffizienzpreis: Ausschreibungstext ist entworfen.
- 7 Ressourceneffizienzpreis: Bewertungsmatrix ist erstellt und mit Fachjury abgestimmt
- 8 Ressourceneffizienzpreis: Ausschreibungstext ist finalisiert und veröffentlicht
- 9 Ressourceneffizienzpreis: Vorschlag für Preisträger sind an das StMUV übermittelt

**Abbildung 1:** Zeitplan des Dachprojekt NetCYCLE II

**AP 1:** Zur internen Organisation und Vernetzung des Verbundes sollten die zehn Fachprojekte zunächst je einem Themenschwerpunkt sowie ihren Inhalten entsprechenden Arbeitskreisen zugeordnet werden. Der Fortschritt im Projekt sollte dabei durch Berichte sowie Veröffentlichungen, Workshops und Diskussionsrunden u.a. auf einer Auftaktveranstaltung, zwei Statustreffen und einer Abschlusskonferenz dokumentiert und der Öffentlichkeit sichtbar respektive zugänglich gemacht werden. Für den Austausch von Wissen, Daten und Informationen wurde den Einzelprojekten zudem eine Internetplattform zur Verfügung gestellt. Zuletzt umfasste das erste Arbeitspaket die administrative Begleitung der Einzelprojekte, wobei das Dachprojekt als Bindeglied zwischen den Fachprojekten und dem StMUV fungierte.

**AP 2:** Für eine einheitliche und professionelle Darstellung des Verbundes und seiner Einzelprojekte wurde eine Corporate Identity erstellt, umfassend u. a. Logo, Farbauswahl und Designvorlagen z. B. für Berichte, Poster und PowerPoint-Präsentationen. Für die aktive Präsentation des Verbundes nach außen waren eine digitale Repräsentation über die Website des StMUV, öffentliche Veranstaltungen (Auftaktveranstaltung und Abschlusskonferenz) sowie printmediale Veröffentlichungen in Form von Best-Practice Beispielen, Publikationen in Fachjournalen und einer Ergebnisbroschüre geplant.

**AP 3:** Das dritte Arbeitspaket umfasste die Bilanzierung des Projektnutzens hinsichtlich umweltrelevanter, wirtschaftlicher, mengenrelevanter sowie strategischer Aspekte, jeweils mit starkem Bezug zum Land Bayern. Mit dem Ziel, neben einer quantitativen Bilanzierung dieser Einzelparameter Handlungsempfehlungen für politische Entscheidungsprozesse geben zu können, war eine Aggregation aller Aspekte zu einer oder wenigen Kenngröße(n) für das Ressourceneffizienzpotenzial geplant. Mit Hilfe dieser Normierung sollte es gelingen, die in verschiedenen Einheiten erfassten Einzelwerte mittels eines Kennzeichnungssystems vergleichbar zu machen. Unter Kapitel 3.3.1. ist die Zusammensetzung der Kennzahl genauer erläutert.

**AP 4:** Für die wissenschaftlich spezifische Ausarbeitung und Ausgestaltung des Bayerischen Ressourceneffizienzpreises wurden zunächst bereits bekannte Preise/ Ehrungen mit Umweltbezug des

Freistaat Bayerns und des Bundes recherchiert. Basierend auf dieser Recherche sowie eigenen Überlegungen wurden Schwerpunktthemen zur Gestaltung der Ausschreibung formuliert und der weitere Auswahlprozess organisiert. Das gesamte Verfahren sollte durch eine Expertenjury begleitet werden, wofür eine eigens entwickelte, multikriterielle Bewertungsmatrix bereitgestellt wurde. Für die zur Preisverleihung Firmen wurde je ein Kurzfilm über die entsprechenden Projekte erstellt.

## **3 Darstellung und Bewertung der erzielten Ergebnisse**

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt anhand der in der Projektlaufzeit zu erfüllenden Arbeitspakete. Die Hauptpunkte stellen hierbei die übergeordneten Arbeitspakete AP 1 bis AP 4 dar.

### **3.1 Interne Organisation – Koordinierung, Vernetzung und thematische Strukturierung des Verbundes (AP1)**

Das Arbeitspaket 1 befasste sich mit allen Tätigkeiten, welche die internen Belange des Projektverbundes wie Vernetzung, Organisation, Planung von Verbundtreffen sowie Administration beinhalten. Für diese Umsetzung wurde das AP1 in die die Arbeitspakete „Bildung von Clustern und Arbeitskreisen“ (AP 1.1), „Projektfortschritt – Organisation von Veranstaltungen und Berichte“ (AP 1.2), „Wissensaustausch – Organisation von Workshops, Einrichten einer Plattform zum Austausch von Daten und Informationen“ (AP 1.3) und „Administrative Begleitung der Einzelprojekte“ (AP 1.4) aufgeteilt.

#### **3.1.1. Bildung von Clustern und Arbeitskreisen (AP 1.1)**

##### **3.1.1.1. Cluster**

Die Projekte wurden inhaltlich in die folgenden 3 Themenschwerpunkte eingeordnet.

- Erhöhung der Ressourceneffizienz durch Digitalisierung
- Integrierte Produktpolitik (IPP) – Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus
- Substitution von Werkstoffen/Materialien

Durch die Cluster werden themenverwandte Projekte gebündelt. Die Zuteilung erfolgte im Wesentlichen anhand der eingereichten Projektvorschläge der Fachprojekte in enger Abstimmung mit dem StMUV.

## **Erhöhung der Ressourceneffizienz durch Digitalisierung**

Der Megatrend Digitalisierung ermöglicht es, in der Wirtschaft immer mehr belastbare Daten in Echtzeit aus Prozessen oder Verfahren zu gewinnen und zu nutzen. Dieses wichtige Querschnittsthema erlaubt es beispielsweise, durch die Integration neuer Produktionsmethoden wie des 3D-Drucks zunächst nur Informationen anstatt Materialien zu versenden und die benötigten Bauteile just-in-time vor Ort zu produzieren. Auch können mit der Entwicklung neuer logistischer digitaler Konzepte z. B. Produktionsstandorte deutlich dezentralisierter und mit verringerten Lagerhaltungen gebaut werden, was ebenfalls Transporte, Materialverluste und Lagerkapazitäten mindern kann. Bei der Materialauswahl ermöglichen es die mit digitalisierten Komponenten gewonnenen Daten Produkte hinsichtlich der Funktionalität und Kreislauffähigkeit zu optimieren und so Ressourcen zu schonen.

Die Digitalisierung in bayerischen Unternehmen hat also ein hohes Potenzial, betriebliche Prozesse effizienter und materialsparender zu gestalten und dadurch die Ressourceneffizienz zu steigern. Die drei Fachprojekte zum Themenschwerpunkt Digitalisierung zielten darauf ab, neue Algorithmen und weitere innovative, nutzerorientierte digitale Werkzeuge zu entwickeln, um die Verarbeitung vielfältiger Daten zum Zwecke einer gesteigerten Ressourceneffizienz voranzutreiben.

Fachprojekte:

- Erhöhung der Ressourceneffizienz durch Einsatz von verwendungsnahen 3D-Drucktechnologien – REV3D
- Steigerung der Ressourceneffizienz bei KMU und Handwerk durch ein digitales Benchmark-System für Abfallverwendungs- und Abfallvermeidungspotenziale – KMU Di-giCheckAbfall
- Digitale multikriterielle Materialauswahl zur optimierten Kreislauffähigkeit von Kunststoffproduktion – DIMOP

## **Integrierte Produktpolitik (IPP) – Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus**

Ein wesentlicher Beitrag zum schonenden Umgang mit Ressourcen ist die Betrachtung sämtlicher Lebensphasen eines Produkts von der Gewinnung der Rohstoffe bis hin zur Entsorgung am Ende seiner Nutzungsphase. Dadurch können mit dem Produkt verbundene Umweltauswirkungen vermieden bzw. vermindert werden. Der Themenschwerpunkt der Integrierten Produktpolitik (IPP) im Rahmen des Projektverbunds umfasst hier vor allem Vorhaben, welche durch eine Etablierung oder Erhöhung des Recyclings der Produkte selbst sowie der anfallenden Nebenprodukte und Abfälle zu einer Steigerung der Ressourceneffizienz entlang des gesamten Lebenswegs von Wirtschaftsgütern führen. So ist beispielsweise die Recyclingfähigkeit wertvoller Inhaltsstoffe ein wichtiger Aspekt, der unter Beachtung technischer und ökonomischer Randbedingungen untersucht werden muss.

Ein erhöhtes Recycling ermöglicht stets die Reduzierung der Rohstoffentnahme aus den endlichen natürlichen Lagerstätten. Herausforderungen beim Recycling bestehen unter anderem in der hohen Materialdiversität der Produkte sowie im häufig sehr komplexen Produktdesign. Für Produkte, die ihr Lebensende erreicht haben, besteht somit auch in einer ausgereiften Entsorgungswirtschaft immer noch Forschungsbedarf für die Entwicklung effizienterer Recyclingtechnologien. Die Steigerung des Recyclings kann dabei sowohl auf Massenrohstoffe wie Kunststoffe, Eisen und Buntmetalle als auch auf so genannte kritische Rohstoffe mit hohem Versorgungsrisiko oder großer wirtschaftlicher Bedeutung abzielen.

Die vier Projekte des Projektverbunds zum Themenschwerpunkt der Integrierten Produktpolitik entwickelten und erforschten beispielsweise optische, mechanische, elektrohydraulische und thermochemische Prozesse, um die Kreislaufführung von Ressourcen zu steigern.

Fachprojekte:

- Innovative Recycling-Verfahren für Elektroschrott – IRVE
- Plattformtechnologie zur Verwertung chlorhaltiger Abfälle und Rückgewinnung kritischer Metalle – Chlor-Plattform
- Rohstoffsicherung und -erhalt durch Aufbereitung und Verwertung von Gießerei-Stäuben - Bayerisches Konsortium für Gießereistaub-Metall-Rückgewinnung – BGMR
- Recycling von Wärmedämmverbundsystemen – WDVS

### **Substitution von Werkstoffen/Materialien**

In vielen unserer alltäglichen Produkte werden Materialien mit vergleichsweise hohem Ressourcenverbrauch bei deren Herstellung eingesetzt. Durch die Substitution, also den Ersatz eines oder mehrerer Einsatzstoffe durch andere Materialien mit gleicher Funktionalität aber geringerem Ressourcenverbrauch bei der Herstellung, kann die Ressourceneffizienz oft deutlich gesteigert werden. Beispielsweise lässt sich durch die Substitution versorgungskritischer Stoffe eine Entkopplung der Wirtschaft von der Importabhängigkeit erreichen. Von Vorteil ist auch, wenn Materialien mit besonders negativen Umweltauswirkungen im Stoffkreislauf vermieden werden. Eine Substitution kann dabei an verschiedenen Stellen von Produktionsketten erfolgen, so beispielsweise bei den Rohstoffen in der Bereitstellungskette oder bei den verwendeten Hilfs- und Betriebsstoffen. Beim Ersatz von Stoffen durch Alternativen ist die Höhe des Nutzens und die Funktionalität des Materials zu beachten. Nutzen bzw. Funktionalität sollten mindestens vergleichbar bleiben, im Idealfall treten sogar Verbesserungen ein.

Eine Substitution in der Bereitstellungskette liegt beispielsweise vor, wenn Technologiemetalle nicht mehr aus im Ausland abgebauten Erzen, sondern aus inländischen Produktionsrückständen gewonnen werden. Dabei ist vor allem eine gleichbleibende Qualität der sekundären Stoffe von Bedeutung. Gegebenenfalls ist die Entwicklung neuer Technologien erforderlich. Der Sonderfall, dass durch eine Verfahrensumstellung bestimmte Rohstoffe gar nicht mehr benötigt werden, bietet naturgemäß das größte Potenzial zur Steigerung der Materialeffizienz.

Im Themenschwerpunkt Substitution des Projektverbundes entwickelten drei Projekte neue Technologien und Prozesskombinationen, um die Ressourceneffizienz im Bauwesen zu steigern, Erze der Seltenen Erden durch bayerische Produktionsabfälle zu ersetzen oder gänzlich auf den Einsatz von Zinnverbindungen in der Glasindustrie zu verzichten.

Fachprojekte:

- Erhöhung der Nachhaltigkeit in der Behälterglasindustrie durch Vermeidung von Beschichtungen – VaporCoat
- Optimierung der Holz-Beton-Verbundbauweise durch Verwendung natürlicher und ökologischer Werkstoffe – HB(Ca)V
- Chemische Mobilisierung und Mikroalgen-basierte Bioadsorption von Seltenen Erden und Wertmetallen aus Kaolinit und anderen Wertstoffen – MiKa

### 3.1.1.2. Arbeitskreise

Zur weiteren Vernetzung der Projekte parallel zu den fachlichen Clustern wurden Arbeitskreise gebildet. Die Einteilung fand hier nach werkstofflicher Ausrichtung – Baustoffe, Kunststoffe und Verpackungen sowie Metallen – statt. Hierbei konnten Einzelprojekte im Vergleich zu den Clustern, bei denen die Projekte jeweils einem Themenschwerpunkt zugeordnet waren, auch in mehreren Arbeitskreisen mitwirken. Die Einteilung ist nachfolgend dargestellt.

- Baustoffe  
(4 Teilprojekte: HB(Ca)V, KMU DigiCheckAbfall, MiKa, WDVS)
- Kunststoffe und Verpackungen  
(6 Teilprojekte: VaporCoat, KMU DigiCheckAbfall, DIMOP, CI-Plattform, IRVE, WDVS)
- Metalle  
(5 Teilprojekte: KMU DigiCheckAbfall, CI-Plattform, MiKa, BGMR, IRVE)

In den Arbeitskreisen wurden im Speziellen die Themen Ressourceneffizienzbewertung und Markteinführung von Effizienztechnologien aufgegriffen und diskutiert.

Beim Thema der Ressourceneffizienzbewertung sollten die Teilnehmer ihre Erfahrungen mit Methoden und Kennzahlen sowie deren Anwendung zur Bewertung von Ressourceneffizienz einbringen, um sich gegenseitig zu informieren und so möglicherweise neue Aspekte in den Arbeiten mit aufnehmen zu können.

Der Austausch zeigte, dass die meisten Projekte mit denselben Kennzahlen wie Transportweg, Energieverbrauch, Humantoxizität, Süßwassereutrophierungspotential, terrestrisches Versauerungspotential, Treibhausgaspotenzial / Global Warming Potential und Abwasseraufkommen arbeiten bzw. diese Kriterien den Projektmitarbeitern bekannt sind. Deshalb wurden die diskutierten Ergebnisse in einer gemeinsamen Tabelle (siehe Tabelle 1) zusammengefasst.

**Tabelle 1: Übersicht der Ergebnisse aus dem Arbeitskreis zu bekannten Kennzahlen zur Ressourcenbewertung**

<b>Kennzahl</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Anwendung</b>
<b>Transportweg</b>	Transportweg in km	Welche Entsorgungsmöglichkeit ist näher? (Weniger Emission beim Transport)
<b>Energieverbrauch</b>	Energieverbrauch pro Einheit / Energieverbrauch pro kg Endprodukt	Welche Entsorgungsmethode hat den höheren Energieverbrauch? / Vergleich der Prozesseffektivität
<b>Humantoxizität</b>	Giftwirkung auf Menschen in CTUh/kg	Wenn ein Staub wiederverwertet wird, werden seine Auswirkungen auf Mensch & Umwelt bei Exposition verhindert. Das wird im Modell belohnt. Einen sehr giftigen Stoff wiederzuverwerten ist dabei besser als einen ungiftigen Stoff wiederzuverwerten.
<b>Süßwassereutrophierungspotential</b>	Anreicherungspotential in kg P-eq/ kg	Prinzip s. Humantoxizität
<b>terrestrisches Versauerungspotential</b>	Versauerung an Land in kg SO <sub>2</sub> -eq/kg	Prinzip s. Humantoxizität
<b>Treibhausgaspotenzial / Global Warming Potential</b>	Unter dem Treibhauseffekt wird die klimarelevante Veränderung der Atmosphäre durch den anthropogenen Beitrag von Treibhausgasemissionen verstanden, die zu einer Erwärmung der Erde führt.	Zur Erfassung des Treibhausgaspotenzials werden die in der Sachbilanz erfassten Treibhausgase mit sogenannten Charakterisierungsfaktoren multipliziert, die ihre Klimarelevanz in Relation zu CO <sub>2</sub> abbilden, und die einzelnen Beiträge addiert. Auf diese Weise wird das Treibhausgaspotenzial in Form von CO <sub>2</sub> -Äquivalenten (CO <sub>2</sub> -eq.) errechnet.
<b>Abwasseraufkommen</b>	Bestimmung des Wasserverbrauchs im Produktionsprozess in m <sup>3</sup>	Abschätzung der Umweltbelastung

Beim zweiten Diskussionspunkt - der Markteinführung - stand der Fokus des Austauschs darin, sich zu beraten oder sich über Erfahrungen auszutauschen, welche Methoden es gibt, eine Kennzahl in den Markt zu integrieren. In den Diskussionen wurden Vorschläge zu geeigneten Kenngrößen eingebracht. Dazu zählen das Modell zur ökologischen Bewertung, der CO<sub>2</sub>-Budget-Ansatz und die Amortisationszeit. In der Tabelle 2 sind die Methoden zur Markteinführung, eine Beschreibung, Vorteile, Nachteile und mögliche Wertungen aufgelistet.

**Tabelle 2: Übersicht der Methoden zur Markteinführung von Kennzahlen**

<b>Methode zur Markteinführung</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	<b>Wertung</b>

<b>Modell zur ökologischen Bewertung</b>	Modell welches aus beliebig vielen Indikatoren besteht, die zu einem Gesamtindikator aggregiert sind, und eine Bewertung hinsichtlich der Entsorgung aus ökologischer Sicht erlauben.	Bottom-Up: Besonders für KMUs viel einfacher umzusetzen als LCAs. Simple Einschätzung als Entscheidungshilfe.	Nicht vollumfassend. Wenige Indikatoren verringern Aussagekraft. Gefahr von Greenwashing.	
<b>CO<sub>2</sub>-Budget-Ansatz</b>	CO <sub>2</sub> -Budget im Sinne eines Guthabens an max. emittierbaren Treibhausgasen, welche durch die verwendeten Baustoffe bzw. bei deren Herstellung entstehen	Das CO <sub>2</sub> -Budget ist ein geeignetes Mittel, um die Wirkung der Nutzung von klimaschonenden Baustoffen quantitativ zu bestimmen. Es ist zudem eine Globale Messgröße für den Klimaschutz.	Seriöse CO <sub>2</sub> -Kennzahlen sind nicht für alle Baustoffe verfügbar.	
<b>Amortisationszeit</b>	Zeit bis die getätigten Investitionen zur Prozesseinführung durch Gewinne ausgeglichen werden können		Stark abhängig von aktuellen Verkaufspreisen der Metalle, welche stark schwanken	Standardkennzahl für wirtschaftliche Investitionen

Ebenso sollten Hindernisse, die es bei der Markteinführung geben kann und mögliche Lösungsvorschläge erarbeitet werden. Diese sind in Tabelle 3 aufgeführt.

**Tabelle 3: Übersicht von Hindernissen bei der Markteinführung von Kennzahlen und Lösungsansätze zu deren Überwindung**

<b>Hindernis bei der Markteinführung</b>	<b>Erläuterung</b>	<b>Möglichkeiten zur Überwindung des Hindernisses</b>
<b>Implementierung von Innovation</b>	Modell muss in Betrieb implementiert werden. Kostet Zeit und damit Geld.	Aufklärungsarbeit: Es muss dargestellt werden, wieso sich eine Investition bzw. der Zeitaufwand lohnen kann.
<b>Indikatorendefinition</b>	Indikatoren müssen definiert und an Gießerei angepasst werden (welche Daten kann welche Gießerei erheben?)	Regelmäßiger Austausch zwischen Wissenschaft und Industrie: Welche Indikatoren sind sinnvoll? (→ Wissenschaft), Welche Daten sind erhebbar? (Industrie)
<b>Widerstand der Industrie (z. B. Zement/Beton-Lobby)</b>	Hersteller konventioneller Baustoffe (z. B. Zementhersteller, Betonwerke und Ziegeleien) fürchten, Marktanteile zu verlieren.	Anrechnung von Recyclingmaterial, Förderung von Hybrid-Bauweisen
<b>Hohe Investitionskosten</b>	Produktionsanlage muss neu gebaut werden	

<b>Konkurrenz mit anderen Rohstoffproduzenten</b>	Metallproduktion muss sich finanziell mit anderen Verfahren messen können	Verwendung von Reststoffströmen, die keine anderweitige Verwendung haben
---	---	--

### 3.1.2. Projektfortschritt – Organisation von Veranstaltungen und Berichte (AP 1.2)

Der Projektfortschritt und die erzielten Ergebnisse wurden über die Verbundtreffen (erstes und zweites Statustreffen) sowie in den Berichten (Zwischenberichte, Abschlussberichte, Meilensteinberichte) strukturiert und dokumentiert. Ebenso wurden die Ergebnisse in Form der Abschlussberichte, die auf der Internetseite des StMUV einzusehen sind, der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

#### 3.1.2.1. Auftaktveranstaltung

Die öffentliche Auftaktveranstaltung am 06. November 2019 in der Münchener Residenz diente der Vorstellung des Projektverbundes ForCYCLE II für die interessierte Öffentlichkeit. Als Vertreter des StMUV gab Amtschef Ministerialdirektor Dr. Christian Barth den offiziellen Starschuss zum Verbund. Zudem gab der Gastvortrag von Frau Prof. Dr. Uta M. Feser, Präsidentin der Hochschule Neu-Ulm und Vorsitzende von Hochschule Bayern e.V., einen Einblick über die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Möglichkeiten, die der Forschungsverbund mit sich bringt. Neben der Erläuterung des Verbundes wurden schließlich die zehn Einzelprojekte sowie das Dachprojekt in Kurzvorträgen, sog. Pitches, im Plenum vorgestellt. Eine ausführlichere Darstellung des Inhalts und der Ziele durch die Mitarbeitenden sowie die Projektleiter erfolgte in sog. Bar Camps anhand von Postern zu jedem Projekt, die gemäß der Zuordnung zu den jeweiligen drei Themenschwerpunkten Digitalisierung, Integrierte Produktpolitik und Substitution gruppiert waren. Somit hatten alle interessierten Teilnehmenden die Möglichkeit, sich ausreichend über den Projektverbund ForCYCLE II, die zehn Fachprojekte und das Dachprojekt zu informieren.

Die Programmgestaltung sowie der Einladungsflyer wurden wie auch die Vorlagen für Poster und Präsentationen im Rahmen des Dachprojektes vorbereitet, selbstverständlich in enger Abstimmung mit dem StMUV.





**Abbildung 2: Impressionen von der Auftaktveranstaltung**

### **3.1.2.2. Erstes Statustreffen**

Der erste projektinterne Austausch am 04. November 2020 musste aufgrund der Corona-Pandemie als reine online-Veranstaltung durchgeführt werden. Das Treffen beinhaltete die Darstellung des methodischen Vorgehens, der im ersten Projektjahr umgesetzten Arbeiten, der bereits erreichten Ziele, der offenen Fragen und der geplanten weiteren Schritte, wofür wiederum eine einheitliche Folienvorlage bereitgestellt wurde.

Das Treffen förderte neben der Projektfortschrittskontrolle vor allem die interne Vernetzung des Projektverbundes. So stellten sich nach einer Begrüßung durch Prof. Dr. Andrea Klug, Präsidentin der OTH Amberg-Weiden, Prof. Dr. Jürgen Koch, Dekan der Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik der OTH Amberg-Weiden und Prof. Dr. Mario Mocker, Wissenschaftlicher Koordinator des Projektverbundes ForCYCLE II, OTH Amberg-Weiden, und einer Einführung von Dr. Julia Fendt, Koordinatorin des Projektverbundes ForCYCLE II beim StMUV, die Projekte anhand von Kurzpräsentationen in Form von Pitches, ähnlich zur Auftaktveranstaltung, nochmals vor. Die detaillierte Darstellung des Projektfortschritts sowie der anstehenden Aufgaben fand in parallelen Sessions, gegliedert nach den Themenschwerpunkten statt. Eine an jede Vorstellung anknüpfende Diskussion gab den weiteren Teilnehmenden aus den anderen Projekten desselben Themenschwerpunkts die Möglichkeit, weitere Informationen über das Projekt zu erhalten oder mögliche Berührungspunkte zu den eigenen Projektvorhaben zu analysieren. Im weiteren Verlauf stellte Frau Dr. Fendt noch einige organisatorische Punkte sowie Markus Bär, Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Projekt NetCYCLE II, OTH Amberg-Weiden, Informationen zu den Arbeiten im Dachprojekt, die den Projektverbund betreffen, vor. Abgerundet wurde die Onlineveranstaltung durch einen Vortrag von Marie Mehrens, Ressourceneffizienz-Zentrum Bayern, die aus dem Forschungsbericht des REZ mit dem Titel „Effizienz zahlt sich aus, Zahlen, Daten, Fakten zur Ressourceneffizienz in Bayern“ für den Forschungsverbund wichtige Erkenntnisse präsentierte.

Zudem boten Pausen und eine Abschlussdiskussion die Gelegenheit der Vernetzung und des Austauschs der Projektteilnehmer untereinander.

### **3.1.2.3. Zweites Statustreffen**

Auch das zweite Statustreffen am 11. November 2021 musste aufgrund der Corona-Pandemie online stattfinden. Neben der weiteren Vernetzung der insbesondere auf Basis der zu diesem Zeitpunkt bereits erreichten Projektergebnisse, lag ein weiterer Fokus auf Synergieeffekten der Projekte untereinander. Das zweite Projekttreffen startete mit einer Begrüßung durch den neuen Präsidenten

der OTH Amberg-Weiden, Prof. Dr. med. Clemens Bulitta. Daraufhin folgte wieder eine Kurzpräsentation aller Projekte in Form von Pitches. Dieses Mal sollte es keine Vorstellung des Inhalts und der Ziele sein, sondern einen kurzen Überblick über die bereits erreichten Ergebnisse und die weiteren Aufgaben aufzeigen, wodurch sich alle Projekte gegenseitig auf den aktuellsten Projektstand gebracht haben. Im späteren Verlauf präsentierten in wieder parallel stattfindenden Sessions der Themenschwerpunkte die Projektmitarbeiter die detaillierte Planung und Durchführung sowie den Fortschritt und Zwischenergebnisse zum aktuellen Stand. Um mögliche Synergieeffekte zu erläutern, wurde hier nach allen Vorträgen eine Diskussion zu den Arbeiten selbst aber auch zu auftretenden Hindernissen und Schwierigkeiten sowohl inhaltlich als auch organisatorisch, vor allem hinsichtlich der Einschränkung durch die Corona-Pandemie, durchgeführt. Zudem wurden in jedem Themenschwerpunkt mögliche Gemeinsamkeiten analysiert. Nachfolgend ist eine zusammengefasste Übersicht der Diskussionen zu den Themenschwerpunkten Digitalisierung, Integrierte Produktpolitik und Substitution dargestellt.

### **Substitution**

- Gemeinsamkeit der Projekte: auf den ersten Blick haben die Projekte keine Gemeinsamkeiten, aber alle Projekte zielen auf ungiftige, ungefährliche Substanzen ab (Zinnoxid, Beton, Seltene Erden).
- Hohe Umweltbelastung in der Wertschöpfungskette: In der Vorkette bestehen allerdings Umweltbelastungen (zinnorganische Verbindungen, hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Zementherstellung, Abbau und Verarbeitung von Seltenen Erden in China).
- Ressourcensparende Verfahren: Durch die Projekte werden Umweltbelastungen in der Vorkette vermindert.

### **Integrierte Produktpolitik**

- Rolle der Stoffströme: Betrachtung der ganzheitlichen Stoffströme als wichtiger Aspekt. Sinnvolle Weiterverwendung von Reststoffen aus den Projekten; Berücksichtigung der Faktoren Raum und Zeit, wo und wie lange Stoffe gebunden sind
- Ähnlichkeit der Strategien: Unterschiedliche Inhalte der Einzelprojekte aber Vorgehensweise oder Strategien sind ähnlich, weshalb man hier voneinander profitieren kann.
- Begriff der Ressourceneffizienz: Offene Frage der „korrekten“ Definition des Begriffs der Ressourceneffizienz

### **Digitalisierung**

- Ökologie und Ökonomie: Im Projekt KMU DigiCheckAbfall wird erwartet, dass sich im Zuge der verstärkten Nachfrage nach Sekundärrohstoffen (u.a. durch europäische Initiativen wie Green Deal, Kunststoffstrategie etc., aber auch dem Interesse der Öffentlichkeit an umweltfreundlichen Produkten) ebenfalls eine günstige Situation wie in REV3D einstellen wird, zumindest für manche Materialien. → Abfalltrennung könnte sich finanziell (stärker) rentieren
- Datenverfügbarkeit:
  - Die Datenverfügbarkeit bei Unternehmen, besonders bei KMU, ist eine Herausforderung in den Projekten.

- Ziel ist es, den Aufwand für die Bereitstellung so gering wie möglich zu halten aber trotzdem aussagekräftige Ergebnisse erzielen.
- In KMU DigiCheckAbfall war es teilweise notwendig, auf in Vor-Ort-Begehungen erhobene Daten oder andere qualitative Daten zuzugreifen.
- Breite Öffentlichkeit / Umsetzung:
  - Im Projekt REV3D wird eine Buchveröffentlichung vorbereitet
  - KMU DigiCheckAbfall wird Ergebnisse u.a. über Innungen verbreiten
  - Das Projekt DIMOP war beim zweiten Statustreffen bereits abgeschlossen.

Zur weiteren Vernetzung fand ein an das online-Format angepasstes „Worldcafé“ statt. Hierzu wurden die Teilnehmer nach dem Zufallsprinzip in drei virtuelle Gruppenräume verteilt. Alle drei Gruppen hatten als Ausgangsthema „Erfolgsfaktoren für Effizienztechnologien – Best Practice aus den Fachprojekten und darüber hinaus“ zu diskutieren und einige Schlagwörter bzw. wichtige Faktoren zu notieren. Diese blieben in den jeweiligen virtuellen Gruppenräumen zurück. Nach Ablauf der Zeit wurden erneut jeweils drei zufällig zusammengesetzte Gruppen ermittelt und wieder in die drei Gruppenräume verteilt. Nun war es die Aufgabe die Notizen der vorherigen Gruppe aufzunehmen und mit den eigenen Gedanken bzw. aus den Diskussionen der eigenen Vorgruppe zu besprechen und ggf. neue Aspekte zu ergänzen und niederzuschreiben. Nach Ablauf der vorgegebenen Zeit, fand eine dritte und letzte neue Konstellation von Dreiergruppen statt.

Nachfolgende sind Diskussionsergebnisse alle Gruppen zusammengefasst dargestellt.

Thema: „Erfolgsfaktoren für Effizienztechnologien – Best Practice aus den Fachprojekten und darüber hinaus“

Normen, Richtlinien, Verordnungen, Ansätze:

- Staatliche Vorgaben erforderlich, da Umweltschutz meistens Geld kostet
- Langlebigere Produkte sinnvoll
- Änderung der Geschäftsmodelle (nutzen statt besitzen) / Sharing economy

Ressourceneffizienz:

- Nur dann erfolgreich, wenn sie in den übergeordneten Rahmen passt (z. B. CO<sub>2</sub>-Einsparung) → z. B. keine 100%-ige Effizienz anzustreben, wenn im Verhältnis dazu wesentlich mehr CO<sub>2</sub> freigesetzt wird

Ökologie und Ökonomie:

- Effizienztechnologien sind günstigstenfalls von selbst wirtschaftlich

Aufklärung:

- Nehmen von Ängsten und Vorurteilen vor neuen Technologien bei Verbrauchern und Unternehmen
- Personen als „Leuchtturm“ für best-practice Beispiele (regional und überregional)

Kommunikation:

- Prozessschrittübergreifend, interdisziplinär, projektübergreifend
- In die Öffentlichkeit: verständlich, attraktiv für Fachfremde → Bereitschaft zu Qualitätseinbußen/ höheren Kosten bei/für ökologische/n Produkte/n
- Lobbyarbeit der Wissenschaft für mehr Ressourceneffizienz

- Beispiele durch öffentliche Hand

Wissenstransfer:

- In die Unternehmen und die breite Öffentlichkeit
- Komplexe Themen für die breite Mehrheit darstellen
- Nutzung von modernen Medien und Plattformen
- Plattformen für Transferstrategien bekannter machen z. B. bayern innovativ, umwelt-cluster
- Stärkere Einbindung von Start-ups (sind evtl. offener und leichter zu gewinnen)

Technologien:

- Intelligente Verschaltung von Stoffströmen (auch innerhalb des Projektverbunds ForCYLCE II)
- Übertragbarkeit der entwickelten Prozesse auf andere Wirtschaftsbereiche
- Zwei Probleme zu einer Lösung verbinden
- Methoden zur Erkennung von Ressourceneffizienzpotenzialen
- Entwickelte Verfahren in die Anwendung bringen
  - Dies muss schneller passieren als aktuell möglich (u.a. Zertifizierung, Normung)
- Längere Produktlebensdauer durch Änderung der Geschäftsmodelle (nutzen statt besitzen)
- Bei der Entwicklung von Technologien für eine gesteigerte Ressourceneffizienz auf Anwenderfreundlichkeit achten

Motivation von Unternehmen, ressourceneffizienter zu werden:

- Einsparung Rohstoffkosten ist ausschlaggebend
- Integrierbarkeit in bestehende Prozesse
- Bei Einsatz von Abfällen: Konstanz/ Verlässlichkeit von Stoffströmen
  - Daten zum Matching von Angebot und Nachfrage sind notwendig
- Unternehmensseitig besteht die Bereitschaft, Daten und Informationen preiszugeben, wenn eine Kosteneinsparung möglich wird

Das „Worldcafé“ hat zu regen Diskussionen in verschiedensten Konstellationen geführt, da in allen 3 Runden die Teilnehmer in allen 3 Räumen jeweils zufällig ausgewählt wurden. Somit fanden themenschwerpunktübergreifende Diskussionen statt. Eine Diskussionsrunde dauerte 20-30 Minuten. Dadurch sind die vielen aufgeführten Ansätze entstanden, was zeigt, dass sich diese Art der Onlinekommunikation in verschiedenen Kleingruppen als sehr zielführend erwiesen hat.

#### **3.1.2.4. Abschlussveranstaltung**

Zum Ende des Projektverbundes fand eine zweitägige Abschlussveranstaltung am 27. und 28. Juni 2022 statt. Den ersten Tag stellte eine öffentliche Konferenz im Amberger Congress Centrum (ACC) in Amberg unter Beisein des Bayerischen Staatsministers für Umwelt und Verbraucherschutz Thorsten Glauber, MdL, dar. Die Begrüßung fand durch Prof. Dr. med. Clemens Bulitta, Präsident der OTH Amberg-Weiden statt. Im Anschluss folgten eine Ansprache von Minister Thorsten Glauber und das Grußwort durch Michael Cerny, Oberbürgermeister der Stadt Amberg. In einem Dialog zwischen

Prof. Dr. Mario Mocker, Wissenschaftlicher Koordinator des Projektverbundes ForCYCLE II, OTH Amberg-Weiden und Berenike Beschle (Moderatorin der Veranstaltung), Bayerischer Rundfunk stelle Herr Mocker die zehn Fachprojekte und das Dachprojekt des Projektverbundes ForCYCLE II kurz vor. Als weiteren Programmpunkt stellte Herr Alexander S. Wolf (17Academy) die Bedeutung des Netzwerkens in seinem Vortrag „Die mächtigste Ressource: Netzwerk“ heraus und zeigt darin, wie wichtig dieser Punkt nicht nur in der Wissenschaft, sondern auch im Alltag ist. Im Anschluss folgte eine Besichtigung der Abschlussposter aller Projekte zusammen mit Staatsminister Glauber. Die Posterausstellung bot zudem allen Anwesenden die Gelegenheit sich zusätzlich über die Projekte zu informieren. Der Nachmittag startete mit einem interaktiven Podiumsgespräch mit Frau Prof. Dr. Christiane Hellbach, Vizepräsidentin der Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, wissenschaftliche Leiterin des Instituts für Nachhaltigkeit und Ethik, Herr Dr. Philipp Sprau, Leiter Ressourceneffizienz-Zentrum Bayern REZ, Herr Dr. Norbert Ammann, Referatsleiter Umwelt, Energie, Klima, Bereich Standort, Mobilität, Handel, Dienstleistungen, IHK München und Oberbayern, Herr Alfred Kailing, stv. Hauptgeschäftsführer Handwerkskammer für Schwaben und Herr Hermann Brandl, Leiter Geschäftsstelle Regensburg, vbw - Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. zum Thema des Einflusses und der Wichtigkeit von Forschungsverbänden in Wirtschaft und Gesellschaft. Der Konsens der Gesprächsrunde zeigte die Notwendigkeit von Forschungsverbänden und deren Ausgangspunkt als Ideengeber für Entwicklung von Technologien und Verfahren in jeglicher Hinsicht.

In Anschluss folgte die Vorstellung der Projekte über deren Inhalt, Ziele, Durchführung, Vorgehen und den erzielten Ergebnissen. Die Präsentationen fanden geordnet nach den Themenschwerpunkten wie nachfolgend dargestellt statt. Hierbei sind alle Projekte und deren Projektleiter und Projektmitarbeiter aufgeführt.

#### Projektvorstellung Digitalisierung

- REV3D - *Erhöhung der Ressourceneffizienz durch Einsatz von verwendungsnahen 3D-Drucktechnologien* (Prof. Dr. Oliver Kunze, Fabian Frommer (Hochschule Neu-Ulm), (Prof. Dr. Johannes Schilp, Fabio Oettl (Universität Augsburg))
- KMU DigiCheckAbfall - Steigerung der Ressourceneffizienz in KMU und Handwerk durch ein digitales Benchmarksystem für Abfallvermeidungs- und Abfallverwertungspotentiale (Prof. Reinhard Büchl, Andreas Kuhn (Technische Hochschule Ingolstadt))
- DIMOP - *Digitale multikriterielle Materialauswahl zur optimierten Kreislauffähigkeit von Kunststoffprodukten* (Prof. Dr. Axel Winkelmann, Norman Pytel, Tobias Prätori (Julius-Maximilians-Universität Würzburg))

#### Projektvorstellung Integrierte Produktpolitik

- IRVE - *Innovative Recyclingverfahren für Elektroschrott* (Prof. Dr. Ulrich Bochtler, Florian Beck (TH Aschaffenburg))
- Chlor-Plattform - *Plattformtechnologie zur Verwertung chlorhaltiger Abfälle und Rückgewinnung kritischer Metalle* (Prof. Dr. Burkhard Berninger, Michael Peer (OTH Amberg-Weiden, Universität Regensburg))
- BGMR - Rohstoffsicherung und -erhalt durch Aufbereitung und Verwertung von Gießerei-Stäuben – Bayerisches Konsortium für Gießereistaub-Metall-Rückgewinnung (Prof. Dr. Richard Weihrich, Christian Strakos (Universität Augsburg))
- WDVS - Recycling von Wärmeverbundsystemen (Prof. Dr. Ulrich Teipel, Thomas Fehn (Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm))

## Projektvorstellung Substitution

- VaporCoat - Erhöhung der Nachhaltigkeit in der Behälterglasindustrie durch Vermeidung von Beschichtungen (Prof. Dr. Thorsten Gerdes, Barsheek Roy, Frank Bayer (Universität Bayreuth))
- HB(Ca)V - Optimierung der Holz-Beton-Verbundbauweise durch Verwendung natürlicher und ökologischer Werkstoffe (Prof. Dr. Sergej Rempel, Michael Mikoschek (Hochschule Augsburg))
- MiKa - Chemische Mobilisierung und Mikroalgen-basierte Bioadsorption von Seltenen Erden aus Kaolinit und anderen Wertstoffen (Prof. Dr. Tom Nilges, Prof. Dr. Thomas Brück, Michael Paper, Max Koch (Technische Universität München))

Zum Abschluss wurden die Tätigkeiten des Dachprojekts NetCYCLE II - Vernetzung und Bewertung innovativer Ressourceneffizienzpotenziale in der bayerischen Wirtschaft (Prof. Dr. Mario Mocker, Markus Bär (OTH Amberg-Weiden)) dargestellt und ein Resümee zum Projektverbund ForCYCLE II durch Prof. Mocker gezogen.

Pausen und eine Posterbesichtigung boten zahlreiche Möglichkeiten für den Austausch und das Netzwerken. Die interessierten Personen hatten die Möglichkeit die Veranstaltung vor Ort in Präsenz zu besuchen oder per Livestream an der Veranstaltung teilzunehmen.



**Abbildung 3: Impressionen vom öffentlichen Teil der Abschlussveranstaltung**

Der zweite Tag der Abschlusskonferenz wurde in den Räumlichkeiten der OTH Amberg-Weiden am Standort Amberg durchgeführt. Dieser war ausschließlich für die Projektbeteiligten sowohl aus der

Wirtschaft als auch der Wissenschaft vorgesehen. Da hier viele Fachvertreter im Bereich Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz vertreten waren, sollte der zweite Tag zur Ausarbeitung von Ansatzpunkten zur Erzielung einer klimaneutralen Kreislaufwirtschaft gemäß der Agenda der Europäischen Union bis 2050 erarbeitet werden. Zum Auftakt stellte Herr Dr. Christian Haubach, Geschäftsführer Institut für Industrial Ecology (INEC), Hochschule Pforzheim, in einem Impulsvortrag mit dem Titel „Klimaschutzbeiträge durch Ressourceneffizienz – Konzepte und Erfahrungen aus der betrieblichen Praxis“ erste Anregungen vor. In Anlehnung an die Methodik eines Lean Coffee wurden in verschiedenen Kleingruppen folgende 11 Ansatzpunkte für drei unterschiedliche Zielgruppen erarbeitet:

- Regulierung (Zielgruppe Politik)
  - Rahmenbedingungen zum Produktdesign (z. B. Vorgaben zur erleichterten Reparierbarkeit oder Kreislaufführung)
  - Reparierbarkeit
  - Quotenregelungen (z. B. zur Verwendung von Rezyklaten)
  - Nachhaltigkeitsbewertung (z. B. Transparenz der Umweltauswirkungen von Produkten)
- Produkte (Zielgruppe Unternehmen und Forschung)
  - Design for Recycling (z. B. Verzicht auf unlösbare Verbindungen, Reduzierung der Materialvielfalt)
  - Design to save (z. B. materialsparende Konstruktionen)
  - Design to Repair / Design for Life (z. B. leicht wechselbare Verschleißteile)
  - Reversed Engineering (bei der Kreislaufführung am Ende der Nutzungsphase ansetzend)
- Konzepte (Zielgruppe Gesellschaft)
  - Nutzung nachhaltiger Geschäftsmodelle (z. B. Leasing/Sharing)
  - Nachhaltigkeitskennzeichnung (zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten bei der Kaufentscheidung)
  - “Think Global - use/produce local“ (z. B. zur Verringerung von Transportwegen)

### **3.1.2.5. Berichte**

Verschiedene Berichte sollten einen Überblick über den Projektfortschritt vor allem für die Projekte selbst gewährleisten. Hierzu erstellten alle zehn Fachprojekte und das Dachprojekt jährlich einen Zwischenbericht (erster und zweiter Zwischenbericht, Abgabe Juli 2020 und Juni 2021). Diese enthalten zusammengefasst, welche Arbeitspakete die Projekte im Berichtsjahr bearbeitet haben und wie diese durchgeführt wurden.

Als zusätzliche Eigenkontrolle dienten die Meilensteinberichte. Meilensteine stellten besonders bedeutsame abgeschlossene Arbeiten dar. Häufig sind sie mit dem Abschluss eines Arbeitspakets oder essentieller Arbeitsbereiche verbunden.

Als finale Zusammenfassung der Projektarbeit jedes einzelnen Projekts dient der Abschlussbericht. Dieser enthält sämtliche Informationen über den Hintergrund, die Projektziele, die Durchführung und die Ergebnisse eines Projekts. Die Abschlussberichte jedes Projekts sind für die Öffentlichkeit auf der Internetseite des StMUV abzurufen.

Zudem bietet eine Ergebnisbroschüre einen komprimierten Überblick über den Projektverbund ForCYCLE II sowie dem Dachprojekt und den zehn Fachprojekten.

Alle Berichte wurden innerhalb des Dachprojekts gesammelt, gesichtet und gebündelt an das StMUV übermittelt.

### **3.1.3. Wissensaustausch – Organisation von Workshops, Einrichten einer Plattform zum Austausch von Daten und Informationen**

Für die bereits erwähnten Arbeitskreise wurde ein turnusmäßig stattfindender „Kaffeeklatsch“ in der zweiten Hälfte der Verbundlaufzeit eingeführt. Dabei konnten sich die Teilnehmer über die Zielsetzungen der Arbeitskreise austauschen, interdisziplinäre Berührungspunkte abstimmen sowie allgemeine Fragestellungen des Projektverbundes abklären.

Für einen einfachen Datenaustausch, vor allem großer Datenmengen, wurde für den Projektverbund die Kollaborationsplattform Vibe eingerichtet und für alle Teilnehmer zugänglich gemacht. Dieser Webspace konnte sowohl für den allgemeinen Austausch im Projektverbund herangezogen werden als auch nur für den internen Austausch eines Projekts verwendet werden. Zudem bietet die Plattform auch die Möglichkeit gemeinsame Termine einzustellen sowie auf einen gemeinsamen Kalender zuzugreifen.

### **3.1.4. Administrative Begleitung der Einzelprojekte**

Neben den organisatorischen, strukturierenden und intern vernetzenden Aufgaben war das Dachprojekt der zentrale Anlaufpunkt aller Fachprojekte und stellte somit die zentrale Schnittstelle zwischen diesen und dem StMUV dar. Dazu zählte neben der reinen Bündelung von aufkommenden Fragen, Änderungswünschen und Anregungen, auch eine Art „Vorabcontrolling“ sowie eine wissenschaftliche Begleitung. Hinsichtlich des genannten Controllings wurden die Einzelprojekte über die Abgabe von beispielsweise Berichten, Postern oder Präsentationen informiert sowie mit den entsprechenden Vorlagen ausgestattet.

Des Weiteren wurden im Zusammenspiel mit der administrativen Begleitung an den eingereichten Unterlagen der Einzelprojekte vor der Weiterleitung an das StMUV eine inhaltliche und formale Vorabkontrolle durchgeführt. Die wissenschaftliche Begleitung der Projekte förderte dabei nicht nur den projektinternen Fortschritt, sondern insbesondere die gewünschte Quervernetzung zwischen den Einzelprojekten und entsprechenden Synergieeffekten.

## **3.2 Public Relations – Vertretung des Verbundes nach außen (AP2)**

### **3.2.1. Erstellung einer Corporate Identity**

Für eine einheitliche Darstellung des Verbundes und der Einzelprojekte nach außen wurde das Logo des Verbundes ForCYCLE II, die Farbauswahl sowie Designvorlagen für Präsentationen, Poster, Berichte (Zwischenberichte und Abschlussbericht) erstellt. Zudem wurden für die Auftakt- und Abschlussveranstaltung Flyer sowie die Abschlussbroschüre entworfen. Neben dem optischen Erscheinungsbild gehörte auch die Erarbeitung der inhaltlichen Struktur der einzelnen Dokumente zur Arbeitsaufgabe „Erstellung der Corporate Identity“. Hierzu wurden die Vorlagen zu den Berichten

(erster und zweiter Zwischenbericht, Abschlussbericht), den Postern (Auftakt- und Abschlussveranstaltung sowie zweites Statustreffen) und Präsentationen (zu beiden Statustreffen sowie zur Auftakt- und Abschlussveranstaltung) erstellt und im Projektverlauf fortschreitend angepasst.

### **3.2.2. Digitale Repräsentation des Verbundes**

Der Projektverbund sowie die Einzelprojekte wurden über die Internetseite des StMUV präsentiert. Hierzu wurde auf einer Unterseite der Projektverbund ForCYCLE II eingerichtet ([www.forcycle.de](http://www.forcycle.de)). Auf der Internetseite können Informationen über den Projektverbund, den behandelten Themenschwerpunkten sowie zu den Einzelprojekten eingesehen werden. Für den Inhalt der Einzelprojekte wurden Vorlagen zu Steckbriefen erstellt, die von den Einzelprojekten zu Beginn und am Ende der Projektlaufzeiten ausgefüllt wurden. Auch während der Projektlaufzeit wurde die Internetseite beispielsweise durch das Einpflegen der erstellten Kurzfilme aktualisiert. Auf der Internetseite der Bayerischen Forschungsallianz (BayFOR) wurde der Projektverbund in einer Kurzform ebenfalls repräsentiert (<https://www.bayfor.org/de/unsere-netzwerke/bayerische-forschungsverbuende/for-schungsverbuende/association/forcycle-ii.html>).

Für eine moderne Veranschaulichung der verschiedenen Projekte bzw. Themen wurden 10 Kurzfilme mit einer Länge von 60 bis 90 Sekunden erstellt. Dabei wurde die Vorlage des Storyboards vom Dachprojekt in Abstimmung mit dem StMUV konzipiert, welches in Zusammenarbeit mit den Projekten und der Produktionsfirma Oakstone Productions GmbH ausgearbeitet wurde. In den Filmen werden die Ziele und Inhalte der Projekte für die Öffentlichkeit anschaulich dargestellt. Dabei setzten sich die Filme aus Interviewszenen der Projektleiter oder wissenschaftlichen Mitarbeiter und bewegten, vertonten Bildern der technischen Einrichtungen zusammen. Dies führt zu einer lebendigen Darstellung des Inhalts und gibt durch die Aufnahmen vor Ort einen realitätsnahen Eindruck der Arbeiten der Projekte wieder. Die Vertonung der Bilder wurde ebenfalls durch die Projektleiter oder wissenschaftlichen Mitarbeiter gesprochen. Somit ist in allen Passagen des Films der Bezug zum Projekt und den Mitarbeitern gewährleistet. Umrahmt wird der Inhalt der Filme von einem einheitlich gestalteten Vor- und Abspann. Dadurch wird ein Wiedererkennungswert zum Forschungsverbund ForCYCLE II hergestellt. Aufgrund der Corona-Pandemie und den damit verbundenen Einschränkungen haben sich die Dreharbeiten von August 2020 bis April 2021 erstreckt. Dadurch konnten die Filme erst im Juni 2021 fertiggestellt werden und waren ab Juli 2021 auf der Seite des StMUV und dem YouTube-Kanal ([https://www.youtube.com/results?search\\_query=forcycle+ii](https://www.youtube.com/results?search_query=forcycle+ii)) abrufbar.

Die Bekanntmachung über das Erscheinen der Kurzfilme fand neben einer Rundmail an alle Projektbeteiligten auch durch den Newsletter des REZ (September, 2021, <https://www.umweltpakt.bayern.de/rez/informieren/aktuelles/3546/forcycle-ii-videos-zu-den-projekten-jetzt-online>) und der BayFOR (Dezember 2021, <https://241835.seu2.cleverreach.com/m/13187525/>) statt.

Zudem sind die Abschlussberichte der einzelnen Projekte unter deren Bereich der Website sowie die Anschlussbroschüre auf der Internetseite des StMUV einsehbar.

### **3.2.3. Organisation von öffentlichen Veranstaltungen**

Wie unter Kapitel 3.1.2. bereits aufgeführt wurde, fanden zum Auftakt und zum Abschluss des Verbundes jeweils eine öffentliche Veranstaltung statt, die in enger Abstimmung mit dem StMUV organisiert wurden. Dazu zählte die Erstellung der zeitlichen und inhaltlichen Abfolge des Programms sowie die Gestaltung der zugehörigen Flyer und Einladungen. Ebenso fielen die Abstimmungen mit

den Verantwortlichen der Veranstaltungsorte, dem Catering und die Anfragen von Gastvortragenden sowie den Teilnehmenden an der Podiumsdiskussion bei der Abschlussveranstaltung in den Aufgabenbereich des Dachprojekts.

#### **3.2.4. Veröffentlichung des Projektverbundes ForCYCLE II**

Zusätzlich zur Bewerbung des Projektverbundes auf digitalem Weg sowie der durchgeführten Veranstaltungen fanden Veröffentlichungen diverser Art statt. Neben den für die Einzelprojekte und das Dachprojekt obligatorischen Berichten, zwei Zwischenberichten (projektintern) und dem Abschlussbericht (Veröffentlichung auf der Internetseite des StMUV) wurde der Verbund durch bislang 13 Publikationen, 9 Vorträge sowie verschiedene Newsletterbeiträge der Öffentlichkeit bekannt gemacht. Zudem ist ein Buchprojekt zum 3D-Druck des Projekts REV3D in Planung.

### 3.3 Bewertung der Projektergebnisse (AP 3)

Zusätzlich zu den in AP1 und AP2 aufgeführten, organisatorischen-repräsentativen Arbeiten wurde eine Bilanzierung des Projektnutzens hinsichtlich umweltrelevanter, wirtschaftlicher, mengenrelevanter sowie strategischer Aspekte, jeweils mit starkem Bezug zum Land Bayern durchgeführt. Hierzu wurden die Ergebnisse der Einzelprojekte bewertet und daraus eine Hochrechnung auf ganz Bayern erstellt.

#### 3.3.1. Erarbeitung von Bewertungsmatrix und Kennzeichnungssystem (AP 3.1)

##### 3.3.1.1. Bewertungsmatrix

Um die Sammlung der für die Bilanzierung notwendigen Größen aus den Projekten möglichst einheitlich, übersichtlich und vor allem für die Projektpartner leicht umsetzbar zu machen, wurde eine Bewertungsmatrix entwickelt. Darin legte das jeweilige Projekt die funktionelle Einheit (FE) fest. Diese stellt die fixe Größe dar, auf die sich später alle Material- und Energieflüsse beziehen. Die funktionelle Einheit kann hierbei beispielsweise 1 kg Produkt wie zurückgewonnene Seltene Erden oder 1 m<sup>2</sup> Verpackungsfolie darstellen. Zudem werden die Randbedingungen „bis Fabrikator“, „bis Handel“, „bis Endkunde“ oder „bis Produktlebensende“ der Betrachtung festgelegt. Tabelle 4 zeigt die Randbedingungen mit den darin enthaltenen Informationen.

**Tabelle 4: Übersicht der Rahmenbedingungen**

	Gewinnung Rohstoffe	Herstellung Produkt	Lieferung zum Händler	Verpackung zum Endkunden	Verpackung durch den Endkunden	Verwertung / Recycling
"bis Fabrikator"	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
"bis Handel"	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
"bis Endkunde"	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
"bis Produktlebensende"	<input checked="" type="checkbox"/>					

Der Betrachtungsrahmen legt den Umfang des späteren ökobilanziellen Vergleichs fest und muss daher bei den zu vergleichenden Verfahren bzw. Technologien gleich sein, da sich je nach Betrachtungsrahmen unterschiedliche Endwerte ergeben können. Ebenso wird ein aktuell gängiges Verfahren oder eine Methode ausgewählt, mit der die Entwicklungen der Fachprojekte verglichen werden können.

Im darauffolgenden Schritt wurden die Stoffflüsse und Energieflüsse, die zur Erreichung der funktionellen Einheit notwendig sind, aufgelistet. Dabei wurden ergebnisrelevante Inputströme wie beispielsweise diverses Material, Energieeinsatz oder Transportwege und Outputströme wie zum Beispiel FE, Nebenprodukte, Direkte Emissionen, Abfall und Transportaufwendungen voneinander unterschieden. Die Tabellen sind jedoch nicht als exakte Massenbilanzen zu verstehen, weshalb Abweichungen zwischen den aufsummierten In- und Outputströmen auftreten können.

Ein Ausschnitt der Abfragematrix ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

Eingabebereich Fachprojekt										
Inputs					Prozess (= Black Box)	Outputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit		Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Input	Detail (bei Bedarf)					Output	Detail (bei Bedarf)		
Material					Hauptprodukt = FE Nebenprodukt Nebenprodukt Nebenprodukt Nebenprodukt Nebenprodukt Nebenprodukt Direkte Emission Direkte Emission Direkte Emission Direkte Emission Direkte Emission Direkte Emission Abfall Abfall Abfall Abfall Transport Transport Transport Transport Transport Transport Verlust Verlust					
Material										
Material										
Material										
Material										
Material										
Material										
Material										
Material										
Material										
Energie										
Energie										
Energie										
Energie										
Transport										
Transport										
Transport										
Transport										
Transport										

Abbildung 4: Übersicht der Eingabefelder der Abfragematrix

Im Anschluss fand die Ermittlung des Ressourceneffizienzpotenzials statt. Dies ist unter Kapitel 3.3.2. genauer dargestellt und für die einzelnen Fachprojekten beispielhaft ermittelt.

### 3.3.1.2. Ressourceneffizienzkennzahl zur Bewertung des Ressourceneffizienzpotenzials

Für die Bewertung des Einflusses von Prozessen und Dienstleistungen auf mineralische Ressourcen in Ökobilanzen (LCA) stehen nach (Sonderegger et al. 2020) [8] 33 verfügbare Ansätze mit 27 unterschiedlichen Methoden zur Verfügung. Aufgrund bereits weitreichender Anwendung sind hieraus Methoden hervorzuheben, die den Verbrauch nicht-erneuerbarer Ressourcen adressieren, also den Prozess einer physischen Reduzierung der globalen Menge einer spezifischen Ressource (Drielsma et al. 2016) [9]. Die bekannteste Methode dabei ist die des abiotischen Abbaupotenzials (engl. Abiotic Depletion Potential ADP), die erstmals durch (Guinée 1995) [10] definiert wurde. Die Wirkungskategorie ADP setzt dabei den Verbrauch und die Ressourcenbasis eines nicht-energetischen Elements *i* mit einem Referenzelement, typischerweise Antimon, in Relation. Elemente mit einem engen Verhältnis aus Verbrauch und Ressourcenbasis zeigen dabei hohe, solche mit weitem Verhältnis hingegen niedrige Werte. (Schneider et al. 2015) [11] beschreiben die um anthropogene Vorkommen als bereits geförderte Rohstoffmengen zum AADP (Anthropogenic stock extended Abiotic Depletion Potential) weiterentwickelte Wirkungskategorie.

### Geologische Aspekte

Sowohl für ADP als auch AADP werden als Ressourcenbasis meist die in der Erdkruste, Wasser und Luft vorkommenden Rohstoffmengen genutzt, ausgehend von ihren globalen Konzentrationen in diesen Medien. Hierbei zeigt sich zwar eine grundsätzlich gute Datenverfügbarkeit, jedoch wird vollständig außer Acht gelassen, dass Elemente z. B. ab bestimmten Tiefen in der Erdkruste (z. B. >4.000 m) technisch sowie ökonomisch nicht förderbar sind und dies auch mindestens in den kommenden Jahrzehnten nicht sein werden. Entsprechend kann diese Betrachtung eine zu große, „gefühlte“ Sicherheit hinsichtlich der Versorgung mit Rohstoffen ergeben. Alternativ sind die Größen „Reserven“ und „Ressourcen“ zu nennen. Nach Definition des (USGS 2021) [12] fließen in beide Größen die Wirtschaftlichkeit einer Förderung ein, jedoch ist diese bei Reserven stark, bei Ressour-

cen hingegen schwach ausgeprägt. Um in der Betrachtung geologischer Aspekte kurzfristige ökonomische Ereignisse ausblenden zu können, wird daher die Nutzung von Ressourcen (im Sinne der geologischen Begriffsdefinition) als Basis vorgeschlagen. Gegenüber der Anzahl an Datensätzen ( $n = 88$ , ein Datensatz steht für ein Element), die zu Konzentrationen in Erdkruste, Wasser und Luft zur Verfügung stehen, können bei der Betrachtung von Ressourcen 85 % ( $n = 62/88$ ) dieser und hinsichtlich versorgungskritischer Metalle (EC 2020) [13] sogar 90 % ( $n = 38/42$ ) dargestellt werden. Hier fehlen lediglich Werte zu den Elementen Bor, Bismut, Magnesium und Niob.

Für die Betrachtung geologischer Aspekte ist im Projektrahmen eine erweiterte Form des AADP entwickelt worden, welche dissipative Verluste elementspezifisch berücksichtigt. In früheren Methoden wurden dissipative Verluste gar nicht oder aufgrund pauschaler Annahme nur ungenügend berücksichtigt. Zusammenfassend stellen die Gleichungen 1 und 2 die entwickelten Terme zur Kalkulation geologischer Aspekte dar

$$AADP_i = \frac{P_i}{(R_i + AS_i - D_i)^2} \times \frac{(R_{ref} + AS_{ref} - D_{ref})^2}{P_{ref}} \quad (1)$$

$$AADP = AADP_i \times m_i \quad (2)$$

mit den für jedes Element (Index  $i$ ) und Referenzelement (Index  $ref$ ) spezifischen Kenngrößen Extraktionsrate  $P$ , Ressourcen  $R$ , anthropogener Vorrat  $AS$  sowie dissipativen Verlusten  $D$ .  $m$  ist die Masse des in der LCA bilanzierten Aufwands des jeweiligen Elements.

Gegenüber der in der Wissenschaft weitläufig genutzten Referenzeinheit Antimon-Äquivalent wird eine wirtschaftlich und gesellschaftlich besser verständliche, da gebräuchlichere Einheit empfohlen, die bereits in der Ökobilanzierung Verwendung findet [17]. Hierbei zeigt sich insbesondere Eisen als ideal anwendbares Element, welches durch die alltägliche Nutzung nicht nur omnipräsent ist, sondern dessen Datenbasis äußerst fundiert ist und durch zahlreiche Messungen regelmäßig validiert wird. Gegenüber dem sehr seltenen Element Antimon bewirkt das gut verfügbare Eisen noch eine weitere Betrachtungsveränderung: Genauso wie beim gesellschaftlich akzeptierten  $CO_2$ -Äquivalent für die Bewertung des Treibhauspotenzials ergeben sich bei fast allen Elementen Werte größer Eins (Ausnahmen sind K, P und S), welche leichter interpretierbar sind als besonders kleine Werte (z. B.  $<10^{-5}$ ), welche durch Rundungsfehler zudem oft fehlgedeutet werden.

### Sozioökonomische Aspekte

Hinsichtlich der Nutzung sozioökonomischer Aspekte beim Ressourcenverbrauch bestehen Studien und Betrachtungen auf unterschiedlichem, regionalspezifischen Level. Beispielhaft seien transnational die Studien der Europäischen Kommission zur Kritikalitätsbewertung biotischer und abiotischer Materialien von 2011, 2014, 2017 und 2020 (vgl. (EC 2020)) [13], auf nationaler Ebene die jährlichen Berichte des US-Amerikanischen geologischen Dienstes USGS (vgl. (USGS 2021)) [12] oder die Bewertungen der Deutschen Rohstoffagentur DERA (vgl. (DERA 2021)) [14] sowie auf Landesebene die Bewertungen der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft VBW e.V. (vgl. (VBW 2020)) [15] zu nennen. Auch im Rahmen ökobilanzieller Betrachtungen wurden entsprechende Methoden entwickelt, z. B. die ESP- oder ESSENZ-Methode der TU Berlin (Schneider et al. 2014, Bach et al. 2016) [16]. Aus der Zusammenstellung aller genannten sowie weiterer Methoden wurde ein

Set aus vier quantitativen und vier qualitativen Kriterien erstellt, welches die entsprechenden Werte elementspezifisch darstellt:

- Quantitative Kriterien:
  - Länderspezifisches Risiko (der Bergwerksförderung / Produktion)
  - Länderspezifische Konzentration (der Bergwerksförderung / Produktion)
  - Preisrisiko\* (Preisveränderung und -volatilität)
  - Importabhängigkeit
- Qualitative Kriterien:
  - Bedarf durch Zukunftstechnologien
  - Substituierbarkeit
  - Recyclingfähigkeit (als End-of-Life recycling input rate)
  - Regionale Bedeutung

\* als gleitendes Mittel aus dem letztverfügbaren Jahr (z. B. 2020) gegenüber dem Mittelwert der fünf Vorjahre (zum Beispiel: 2015 - 2019)

Die acht Kriterien  $c$  der sozioökonomischen Aspekte  $SE$  sind dabei jeweils mit einem Gewichtungsfaktor  $w$  belegt, wobei die Summe aller Faktoren 1 ergibt (Gleichung 3):

$$SE = \sum_i C_i \times w_i \quad SE = \{0 \dots 1\}; i: \{0 \dots 1\} \quad (3)$$

### Ressourceneffizienzpotenzial

Das Ressourceneffizienzpotenzial stellt das Summenprodukt aus geologischen und sozioökonomischen Aspekten dar, welche mit entsprechenden Gewichtungsfaktoren  $m$  und  $n$  in den Term der Gleichung 4 einfließen:

$$RI_{m,n} = m \times AADP_i + n \times AADP_i \times SE \times 2 \quad m + n = 1 \quad (4)$$

Für die beiden Gewichtungsfaktoren besteht kein natürlicher und/oder kausaler Zusammenhang, weshalb eine dem Anwendungsfall spezifische Gewichtung gewählt werden sollte. Für allgemeine Zwecke wird eine Gewichtung von  $m: 0,7$  und  $n: 0,3$  empfohlen, die die Relevanz der geologischen Verfügbarkeit stärker berücksichtigt.

Die geologischen Aspekte  $AADP_i$  werden auch im Produkt des sozioökonomischen Terms berücksichtigt, da die normierten Aspekte der  $SE$  lediglich Werte von 0 bis 1 annehmen können und ohne die Verrechnung mit den geologischen Aspekten der sozioökonomische Summand folglich auch nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann. Bei sehr großen Werten für die geologischen Aspekte, die aus der gängigen Ökobilanzmethodik abgeleitet sind und demzufolge im Wertebereich nach oben nicht begrenzt sind, würden die sozioökonomischen Aspekte keinen nennenswerten Einfluss auf das Ressourceneffizienzpotenzial nehmen. Zudem wurde bei den sozioökonomischen Faktoren der Zahlenfaktor 2 integriert, der dazu dient, dass diese Faktoren das Ressourceneffizienzpotenzial sowohl erhöhen als auch verringern können.

Vereinfacht ausgedrückt kennzeichnen die in Eisenäquivalenten ausgedrückten geologischen Aspekte die Knappheit eines Elementes im Vergleich zu Eisen. Bei mittleren sozioökonomischen Verfügbarkeitsrisiken ( $SE = 0,5$ ) ergibt sich dieser Wert auch als Ressourceneffizienzpotenzial. Ungünstige sozioökonomische Faktoren können diesen Basiswert um bis zu 30 % anwachsen lassen, während sich günstige sozioökonomische Aspekte in einer Verringerung um höchstens 30 % auswirken. In Summe berücksichtigt die beschriebene Methode hinsichtlich geologischer Aspekte global betrachtet den Verbrauch, die Ressourcenverfügbarkeit, den anthropogenen Vorrat und die dissipativen Verluste. Im Rahmen der sozioökonomischen Aspekte werden darüber hinaus acht Kriterien betrachtet, die sowohl globale (z. B. Länderrisiko, Unternehmenskonzentration) als auch regionale Verhältnisse (z. B. Importabhängigkeit, regionale Bedeutung) widerspiegeln.

### **3.3.2. Verarbeitung der Daten aus den Einzelprojekten (AP 3.2)**

Für die Bewertung des Ressourceneffizienzpotenzials wurde die unter Kapitel 3.3.1.2. entwickelte Kennzahl herangezogen. Zudem werden das Treibhauspotenzial (Global warming potential GWP) und der kumulierte Energieaufwand betrachtet. In den meisten Fällen wurden beide Werte anhand der GaBi Professional Software der Firma Sphera Solutions GmbH bilanziert. Sofern alternative Datenbanken oder Literaturstellen verwendet wurden, sind diese als Zitat gekennzeichnet. Zu allen entwickelten Verfahren bzw. Technologien der einzelnen Projekte (Bezeichnung Neu) wurde ein aktuelles Standardverfahren bzw. eine Standardtechnologie (Bezeichnung Baseline) zum Vergleich herangezogen.

#### **3.3.2.1. Erhöhung der Ressourceneffizienz durch Einsatz von verwendungsnahen 3D-Drucktechnologien - REV3D**

Das Projekt diente dazu, ökologische sowie logistische Potenziale unterschiedlicher 3D-Druck-Verfahren in der praktischen Anwendung noch stärker zu quantifizieren und Empfehlungen für die KMU zur Bewältigung der Herausforderungen in den Bereichen Technologieauswahl, Geschäftsmodelle, Nachhaltigkeit, Weiterbildung und betriebliche Integration zu erarbeiten. Genauere Informationen sind im gesonderten Abschlussbericht zum Fachprojekt zu finden.

Für die Bilanzierung wurden im konkreten Fall die ökologischen Vorteile von Produktlebenszyklusverlängerungen durch 3D-gedruckte Ersatzteile untersucht. Spezieller Untersuchungsgegenstand dieser Fallstudie ist die Produktion und Nutzung eines Gartenstuhls inklusive der Möglichkeit Ersatzteile für diesen Stuhl mit Hilfe des 3D-Drucks zu erstellen. Ziel dieser Fallstudie ist es die Umweltwirkungen von Produktlebenszyklen mit und ohne 3D-gedruckten Ersatzteilen miteinander zu vergleichen und somit mögliche ökologische Potenziale zu identifizieren. Als funktionelle Einheit dient ein Gartenstuhl.

Selbstverständlich handelt es sich dabei lediglich um ein willkürliches Beispiel für die vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten der 3D-Drucktechnologie. Die dadurch geschaffenen Fertigungsmöglichkeiten für filigrane Strukturen ermöglichen Bauteile mit gleicher oder sogar erhöhter Festigkeit bei geringerem Gewicht bzw. Materialeinsatz, was die Ressourceneffizienz in der Regel erheblich steigert. Weitere, wenn auch mitunter geringere Einsparungseffekte wären beispielsweise durch die schnelle und materialschonende Gestaltung von Werkzeugen (rapid tooling) oder Funktionsmustern (rapid prototyping) zu erreichen.

## Baseline

Tabelle 5 zeigt die Inputströme und Outputströme der betrachteten Baseline für die Herstellung eines Gartenstuhls.

**Tabelle 5:** Übersicht der Input- und Outputströme – Baseline Gartenstuhl

Baseline				
Inputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Input	Detail		
Material	Polypropylen		1,20	Kg
Prozess	Injection Molding			
Material	Stahl		12,00	Kg
Material	Polypropylentextil		1,50	Kg
 <b>Prozess = Black Box</b> 				
Outputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Output	Detail		
Hauptprodukt = FE	Herstellung & Nutzung eines Gartenstuhls im Zeitraum von 60 Jahren in Deutschland ohne Möglichkeit zum 3D-Druck von Ersatzteilen.		1,00	Stück

### Ergebnis:

Treibhauspotenzial:	35,71	kg CO <sub>2</sub> eq. / Gartenstuhl
Energieaufwand:	145,96	kWh / Gartenstuhl
Ressourceneffizienzkennzahl:	4.100,16	kg Fe eq. / Gartenstuhl

## Neu

Tabelle 6 zeigt die In- und Outputströme für die Herstellung eines Gartenstuhls unter den Annahmen des Fachprojektes.

**Tabelle 6:** Übersicht der Input- und Outputströme – Neu Gartenstuhl

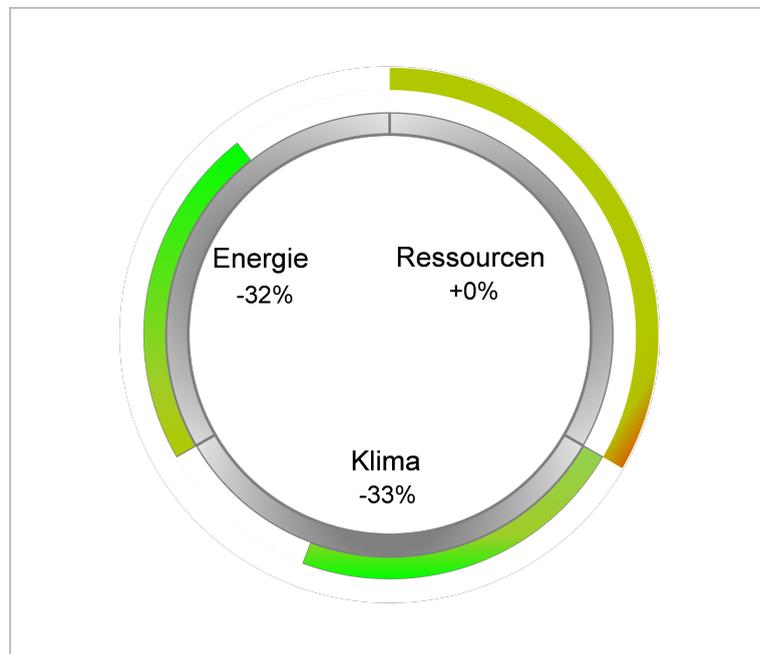
Neu				
Inputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Input	Detail		
Material	PLA		0,05	kg
Material	Polypropylen (Granulat)		0,80	kg
Prozess	Injection Molding			
Material	Stahl		8,00	kg
Material	Polypropylentextil		1,00	kg

↓				
<b>Prozess = Black Box</b>				
↓				
<b>Outputs</b>				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Output	Details		
Hauptprodukt = FE	Herstellung & Nutzung eines Gartenstuhls im Zeitraum von 60 Jahren in Deutschland mit der Möglichkeit zum 3D-Druck von Ersatzteilen.		1,00	Stück

Ergebnis:

Treibhauspotenzial:	24,04	kg CO <sub>2</sub> eq. / Gartenstuhl
Energieaufwand:	99,47	kWh / Gartenstuhl
Ressourceneffizienzkennzahl:	4100,81	kg Fe eq. / Gartenstuhl

Die Ergebnisse aus den beiden bilanzierten Methoden Baseline und der neu entwickelten Methode durch das Projekt mittels 3D-Drucks sind in der nachfolgenden Abbildung 5 dargestellt. Deutlichen Einsparungen beim Energieverbrauch und bei den klimarelevanten Emissionen steht ein minimaler Anstieg der Ressourceneffizienzkennzahl gegenüber. Da bei den gewählten Randbedingungen ein nahezu identisches Bauteil erzeugt wird, waren auch keine großen Veränderungen dieses Kennwertes für den Materialeinsatz zu erwarten.



**Abbildung 5:** Vergleich bilanzierte Baseline mit der Entwicklung des Projekts REV3D zum Druck von Ersatzteilen für einen Gartenstuhl

Eine einfache Hochrechnung des Einsparpotenzials ist angesichts der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks und der geringen Mengenrelevanz des gewählten Beispiels nicht sinnvoll.

### 3.3.2.2. Steigerung der Ressourceneffizienz in KMU und Handwerk durch ein digitales Benchmarksystem für Abfallvermeidungs- und Abfallverwertungspotenziale – KMU DigiCheck Abfall

Das Projekt entwickelte ein Tool zur Ermittlung von Abfallvermeidungs- und Abfallverwertungspotenzialen durch Benchmarking in ausgewählten Wirtschaftszweigen und Branchen zu den folgenden Punkten:

- Bezug zwischen Abfallaufkommen und produktionsbezogenen Einheiten
- Entwicklung von branchenspezifischen Kennzahlen für ausgewählte Branchen
- Erprobung der in der Industrie etablierten Benchmark-Methode für KMU-Bedarfe

Konkret soll das Tool aufzeigen, wo im Unternehmen Potenziale in der Abfallvermeidung und Abfallverwertung liegen. Dabei können sich die Unternehmen auch mit anderen branchengleichen Unternehmen vergleichen. Zu den untersuchten Branchen zählten Bäckereien, Schreinereien, Druckereien, Kunststoffverarbeitende Betriebe, Metallhandwerk und Elektroinstallationsbetriebe. Detaillierte Informationen finden sich wiederum im projektspezifischen Abschlussbericht.

Aus den Projektdaten können für die drei Branchen Schreinerei, Bäckerei und Herstellung von Kunststoffwaren die im Folgenden dargestellten Potenziale hinsichtlich der stofflichen Verwertung von Abfällen abgeleitet werden. Dabei orientiert sich das Potenzial am Unternehmen, das in der Datensammlung die höchste stoffliche Verwertung aufweist und welches Potenzial die restlichen Unternehmen im Durchschnitt haben, um die gleiche stoffliche Verwertung wie das Unternehmen mit der höchsten stofflichen Verwertung des Abfalls zu erreichen.

**Tabelle 7:** Übersicht der Potenziale hinsichtlich der stofflichen Verwertung des Abfallaufkommens

	Branchen		
	Schreinerei	Bäckerei	Herstellung von Kunststoffwaren
Höchster Anteil an stofflicher Verwertung des Abfallaufkommens [%]	59,0%	82,0%	92,0%
Durchschnittlicher Anteil stofflicher Verwertung des Abfallaufkommens (ohne Unternehmen mit dem höchsten Anteil) [%]	29,7%	67,6%	77,0%
Durchschnittliches Potenzial zur Steigerung der stofflichen Verwertung (Verhältnis vom Durchschnitt zum Unternehmen mit dem Anteil der höchsten stofflichen Verwertung) [%]	<b>49,7%</b>	<b>17,6%</b>	<b>16,3%</b>

Die Auswertung zeigt, dass in allen Bereichen Potenziale zur Steigerung der stofflichen Verwertung der Abfälle vorhanden sind. In den Schreinereien fällt das Ergebnis mit 49,7 % am deutlichsten aus. Die entwickelte Kennzahl zur Bestimmung des Ressourceneffizienzpotenzials kann hier nicht angewandt werden, da sich die Kennzahl bisher auf nicht erneuerbare, endliche Rohstoffgruppen und insbesondere auf einzelne Elemente fokussiert. Bei den hier angegebenen Branchen werden jedoch entweder erneuerbare Rohstoffe (Mehl, Zucker, Holz usw.) oder hauptsächlich auf Rohöl basierende Kunststoffe eingesetzt. Verwertbare Daten zu den beiden weiteren Bilanzierungspunkten Klima und Energie wurden im Rahmen dieses Fachprojektes ebenfalls nicht erhoben.

Für eine überschlägige Hochrechnung wurde angenommen, dass alle bayerischen Betriebe der jeweiligen Branchen das durchschnittlich verwertete Abfallaufkommen auf den Wert des jeweils besten Unternehmens steigern. Mit den aus dem Fachprojekt übernommenen Zahlenangaben zur Anzahl bayerischer Betriebe ergibt sich eine Gesamtmenge von gut 63.000 Mg zusätzlich stofflich verwertbarer Abfälle.

### 3.3.2.3. Digitale multikriterielle Materialauswahl zur optimierten Kreislauffähigkeit von Kunststoffprodukten – DIMOP

Das Projekt setzte sich mit der Recycling- bzw. Kreislauffähigkeit von Kunststoffprodukten auseinander. Dazu wurden wichtige Informationen zur Kreislauffähigkeit verschiedener Kunststoffmaterialien und Materialkombinationen in einem Auswahltool zusammengetragen. Diese helfen bereits beim Produktdesign unterschiedliche Kriterien wie zum Beispiel Funktionalität, Ressourceneffizienz und Kreislauffähigkeit gegeneinander abzuwiegen und eine ganzheitliche optimierte Materialwahl zu treffen.

Beispielhaft wird eine Bilanzierung für eine Verpackungsfolie erstellt.

#### Baseline

Die Input- und Outputströme sind der Tabelle 8 zu entnehmen.

**Tabelle 8:** Übersicht der Input- und Outputströme – Baseline Verpackungsfolie

Baseline				
Inputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Input	Detail		
Material	PET	Deckschicht	33,30	g
Material	PUR	Kleber	6,90	g
Material	Aluminium	Sperrschicht	25,50	g
Material	PE-LD	Siegelschicht	28,40	g
Energie	Strom	für Extrusionsprozess	0,04	kWh
Transport	Transportleistung LKW		0,04	
 Prozess = Black Box 				
Outputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit

	Output	Details		
Hauptprodukt = FE	Verpackungsfolie		1,00	m <sup>2</sup>
Abfall	Produktionsabfälle, zur Verbrennung (Recyclingfähigkeit 0%)	5%	4,50	g
Abfall	Produktabfall, zur Verbrennung (Recyclingfähigkeit 0%)	nach Lebenswegende	89,60	g
Transport	Transportleistung LKW	Produktionsabfall zur Verbrennung, 27km	0,000122	
Transport	Transportleistung LKW	Consumerabfall zur Verbrennung, 27km	0,002419	

### Ergebnis:

Treibhauspotenzial:	0,63	kg CO <sub>2</sub> eq. / m <sup>2</sup> Verpackungsfolie
Energieaufwand:	2,67	kWh / m <sup>2</sup> Verpackungsfolie
Ressourceneffizienzkennzahl:	1,12	kg Fe eq. / m <sup>2</sup> Verpackungsfolie

### Neu

In Tabelle 9 sind die Input- und Outputströme der durch das Projekt DIMOP optimierten Verpackungsfolie dargestellt.

**Tabelle 9:** Übersicht der Input- und Outputströme – Neu Verpackungsfolie

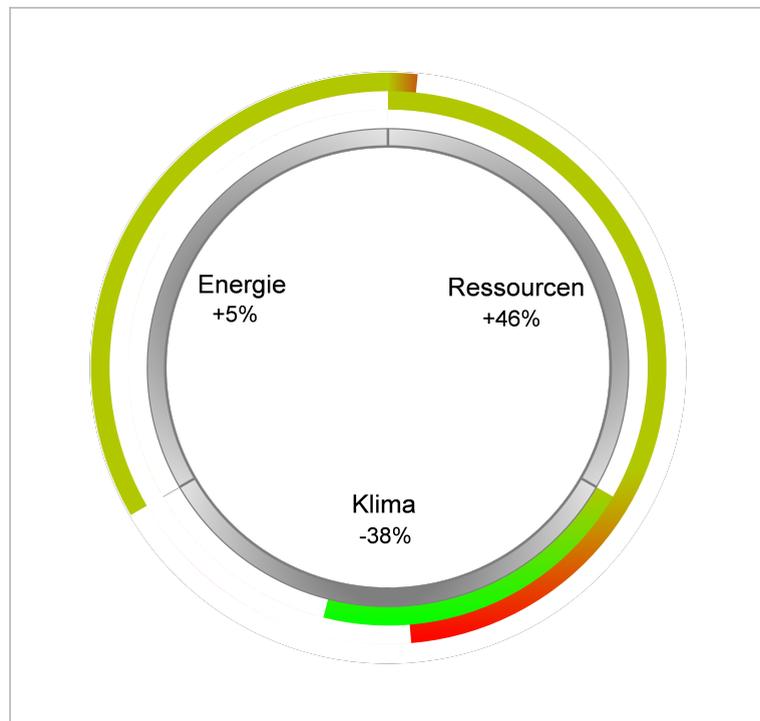
Neu				
Inputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Input	Detail		
Material	PP	funktionalisierte Schichten	132,30	g
Material	PUR	Kleber	4,60	g
Energie	Strom	für Folienextrusion	0,03	kWh
Transport	Transportleistung LKW	450km	0,06	tkm
 Prozess = Black Box 				
Outputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Output	Details		
Hauptprodukt = FE	Verpackungsfolie		1,00	m <sup>2</sup>
Abfall	Produktionsabfälle, zum Recycling (Recyclingfähigkeit 61%)	5%	6,50	g

Abfall	Produktabfall, zum Recycling (Recyclingfähigkeit 61%)	nach Lebenswegende	130,40	g
Transport	Transportleistung LKW	Produktionsabfall zum Recycling, 193km	0,00125	
Transport	Transportleistung LKW	Consumerabfall zum Recycling, 193km	0,02517	

Ergebnis:

Treibhauspotenzial:	0,39	kg CO <sub>2</sub> eq. / m <sup>2</sup> Verpackungsfolie
Energieaufwand:	2,81	kWh / m <sup>2</sup> Verpackungsfolie
Ressourceneffizienzkennzahl:	1,63	kg Fe eq. / m <sup>2</sup> Verpackungsfolie

Wie bereits beim Projekt KMU DigiCheck Abfall erwähnt wurde, ist die Kennzahl zur Ressourceneffizienz derzeit auf den Verbrauch einzelner chemischer Elemente ausgerichtet und für organische Verbindungen noch nicht anwendbar. Da die gängigen Ökobilanzdatenbanken aber auch für organische Verbindungen die bei der Herstellung z. B. als Hilfs- und Betriebsstoff oder Katalysator eingesetzten Elemente ausweisen, ergibt sich rechnerisch ein entsprechender (meist vergleichsweise niedriger) Wert in Eisenäquivalenten. Die grafische Darstellung in Abbildung 6 zeigt hier eine deutliche Erhöhung der Kennzahl zur Ressourceneffizienz, jedoch auf insgesamt sehr geringem Niveau. Dies ist dem Mehrverbrauch am leichter recycelbaren Kunststoff PP geschuldet. Zudem stehen einem geringen Mehrverbrauch an Energie deutliche Einsparungen fossiler Emissionen aufgrund der geringeren thermisch verwerteten Kunststoffmenge entgegen. Bei einer späteren Anwendung wäre zudem eine weitere Senkung des Energieverbrauchs aufgrund von Optimierungs- und Skalierungseffekten zu erwarten.



**Abbildung 6:** Vergleich bilanzierte Baseline mit der Entwicklung des Projekts DIMOP zur verbesserten Recyclingfähigkeit von Kunststoffen

### 3.3.2.4. Innovative Recyclingverfahren für Elektroschrott – IRVE

Das Projekt hat sich mit der Entwicklung zweier Verfahren zum Recycling von Leiterplattenbauteilen (selektive Entstückung und elektrohydraulische Zerkleinerung) unter Berücksichtigung des Durchsatzes und der Wirtschaftlichkeit auseinandergesetzt. Von den Bauteilen können in weiteren Aufbereitungsschritten versorgungskritische Metalle wie Tantal, Germanium oder Seltene Erden zurückgewonnen werden. Detaillierte inhaltliche Informationen können wiederum dem projektspezifischen Abschlussbericht entnommen werden.

Für die Bilanzierung wurde der Fokus auf die Abtrennung der Tantal-Kondensatoren und der daraus resultierenden möglichen Tantalrückgewinnung gelegt. Aktuell können bei der Aufbereitung von Leiterplatten in Kupferhütten (Recyclingverfahren nach dem Stand der Technik) Metalle wie Tantal nicht zurückgewonnen werden. Durch das Entstückungs- bzw. Sortierverfahren für das wirtschaftliche Recycling von elektrischen und elektronischen Altgeräten, die im Rahmen des Projektes IRVE untersucht wurden, werden bei der Aufbereitung von Leiterplatten unter anderem Tantal-Kondensatoren von den Leiterplatten entnommen. Diese sollen der Recycling-Industrie zur Rückgewinnung von Tantaloxid zur Verfügung gestellt werden.

#### Baseline

Da nach aktuellem Stand die Weiterverarbeitung der separierten Kondensatoren zum Tantaloxid  $Ta_2O_5$  zweckmäßig erscheint, wurde diese Verbindung als Vergleichssystem herangezogen. In den einschlägigen Datenbanken fand sich jedoch nur ein Eintrag für ein 30-prozentiges  $Ta_2O_5$ -Konzentrat, dessen Kennwerte auf das reine Oxid hochgerechnet wurden [18]. Da die Aufkonzentrierung

aber zusätzlichen verfahrenstechnischen Aufwand verursacht, werden dadurch die Vergleichsdaten etwas zu niedrig abgeschätzt.

Ergebnis:

Treibhauspotenzial: 388,85 kg CO<sub>2</sub> eq. / kg Tantaloxid  
 Energieaufwand: 2.139 kWh / kg Tantaloxid  
 Ressourceneffizienzkennzahl: 1.298.644 kg Fe eq. / kg Tantaloxid

**Neu 1 (selektive Entstückung)**

Tabelle 10 zeigt die im Fachprojekt ermittelten Input- und Outputströme der selektiven Entstückung (Neu 1).

**Tabelle 10:** Übersicht der Input- und Outputströme – Neu 1 Tantalkondensatoren

Neu 1				
Inputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Input	Detail		
Material	Leiterplatten		1.852	Stück
			175,49	kg
Energie	elekt. Strom	Verbrauch der kompletten Anlage (Erkennung+Entstückung)	127,00	kWh
Transport	kein			
 Prozess = Black Box 				
Outputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Output	Details		
Hauptprodukt = FE	Tantalkondensatoren		1,00	kg
Nebenprodukt	Lötzinn an Tantalkondensatoren	geschätzt	0,01	kg
Nebenprodukt	Leiterplatte mit sonstigen elektr. Bauelementen		174,48	kg
Direkte Emission	Lötdämpfe (u.a. Formaldehyd, Acetaldehyd)	Dämpfe aus evtl. noch vorhandenen Flussmittelresten	irrelevante Menge	

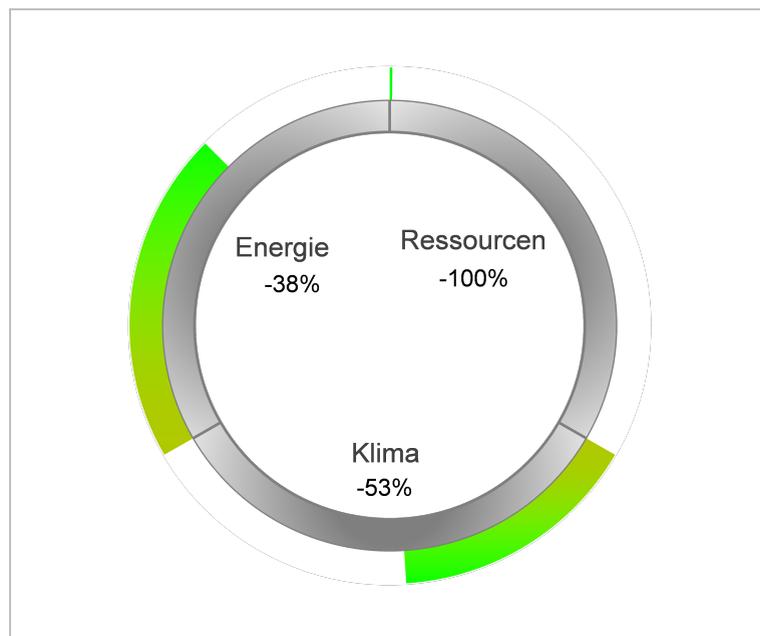
Für den Vergleich muss noch der Aufwand zur Gewinnung von Tantaloxid aus den Tantalkondensatoren berücksichtigt werden. Eine dahingehende Neuentwicklung befindet sich noch in der Auswertung, vorab übermittelte Daten können aber hier in Ansatz gebracht werden [19]. Da bei diesem

Aufbereitungsprozess Edelmetalle und weitere verwertbare Fraktionen abgetrennt werden, ergibt sich eine relativ hohe Gutschrift an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

Ergebnis:

Treibhauspotenzial:	182,58	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg Tantaloxid
Energieaufwand:	1.334	kWh / kg Tantaloxid
Ressourceneffizienzkennzahl:	1.755,45	kg Fe eq. / kg Tantaloxid

Die Ergebnisse des Vergleichs sind in Abbildung 7 dargestellt. Die Projektentwicklung gegenüber der konventionellen Produktion von Tantaloxid in allen Kategorien im Vorteil.



**Abbildung 7:** Vergleich bilanzierte Baseline mit der Entwicklung des Projekts IRVE zur selektiven Entstückung von Leiterplatten

Die in Bayern verwendete Menge an Tantal beträgt etwa 104 Mg [19]. Unter Berücksichtigung des stöchiometrischen Tantalgehaltes im Tantaloxid von ca. 81,9% und unter Annahme eines Marktanteils der neuen Technologie von 10% belief sich die Einsparung auf gut 2.600 Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalente, ca. 10 GWh Energie und 1,65 · 10<sup>10</sup> kg Eisenäquivalenten.

**Neu 2 (elektrohydraulische Zerkleinerung und Sortierung)**

In Tabelle 11 sind die Input- und Outputströme der elektrohydraulischen Zerkleinerung (Neu 2) aufgelistet.

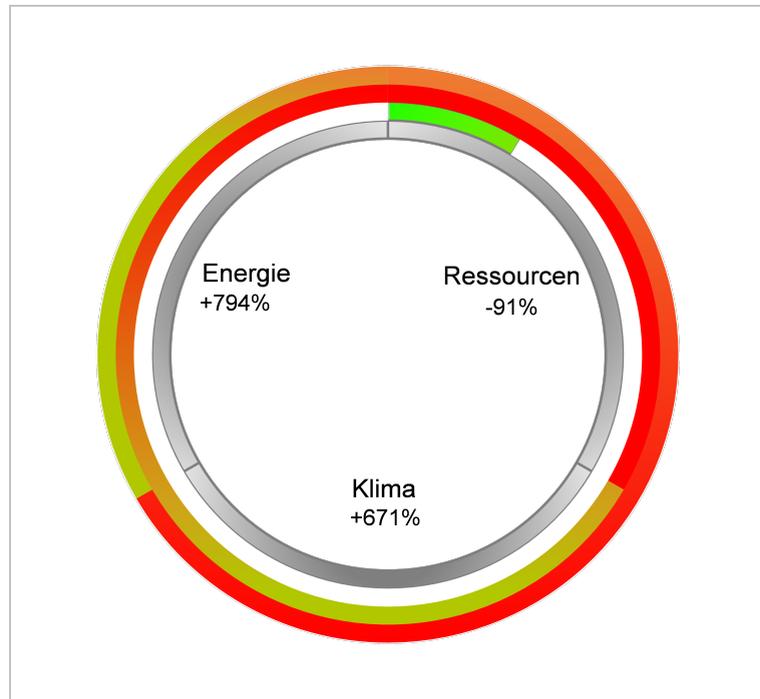
**Tabelle 11:** Übersicht der Input- und Outputströme – Neu 2 Tantalkondensatoren

Neu 2				
Inputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Input	Detail		
Material	Leiterplatten		1.852	Stück
			175,49	kg
Material	Wasser		1.851,50	dm <sup>3</sup> (l)
Energie	Zerkleinerung mittels EHZ		1.666,40	kWh
Energie	Sortierung	Siebung, Sortierung	185,20	kWh
Energie	Druckluft EHZ	3 bar, ca. 1 L/min	37.030,20	dm <sup>3</sup> (l)
Energie	Druckluft Sortierung		185,20	dm <sup>3</sup> (l)
 Prozess = Black Box 				
Outputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Output	Details		
Hauptprodukt = FE	Tantalkondensatoren		1,00	kg
Nebenprodukt	elektronische Komponenten		73,04	kg
Nebenprodukt	Basismaterial		101,44	kg
Nebenprodukt	Lötzinn an Tantalkondensatoren	geschätzt	0,01	kg
Direkte Emission	Abluft EHZ		37.030,20	dm <sup>3</sup> (l)
Abfall	Abwasser		1.851,50	dm <sup>3</sup> (l)

Ergebnis:

Treibhauspotenzial:	2.998	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg Tantaloxid
Energieaufwand:	19.116	kWh / kg Tantaloxid
Ressourceneffizienzkennzahl:	113.034	kg Fe eq. / kg Tantaloxid

Im Vergleich zur selektiven Entstückung zeigt die elektrohydraulische Zerkleinerung mit anschließender Sortierung deutlich ungünstigere Kennwerte. Hier kommt es lediglich bei der Ressourceneffizienzkennzahl zu einer Reduzierung gegenüber des konventionellen Prozesses.



**Abbildung 8:** Vergleich bilanzierte Baseline mit der Entwicklung des Projekts IRVE zur elektrohydraulischen Zerkleinerung und Sortierung von Leiterplatten

### 3.3.2.5. Plattformtechnologie zur Verwertung chlorhaltiger Abfälle und Rückgewinnung kritischer Metalle – Chlor-Plattform

Im Rahmen dieses Projektes wurden versorgungskritische Metalle durch eine innovative Verfahrenskombination aus End-of-Life-Abfällen, die solche Metalle enthalten, und PVC-haltigen Abfallströmen gewonnen. Hierzu wird zuerst in einem thermochemischen Verfahren HCl aus dem PVC erzeugt und es findet somit eine Chloranreicherung statt. Der HCl-reiche Dampf wird verwendet, um in einem weiteren Reaktor die kritischen Metalle zu chlorieren. Die so gebildeten Metallchloride verdampfen, kondensieren in einer nachgeschalteten Kühleinheit aus und bilden das Metallkonzentrat. In weiteren Verfahrensschritten werden die kritischen Metalle aus dem Metallkonzentrat zurückgewonnen. Details zu diesem Prozess finden sich wiederum im zum Projekt gehörenden Abschlussbericht.

Für die Bilanzierung wurde das kritische Metall Indium ausgewählt. Somit stellt die funktionelle Einheit 1 kg Indium dar.

#### Baseline

Die Daten für den Treibhauseffekt und den Energieaufwand der Indiumgewinnung wurden der Datenbank ecoinvent 3.8 entnommen [18].

#### Ergebnis:

Treibhauspotenzial:	116,00	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg Indium
Energieaufwand:	641,72	kWh / kg Indium
Ressourceneffizienzkennzahl:	3.052.643	kg Fe eq. / kg Indium

## Neu

Tabelle 12 sind die Input- und Outputströme des Indiumrecyclings durch die Methodik der Chlor-Plattform dargestellt.

**Tabelle 12:** Übersicht der Input- und Outputströme – Neu Indiumrecycling

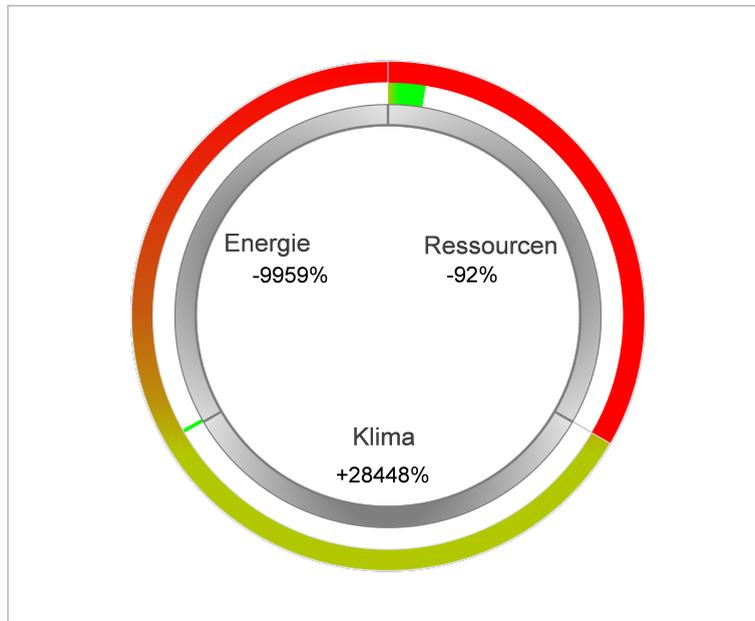
Neu				
Inputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Input	Detail		
Material	LCD-Panels	aktuell MVA	63,64	Mg (t)
Material	PVC-Produktionsreste	25% Cl, aktuell MVA	22,73	Mg (t)
Material	Filterkerzen**	60µm & 2µm Porengröße	90,91	Stück
Material	Wasser, destilliert	für Extraktion des Metallkonzentrates	19,09	Mg (t)
Material	Natronlauge	technisch, 50%ige	1.515,15	kg
Energie	Elektrische Energie (Strom)	für Pyrolyseprozess (Schnecken, Steuerung,...)	68.870,52	kWh
Energie	Strom*	für Elektrolyse	1.000,00	kWh
Energie	Thermisch*	für Pyrolyse/Lösungsmitteldestillation (Essigsäure)/verdampfen von Wasser bei der Weiterverarbeitung vom Koks; Die Energie vom Pyrolysegas wurde schon vom Gesamtbedarf abgezogen	40.424,24	kWh
 <b>Prozess = Black Box</b> 				

Outputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Output	Details		
Hauptprodukt = FE	Indium	Reinheit 99,99%	1,000	kg
Nebenprodukt	Ersatzbrennstoff/Kohle	Energiegehalt ca. 25 MJ/kg	114,35	Mg (t)
Nebenprodukt	Salzsäure	23%	13	Mg (t)
Nebenprodukt	Lösungsmittel*	Essigsäure 10%ige	3.333,33	kg
Direkte Emission	CO <sub>2</sub> (Verbrennung Pyrolysegas)	Energie dient zur Beheizung des Pyrolyseprozesses. Der Energiegehalt wurde schon vom Input Thermische Energie abgezogen	20.606,06	kg
Abfall	CaCl <sub>2</sub>	Salz bei der Weiterverwertung vom Koks	3.636,36	Mg (t)
Abfall	Glas (Rückstand LCD-Panels)	evtl. Wiederverwertung möglich, aber aktuell Annahme Deponierung	1.771,98	Mg (t)
Abfall	Salze aus Neutralisation Pyrolyseprozess		91.827,36	kg
Abfall	Filtration des Metallkonzentrates	aktuell im Labormaßstab noch Abfall, aber im späteren industriellen Betrieb ist eine Zuführung im Chlorierungsreaktor geplant	606,06	kg

#### Ergebnis:

Treibhauspotenzial:	33.116	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg Indium
Energieaufwand:	-63.269,04	kWh / kg Indium
Ressourceneffizienzkennzahl:	235.210	kg Fe eq. / kg Indium

Im Vergleich zur Baseline ergeben sich eine deutliche Verringerung der Ressourceneffizienzkennzahl und sogar ein negativer Energieaufwand, der sich mit hohen Gutschriften durch die energetische Verwertung von Pyrolysekoks aus dem Projekt erklärt. Demgegenüber steigt das Treibhausgapotenzial im Vergleich zur konventionellen Indiumgewinnung an. Diese Erkenntnis erklärt sich mit den fossilen Emissionen des Pyrolysekoks sowie mit dem Stromverbrauch der Projekttechnologie. Bei allen Bilanzierungen wurden hierfür standardmäßig spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen nach dem bundesdeutschen Strommix angesetzt.



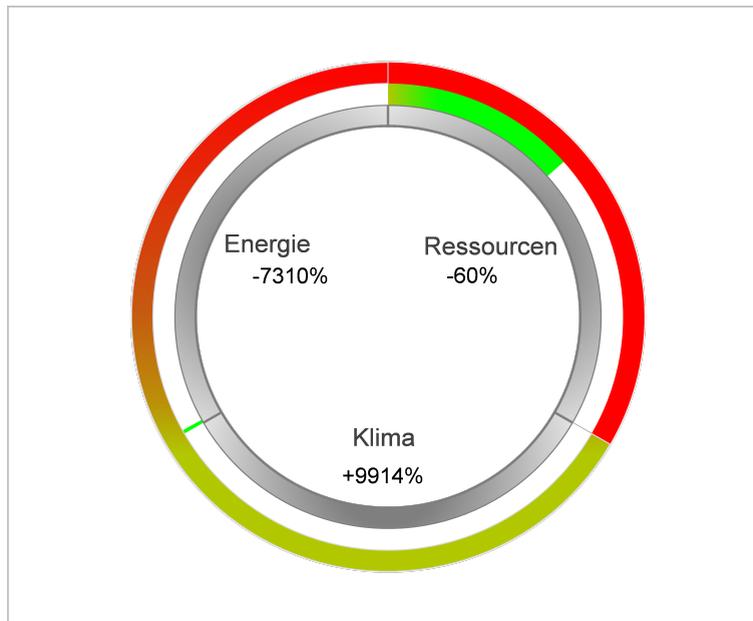
**Abbildung 9:** Vergleich bilanzierte Baseline mit der Entwicklung des Projekts Chlor-Plattform unter Annahme des bundesdeutschen Strommix

Eine Neuberechnung unter Annahme der Deckung des Strombedarfs mit Windstrom führt erwartungsgemäß zu einer Verringerung des Treibhausgaspotenzials um etwa zwei Drittel. Die verbleibenden Emissionen entstehen bei der Herstellung der im Projekt benötigten Chemikalien. Allerdings steigt in diesem Szenario auch die Ressourceneffizienz Kennzahl an. Dies steht im Zusammenhang mit dem spezifischen Materialbedarf der Herstellung von Windkraftanlagen. Die vergleichsweise geringen Treibhausgasemissionen bei der konventionellen Indiumgewinnung wurden auch in früheren Ökobilanzierungen festgestellt und mit der Tatsache begründet, dass Indium als Nebenprodukt der Zinkgewinnung anfällt [21]. Sollten aufgrund eines steigenden Indiumbedarfs eigene Herstellungsprozesse für dieses Element etabliert werden müssen, wären erhebliche zusätzliche Emissionen zu erwarten. Ferner ist zu berücksichtigen, dass auch ohne Indiumrückgewinnung fossile Emissionen aus Kunststoffabfällen oder Leiterplatten entstehen könnten und diese somit nicht in voller Höhe dem Indium angelastet werden müssten.

Nach Deutschland wurden im Jahr 2021 netto 5 Mg Indiummetall importiert [22]. Für eine erste Abschätzung wird angenommen, dass die davon in Bayern verbrauchte Menge dem Anteil Bayerns am Bruttoinlandsprodukt (18,5% [23]) entspricht. Wenn 10% dieser Menge über die Projekttechnologie zurückgewonnen werden könnte, entspräche dies je nach Stromszenario einer Einsparung von 4,3 bis 5,9 GWh und 169 bis 261 Mio. kg Eisenäquivalenten.

### Ergebnis Szenario Windstrom:

Treibhauspotenzial:	11.615,85	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg Indium
Energieaufwand:	-46.269,04	kWh / kg Indium
Ressourceneffizienzkennzahl:	1,230.409,82	kg Fe eq. / kg Indium



**Abbildung 10:** Vergleich bilanzierte Baseline mit der Entwicklung des Projekts Chlor-Plattform unter Annahme der Verwendung von Windstrom

### **3.3.2.6. Rohstoffsicherung und –erhalt durch Aufbereitung und Verwertung von Gießerei-Stäuben – Bayerisches Konsortium für Gießereistaub-Metall-Rückgewinnung – BGMR**

Dieses Teilprojekt des ForCYCLE II-Verbunds beschäftigte sich mit der Entwicklung und Umsetzung von Konzepten für mehr Ressourceneffizienz in bayerischen Gießereien. Abfälle treten dort in hohem Ausmaß in Form von Stäuben auf. Diese werden zu einem großen Teil deponiert oder enden im Bergversatz und werden somit der Wertschöpfung entzogen. Steigende Entsorgungskosten belasten dabei auch die Gießereien. Ziel war es den Gießereiprozess zu analysieren, Stäube zu charakterisieren und eine praktikable Lösung für die Gießereien zu finden. Es wurden Rezepturen entwickelt, um Stäube in großem Maßstab durch Beimischung bei der Produktion von Siliziumkarbid-Formlingen wiederzuverwerten. Der Formling besteht aus SiC, CSA-Zement, Kalkstein und Gießereistaub. Neben der Staubverwertung ermöglicht die Technologie außerdem die Substitution von Portlandzement und Sand (abhängig vom Gießereistaub). Abschließend wurde in dem Projekt ein Modell entwickelt, welches auf Grundlage von ökologischen Indikatoren als Entscheidungshilfe dienen kann, wenn mehrere Wege einer Abfallführung möglich sind.

Da für die unterschiedlichen Funktionen der Inhaltsstoffe und die spezielle Rezeptur der SiC-Formlinge keine vollständigen Ökobilanzdaten vorhanden sind, gestaltete sich die Auswertung durch das Dachprojekt schwierig. Die Bewertung wurde deshalb ausschließlich auf den Eisengehalt der Gießereistaube bezogen.

## Baseline

Gemäß den Angaben in der ProBas-Datenbank werden zur Herstellung von 1 kg Gusseisen 1,57 kg Elektrostahl benötigt [19]. Dieser Einsatzstoff kann durch den Eisengehalt der Gießereistäube teilweise substituiert werden. Da die Gießereien aber hauptsächlich Stahlschrott einsetzen, besteht hier das Problem der Allokation von Umweltauswirkungen, die in diesem Fall größtenteils der Erstverwendung des Stahlprodukts angelastet werden. Zudem verwenden die Gießereien einen koksgefeuerten Kupolofen anstelle eines Elektroofens. Deshalb sind hier lediglich informativ die Kennwerte für Elektrostahl aufgeführt. Mit der vorhandenen Datenbasis konnte zudem keine Ressourceneffizienzkennzahl ermittelt werden.

### Ergebnis:

Treibhauspotenzial:	0,0397	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg Elektrostahl
Energieaufwand:	0,138	kWh / kg Elektrostahl
Ressourceneffizienzkennzahl:	-	kg Fe eq. / kg Elektrostahl

## Neu

Tabelle 13 zeigt die Input- und Outputströme bei der Herstellung der SiC-Formlinge. In der Ergebnistabelle sind die Kennwerte entgegen der sonst üblichen Praxis aber auf ein kg rückgewonnen Eisenstaub bezogen. Wegen der fehlenden Ökobilanzdaten wichtiger Stoffströme kann auch hier keine Ressourceneffizienzkennzahl angegeben werden.

**Tabelle 13:** Übersicht der Input- und Outputströme – Neu Gießereistaub

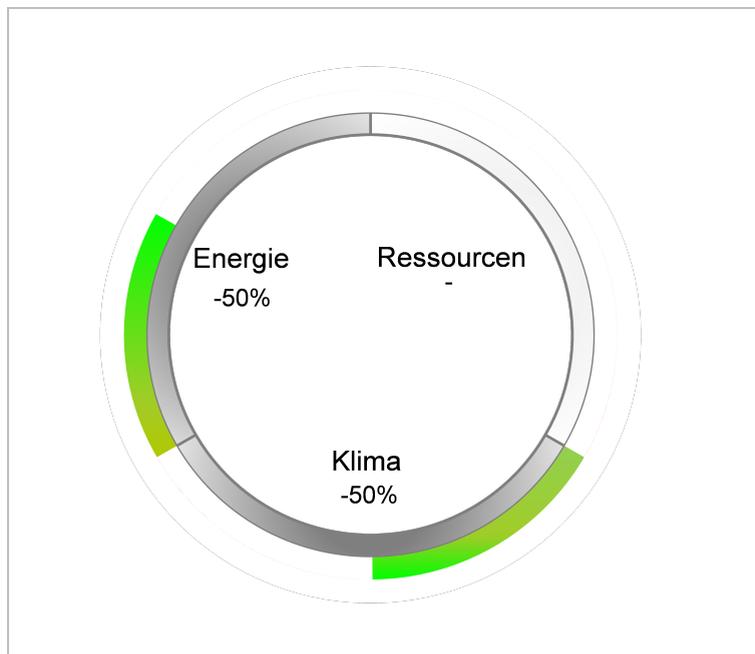
Neu				
Inputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Input	Detail		
Material	Strom	Anteil Produktionsstrom Formlinge 75 %	17,31	kWh
Material	Heizöl	Hallenheizung Schwarzenbach	2,90	dm <sup>3</sup> (l)
Material	Dieselmotoren	Anteil Dieselmotoren Formlinge	1,19	dm <sup>3</sup> (l)
Material	Siliziumcarbid		760,00	kg
Material	Kalkstein	Basizitätsausgleich (Anteil kann je nach Gießereistaub variieren)	30,00	kg
Material	Gießereistaub (z. B. von Frankenguss-Kitzingen)		110,00	kg
Material	CSA-Zement		50,00	kg
Material	Wasser		130,00	dm <sup>3</sup> (l)
 <b>Prozess = Black Box</b> 				

Outputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Output	Details		
Hauptprodukt = FE	SiC-Staub-Formling		1.000,00	kg
Direkte Emission	Wasser	Verdunstung durch Trocknung	80,00	dm <sup>3</sup> (l)
Transport	Siliziumcarbid		1044	km
Transport	Gießereistaub		175	km
Transport	CSA-Zement		206	km
Transport	Kalkstein		35	km

Ergebnis:

Treibhauspotenzial: 0,0197 kg CO<sub>2</sub> eq. / kg Fe-Staub  
 Energieaufwand: 0,0685 kWh / kg Fe-Staub  
 Ressourceneffizienzkennzahl: - kg Fe eq. / kg Fe-Staub

Gegenüber der Herstellung von Elektrostahl ergeben sich deutliche Vorteile, wegen der sehr eingeschränkten Vergleichbarkeit (s. o.) ist die grafische Darstellung in Abbildung 11 aber nur bedingt aussagekräftig.



**Abbildung 11:** Vergleich bilanzierte Baseline mit der Entwicklung des Projekts BGMR zur Rückgewinnung von Gießereistaub (Grafik bedingt aussagekräftig)

### 3.3.2.7. Recycling von Wärmedämmverbundsystemen – WDVS

Das Projekt beschäftigte sich mit einer Aufbereitungsstrategie auf Basis von verfahrenstechnischen Prozessschritten, um die komplexen Kompositmaterialien von Wärmedämmverbundsystemen mechanisch aufzuschließen und die jeweiligen Stoffe sortenrein und schadstoffarm als verwertbare Sekundärrohstoffe recycelt in den Markt zurückzuführen. Die detaillierte Vorgehensweise und die erreichten Ziele sind im spezifischen Projektbericht dokumentiert.

Als beispielhafte Bilanz wurde der Fokus auf die Anteile des Polystyrols zum einen bei EPS und zum anderen bei XPS als Dämmstoffmaterial gelegt. Laut Projekt werden von 1000 kg Einsatzstoff 900 kg Rezyklat zurückgewonnen und 100 kg gehen verloren. Zur besseren Vergleichbarkeit mit der konventionellen Kunststoffherstellung sind aber die Ergebnisse jeweils auf 1 kg des Kunststoffs bezogen.

#### Baseline

Die Daten für den Treibhauseffekt und den Energieaufwand für die Polystyrolherstellung wurden aus der GaBi-Software übernommen. Wie bereits beim Projekt DIMOP erläutert, liefert die angewandte Methodik auch Werte für die Ressourceneffizienzkennzahl, obwohl die Knappheit des Rohstoffs Erdöl derzeit noch nicht abgebildet werden kann.

#### Ergebnis EPS:

Treibhauspotenzial:	2,67	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg Kunststoff EPS
Energieaufwand:	23,87	kWh / kg Kunststoff EPS
Ressourceneffizienzkennzahl:	6,92	kg Fe eq. / kg Kunststoff EPS

#### Ergebnis XPS:

Treibhauspotenzial:	2,8	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg Kunststoff XPS
Energieaufwand:	23,00	kWh / kg Kunststoff XPS
Ressourceneffizienzkennzahl:	14,82	kg Fe eq. / kg Kunststoff XPS

#### Neu 1 (EPS)

Die Input- und Outputströme des Polystyrolrecyclings EPS sind in der Tabelle 14 aufgezeigt.

**Tabelle 14:** Übersicht der Input- und Outputströme – Neu Polystyrolrecycling EPS

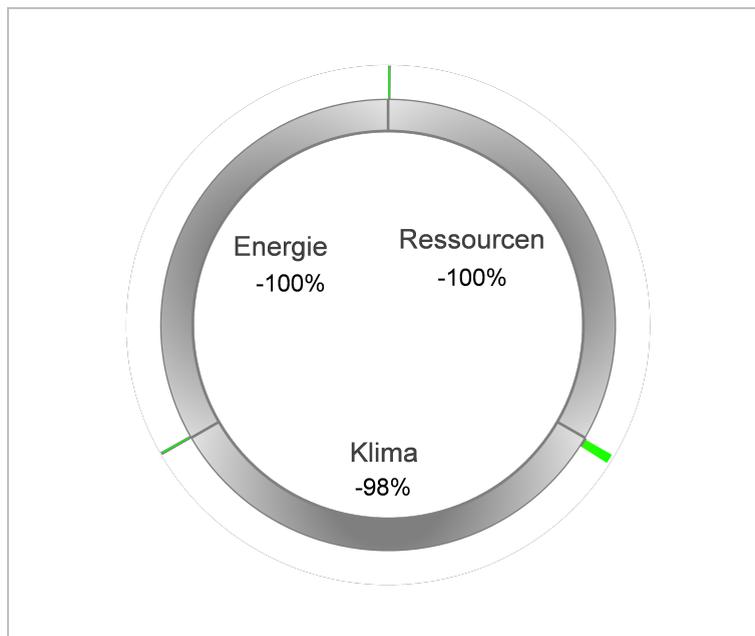
Neu 1				
Inputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Input	Detail		
Material	Wärmedämmverbundsystem mit EPS als Dämmstoffmaterialien		1.000	kg
Energie	Zerkleinerungsenergie		12,16	kWh/m <sup>3</sup>
↓				
<b>Prozess = Black Box</b>				
↓				

Outputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Output	Details		
Hauptprodukt = FE	EPS		240	kg
Nebenprodukt	Mineralik		103	kg oder m <sup>3</sup> ?
Nebenprodukt	Glasfasern		557	kg oder m <sup>3</sup> ?
Abfall	Rest		100	kg

**Ergebnis:**

Treibhauspotenzial: 0,05 kg CO<sub>2</sub> eq. / kg Kunststoff EPS  
 Energieaufwand: 0,11 kWh / kg Kunststoff EPS  
 Ressourceneffizienzkennzahl: 4,27E-06 kg Fe eq. / kg Kunststoff EPS

Bei diesem Isolierstoff ergibt sich in allen Kategorien ein deutlicher Vorteil durch den Recyclingprozess, wiederum auf insgesamt niedrigem Niveau (Abbildung 12).



**Abbildung 12:** Vergleich bilanzierte Baseline mit der Entwicklung des Projekts WDVS zur Rückgewinnung von EPS

**Neu 2 (XPS)**

Die Input- und Outputströme des Polystyrolrecyclings XPS sind in der Tabelle 15 aufgelistet.

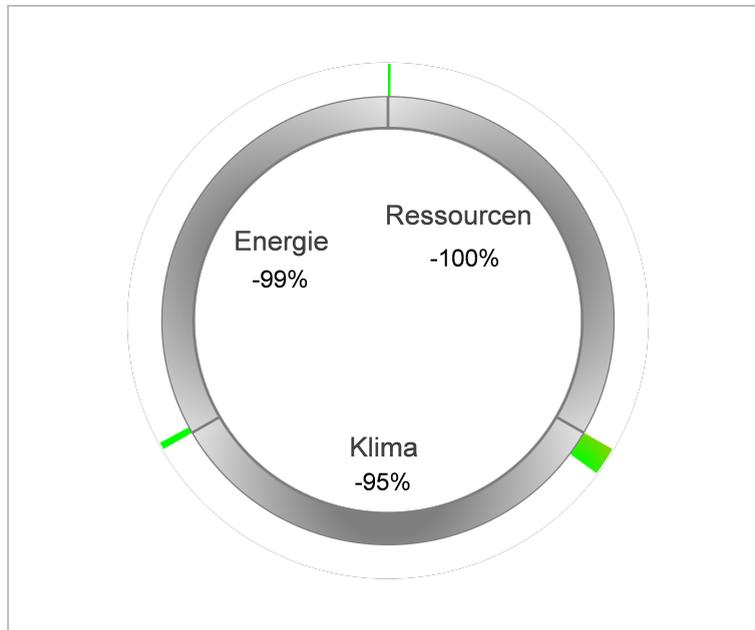
**Tabelle 15:** Übersicht der Input- und Outputströme – Neu Polystyrolrecycling XPS

Neu 2				
Inputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Input	Detail		
Material	Wärmedämmverbundsystem mit EPS als Dämmstoffmaterialien		1.000	kg
Energie	Zerkleinerungsenergie		30,145	kWh/m <sup>3</sup>
↓				
Prozess = Black Box				
↓				
Outputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Output	Details		
Hauptprodukt = FE	EPS		294	kg oder m <sup>3</sup> ?
Nebenprodukt	Mineralik		60	kg oder m <sup>3</sup> ?
Nebenprodukt	Glasfasern		546	kg oder m <sup>3</sup> ?
Abfall	Rest		100	kg

Ergebnis:

Treibhauspotenzial:	0,15	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg Kunststoff XPS
Energieaufwand:	0,31	kWh / kg Kunststoff XPS
Ressourceneffizienzkennzahl:	1,24E-05	kg Fe eq. / kg Kunststoff XPS

Auch bei XPS ergibt sich in allen Kategorien ein deutlicher Vorteil durch den Recyclingprozess auf insgesamt niedrigem Niveau (Abbildung 13).



**Abbildung 13:** Vergleich bilanzierte Baseline mit der Entwicklung des Projekts WDEV zur Rückgewinnung von XPS

### 3.3.2.8. Erhöhung der Nachhaltigkeit in der Behälterglasindustrie durch Vermeidung von Beschichtungen – VaporCoat

Konventionelles Behälterglas wird in einem zweistufigen Vergütungsprozess mit einer kratzfesten Schicht versehen. Bei der 1. Stufe, der Heißendvergütung, wird zunächst eine etwa 10 nm dicke Zinnoxidschicht abgeschieden, bei der Kaltendvergütung folgt eine dünne Polyethylen-Schicht. Durch diese Schichten wird die Kratzfestigkeit der Glasoberfläche erheblich gesteigert, so dass die Flaschen nach Erstbefüllung kratzerfrei in den Verkauf gelangen. Im Rahmen des Projekts VaporCoat wurde untersucht, ob die Vergütung von Behälterglas durch eine Heißdampfbehandlung der Glasoberfläche ersetzt werden kann. Dazu wurde die noch heiße Glasoberfläche mit überhitztem Wasserdampf überströmt. Die Untersuchungen konnten eine Härtesteigerung der Glasoberfläche nachweisen. Nach 2-3 Wochen klingt der Effekt jedoch wieder ab. Eine Erhöhung der Kratzfestigkeit, wie bei der konventionellen Vergütung erzielbar, wurde nicht im gewünschten Umfang erreicht.

Die durchgeführte Bilanzierung betrachtet nur den Vorgang der Heißdampfkonditionierung im Vergleich zur herkömmlichen Vergütung. Der energetische und klima-bezogene Fußabdruck der Flaschenherstellung ist durch bereits vorhandene LCAs bekannt und wurde nur partiell herangezogen, um z. B. den Energieaufwand für die konventionelle Vergütung zu ermitteln. Der Energieaufwand für die Heißdampfkonditionierung wurde basierend auf Laborergebnissen für eine Produktionslinie mit einer Kapazität von 180 Flaschen pro Minute ermittelt und skaliert.

#### Baseline

Da keine Vorketten-Daten für Monobutylzintrichlorid gefunden wurden, wurde MBTC rohstoffseitig substituier durch 42 Gew.-% Zinn, 19,5 Gew.-% Buten und 38,5% HCl. Umwandlungsenthalpien für die Herstellung von MBTC wurden vernachlässigt, da es sich gemäß den Angaben des Projektes

um eine "bereitwillig ablaufende Reaktion" handeln soll. Die Produktion findet in Fernost statt, weshalb ein Seeweg von 10.000 km und ein Lkw-Transport von 700 km berücksichtigt wurde. Da sich die Auswertung auf Zinn bezieht und bei der Projekttechnologie dieser Rohstoff keine Verwendung mehr findet, sinkt hier die Ressourceneffizienzkennzahl auf den Wert 0 ab. Bei der Heißdampfkonditionierung wurde eine Rückführung von 70% des Dampfs für eine stoffliche und energetische Weiternutzung veranschlagt. Die 30% Schlupf am Ofenausgang müssen eingangsseitig als Speisewasser nachgeführt werden.

**Tabelle 16:** Übersicht der Input- und Outputströme – Baseline Behälterglas

<b>Baseline</b>				
<b>Inputs</b>				
<b>Fluss</b>	<b>Stoffstrom</b>		<b>Menge</b>	<b>Einheit</b>
	<b>Input</b>	<b>Detail</b>		
Material	Behälterglas, unvergütet		1,00	kg
Material	Monobutylzintrichlorid (MBTC)	für 1. Vergütungsschicht	35,60	mg
Material	Polyethylen	für 2. Vergütungsschicht	1,60	mg
Material	Wasser	Dispergiermedium	164,20	mg
Energie	Strom (Mix Deutschland 2021)	Niederspannungsnetz	5,50	Wh
Transport	Lkw 7,5t, MBTC	Landweg Antwerpen-Steinbach a.W.	700,00	km
Transport	Schiff-Transport MBTC	Seeweg China-Antwerpen	10.000,00	km
 <b>Prozess = Black Box</b> 				
<b>Outputs</b>				
<b>Fluss</b>	<b>Stoffstrom</b>		<b>Menge</b>	<b>Einheit</b>
	<b>Output</b>	<b>Details</b>		
Hauptprodukt = FE	Behälterglas, vergütet	Schicht aus SnO <sub>2</sub> und PE	1,00	kg
Direkte Emission	Ethen	gasförmig	7,10	mg
Direkte Emission	HCl	gasförmig, Aerosol	13,90	mg
Direkte Emission	Polyethylen	partikulär (Overspray)	0,90	mg
Direkte Emission	Wasser	Aerosol	164,20	mg

Ergebnis:

Treibhauspotenzial: 0,0031 kg CO<sub>2</sub> eq. / kg Glasflasche  
 Energieaufwand: 0,020 kWh / kg Glasflasche  
 Ressourceneffizienzkennzahl: 37.017,18 kg Fe eq. / kg Glasflasche

**Neu**

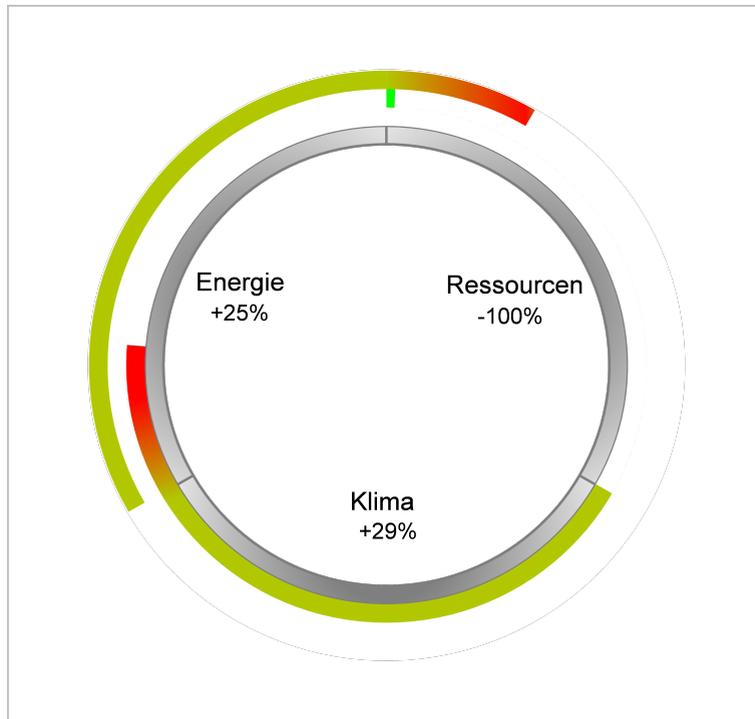
**Tabelle 17:** Übersicht der Input- und Outputströme – Neu Behälterglas

<b>Neu</b>				
<b>Inputs</b>				
<b>Fluss</b>	<b>Stoffstrom</b>		<b>Menge</b>	<b>Einheit</b>
	<b>Input</b>	<b>Detail</b>		
Material	Behälterglas, unvergütet		1,00	kg
Material	Wasser	Dampfkonditionierung	875,90	mg
Energie	Strom (Mix Deutschland 2021)	Niederspannungsnetz	7,90	Wh
 <b>Prozess = Black Box</b> 				
<b>Outputs</b>				
<b>Fluss</b>	<b>Stoffstrom</b>		<b>Menge</b>	<b>Einheit</b>
	<b>Output</b>	<b>Details</b>		
Hauptprodukt = FE	Behälterglas, vergütet	Schicht aus SnO <sub>2</sub> und PE	1,00	kg
Direkte Emission	Wasserdampf, gesättigt	"Schlupf" Ofenausgang	875,90	mg

Ergebnis:

Treibhauspotenzial:	0,004	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg Glasflasche
Energieaufwand:	0,025	kWh / kg Glasflasche
Ressourceneffizienzkennzahl:	0,00	kg Fe eq. / kg Glasflasche

Erwartungsgemäß kommt es durch die energieintensive Dampferzeugung zu einer leichten Zunahme der THG-Emissionen und des Energiebedarfs, während die Ressourceneffizienz durch den Wegfall des Rohstoffs Zinn verbessert wird (Abbildung 14).



**Abbildung 14:** Vergleich bilanzierte Baseline mit der Entwicklung des Projekts VaporCoat zum Verzicht auf zinnhaltige Beschichtungen

### 3.3.2.9. Optimierung von Holz-Beton-Verbundbauweise durch Verwendung natürlicher und ökologischer Wertstoffe – HB(Ca)V

Im aktuellen Stand der Technik wird für die mineralische Deckschicht von Holz-Beton-Verbunddecken ausschließlich Zementbeton mit Stahlbewehrung verwendet. Beide Werkstoffe stehen mit einem sehr hohen Ressourcenverbrauch und massiven CO<sub>2</sub>-Emissionen in Verbindung. Ziel des Projekts war es, ökologischere Werkstoffe für die mineralische Deckschicht in dieser Anwendung zu entwickeln und damit v.a. den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zu minimieren. Mit ökologischeren Calciumsulfat-Bindermitteln anstelle von Zement können monolithische Bauteile mit ähnlich hoher Festigkeit und Steifigkeit errichtet werden. Durch die Substitution von Stahlbewehrung durch Basaltfaserbewehrung sind weitere CO<sub>2</sub>-Einsparungen möglich.

Baseline

Tabelle 18 zeigt den Materialbedarf der betrachteten Baseline für die Herstellung eines Quadratmeters Verbunddecke. Für die Ergebnisermittlung konnten die Datenbankeinträge der GaBi-Software für Zementbeton und Bewehrungsstahl direkt genutzt werden. Der Holzanteil in den Verbunddecken ist sowohl bei der konventionellen Fertigung als auch bei der Projekttechnologie identisch und wurde deshalb nicht ausgewiesen.

**Tabelle 18:** Übersicht des Materialbedarfs – Baseline Decke

<b>Baseline</b>				
<b>Outputs</b>				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Output	Details		
Hauptprodukt = FE	Zementbeton		195,00	kg
Hauptprodukt = FE	Stahlbewehrung		3,00	kg

Ergebnis:

Treibhauspotenzial: 17,4 kg CO<sub>2</sub> eq. / m<sup>2</sup> Deckenfläche  
 Energieaufwand: 31,5 kWh / m<sup>2</sup> Deckenfläche  
 Ressourceneffizienzkenzahl: 97.756,184 kg Fe eq. / m<sup>2</sup> Deckenfläche

**Neu**

Tabelle 19 zeigt die In- und Outputströme für die Herstellung eines Quadratmeters Verbunddecke unter den Annahmen des Fachprojekts. Aufgrund lückenhafter Ökobilanzdaten wurden für die Basaltfasern Steinwolle und für den nicht aufgeführten Calciumsulfatbinder hilfsweise Gipsputz in Ansatz gebracht.

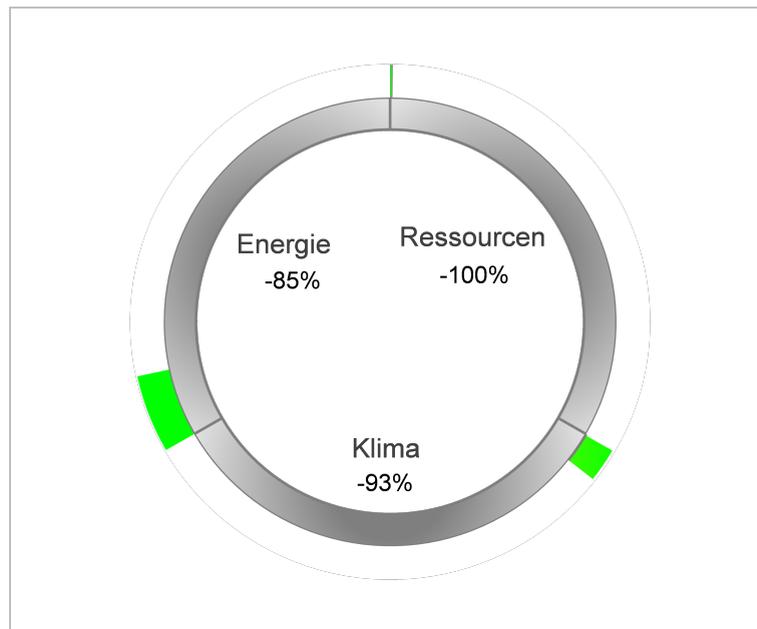
**Tabelle 19:** Übersicht der Input- und Outputströme – Neu Decke

<b>Neu</b>				
<b>Inputs</b>				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Input	Detail		
Material	Basaltschotter		1,40	kg
Material	Basaltfaser		1,00	kg
 Prozess = Black Box 				
<b>Outputs</b>				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Output	Details		
Hauptprodukt = FE	CaSO <sub>4</sub> -Beton		170,00	kg
Hauptprodukt = FE	Basaltfaserbewehrung		1,00	kg

Ergebnis:

Treibhauspotenzial: 1,16 kg CO<sub>2</sub> eq. / m<sup>2</sup> Deckenfläche  
 Energieaufwand: 4,65 kWh / m<sup>2</sup> Deckenfläche  
 Ressourceneffizienzkenzahl: 20,18 kg Fe eq. / m<sup>2</sup> Deckenfläche

Wie in Abbildung 15 ersichtlich, führt die Substitution von Zementbeton und Bewehrungsstahl in allen betrachteten Kategorien zu erheblichen Einspareffekten. Besonders deutlich fällt die Reduzierung der Ressourceneffizienz kennzahl aus, was mit den hohen Werten dieses Kennwertes für die im Bewehrungsstahl enthaltenen Legierungselemente zusammenhängt.



**Abbildung 15:** Vergleich bilanzierte Baseline mit der Entwicklung des Projekts HB(Ca)V zur Verwendung von Holz-Beton-Verbunddecken

### 3.3.2.10. Chemische Mobilisierung und Mikroalgen-basierte Bioadsorption von Seltenen Erden aus Kaolinit und anderen Wertstoffen – MiKa

Das Ziel des Projekts MiKa war die Entwicklung und Optimierung eines Seltene Erden (SE)-Anreicherungsverfahrens aus Reststoffströmen der Kaolinproduktion, die hauptsächlich aus Kaolinit, Feldspat und Quarzsand bestehen. Das Verfahren soll dabei durch Anwendung verdünnter Säuren und Algenbiomasse ressourcenschonender und nachhaltiger sein als konventionelle Prozesse.

Für die Auswertung wurden die Datenbankeinträge der vier Seltenen Erden Cer, Lanthan, Yttrium und Neodym aus ecoinvent 3.8 herangezogen. Diese in oxidischer Form zurückgewonnenen Elemente stellten die Seltenen Erden mit den im Projekte höchsten zurückgewonnenen Anteilen dar. In der Aggregation der jeweiligen Kategorien wurden die Einzelwerte mit den zurückgewonnenen Massenanteilen gewichtet und in diesem Verhältnis aufsummiert.

## Baseline

### Ergebnis:

Treibhauspotenzial:	21,16	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg SE-Oxid (Ce, La, Y, Nd)
- Cer	16,31	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg CeO <sub>2</sub>
- Lanthan	40,86	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
- Yttrium	28,76	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
- Neodym	53,65	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Energieaufwand:	93,84	kWh / kg SE-Oxid (Ce, La, Y, Nd)
- Cer	66,12	kWh eq. / kg CeO <sub>2</sub>
- Lanthan	185,57	kWh eq. / kg La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
- Yttrium	135,01	kWh / kg Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
- Neodym	250,02	kWh eq. / kg Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ressourceneffizienzkenzahl:	29.103	kg Fe eq. / kg SE (Ce, La, Y, Nd)
- Cer	30.924	kg Fe eq. / kg CeO <sub>2</sub>
- Lanthan	49.838	kg Fe eq. / kg La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
- Yttrium	20.898	kg Fe / kg Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
- Neodym	73.438	kg Fe eq. / kg Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

## Neu

Tabelle 20 zeigt die In- und Outputströme für die Rückgewinnung eines Kilogramms Seltener Erdoxide unter den Annahme des Fachprojekts.

**Tabelle 20:** Übersicht der Input- und Outputströme – Neu Seltene Erden

Neu				
Inputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Input	Detail		
Material	Kaolin Reststoff		2.600,00	kg
Material	Schwefelsäure (96%)		10500	dm <sup>3</sup> (l)
Material	Natronlauge (NaOH)		2.260,00	kg
Material	Algenbiomasse		200,00	kg
Material	CO <sub>2</sub>	wird fixiert	600,00	kg
Material	Wasser		31.500,00	dm <sup>3</sup> (l)
Energie	Heizung		160,00	kWh
Energie	Trocknung	Abwärme vor Ort		
 <b>Prozess = Black Box</b> 				

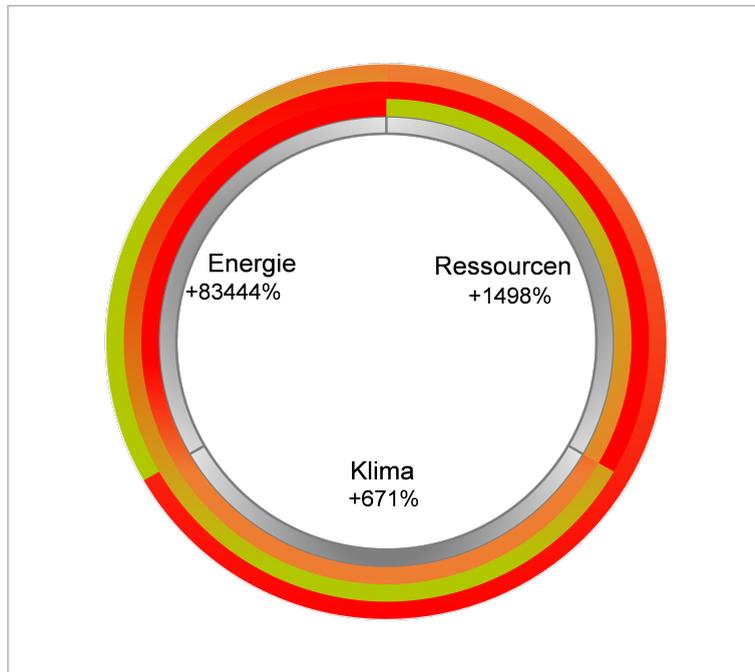
Outputs				
Fluss	Stoffstrom		Menge	Einheit
	Output	Details		
Hauptprodukt = FE	Seltene Erden Oxide		1,00	kg
Nebenprodukt	Aluminium		4,30	kg
Nebenprodukt	Silicium		1,90	kg
Nebenprodukt	Natriumsulfat		5.400,00	kg

### Ergebnis:

Treibhauspotenzial:	7.450	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg SE-Oxid (Ce, La, Y, Nd)
- Cer	3.191	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg CeO <sub>2</sub>
- Lanthan	1,054	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
- Yttrium	1.083	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
- Neodym	585	kg CO <sub>2</sub> eq. / kg Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Energieaufwand:	78.400	kWh / kg SE-Oxid (Ce, La, Y, Nd)
- Cer	33.578	kWh eq. / kg CeO <sub>2</sub>
- Lanthan	11.090	kWh eq. / kg La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
- Yttrium	11.398	kWh / kg Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
- Neodym	6.161	kWh eq. / kg Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ressourceneffizienzkennzahl:	465.000	kg Fe eq. / kg SE (Ce, La, Y, Nd)
- Cer	199.155	kg Fe eq. / kg CeO <sub>2</sub>
- Lanthan	65.776	kg Fe eq. / kg La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
- Yttrium	67.603	kg Fe / kg Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
- Neodym	36.542	kg Fe eq. / kg Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

In der Gegenüberstellung wird deutlich, dass die Kennwerte der Projektentwicklung derzeit noch über den Aufwänden für die konventionelle Produktion der Seltenerdoxide liegen. Lediglich beim Einzelwert für Neodym ist eine Verringerung der Ressourceneffizienzkennzahl auf etwa die Hälfte festzustellen. Hauptgrund für diesen Befund ist der derzeit noch hohe spezifische Verbrauch an Säuren und Laugen. Während die konventionelle Herstellung der Seltenerdoxide über Jahrzehnte alte, großindustrielle Prozesse erfolgt, stehen die Optimierungsbemühungen des Projektes derzeit noch am Anfang. Hier können sicherlich Ansätze wie die Kreislaufführung der Betriebsmittel oder die Verwendung von Abfallsäuren oder -laugen noch erhebliche Verbesserungen bringen.

Aufgrund der derzeit noch hohen Mehraufwendungen ist die Grafik in Abbildung 16 wenig aussagekräftig, soll aber der Vollständigkeit halber hier wiedergegeben werden. Aus dem gleichen Grund ist jedoch eine Hochrechnung des Einsparpotenzials nicht sinnvoll.



**Abbildung 16:** Vergleich bilanzierte Baseline mit der Entwicklung des Projekts MiKa zur alternativen Gewinnung von Seltenerdoxid

### 3.3.3. Ausblick: Formulierung von Handlungsempfehlungen für politische Entscheidungsträger und Unternehmen; Formulierung weiterer Forschungsfragen (AP 3.3)

Die Auswertung der einzelnen Projekte zeigte sowohl bei der Methodik als auch bei den Ergebnissen noch weiteren Entwicklungsbedarf auf.

#### 3.3.3.1. Technologisches Verbesserungspotenzial

Einige Projekte weisen in den betrachteten Wirkungskategorien Treibhausgasemissionen, Energieverbrauch und Ressourceneffizienzkennzahl noch merkliche Steigerungen gegenüber den konventionellen Herstellungsprozessen auf. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass die industriellen Verfahren teilweise über Jahrzehnte optimiert wurden, während es sich in den Projekten um komplette Neuentwicklungen handelt. Die verwendete Methodik erlaubt es, die Ursachen differenziert zu ermitteln und zeigt somit Ansatzpunkte für Verbesserungspotenziale auf. Beispielsweise führt beim Projekt MiKa der derzeit (noch) hohe spezifische Verbrauch an Säuren und Laugen aufgrund des ökologischen Rucksacks der verwendeten Chemikalien zu den dargestellten Ergebnissen. Hier wurde bereits auf Möglichkeiten der Kreislaufführung oder die Verwendung von Reststoffen aus anderen industriellen Prozessen hingewiesen. Bei der Chlor-Plattform entstammen höhere Treibhausgasemissionen augenscheinlich aus der energetischen Verwertung von Pyrolyseprodukten aus Kunststoffen. Hier wäre beispielsweise eine Sequestrierung von Pyrolysekoks dankbar, wobei dann natürlich auch die daraus resultierende energetische Gutschrift wegfallen würde. Allerdings sind die Kunststoffe auch unabhängig von der Indiumgewinnung adäquat zu entsorgen, weshalb ggf. eine differenziertere Allokationsmethodik der Emissionen vorgenommen werden sollte.

Bei einigen anderen Projekten sind Mehrverbräuche zum Teil weniger augenfällig, aber auch wenn bereits jetzt Minderungen gegenüber dem Status quo auftreten sind weitere Verbesserungen durch Lern- und Skalierungseffekte zu erwarten. Staatlich unterstützte Programme zur Weiterentwicklung der Technologien in den industriellen Maßstab sind dazu immens hilfreich. Die derzeit laufende Fortschreibung des Projektverbundes ForCYCLE Technikum in der Verantwortung des StMUV hat diesbezüglich bereits die Weichen richtig gestellt.

### **3.3.3.2. Weiterentwicklung der Ressourceneffizienz Kennzahl**

Die Ressourceneffizienz Kennzahl ist vom Grundsatz her auf die Bewertung einzelner chemischer Elemente zugeschnitten. Dementsprechend können Verfügbarkeitsrisiken insbesondere von organischen Verbindungen derzeit nicht damit abgebildet werden. Da die Grundstoffbasis der chemischen Industrie aber nach wie vor zum Großteil auf fossilen Rohstoffen (hauptsächlich Erdöl) aufbaut, bestehen vergleichbare Verhältnisse mit endlichen globalen Vorkommen, die in Reserven und Ressourcen unterteilt werden können. Hier erscheint eine Adaption möglich, wobei die Quantifizierung des anthropogenen Vorrats der in Gebrauch oder auf Deponien befindlichen Kunststoffprodukte ungleich schwieriger ausfallen dürfte. Ebenso bildet die Bewertung des steigenden Anteils der aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten Chemikalien eine herausfordernde Aufgabe.

Auch ohne diese Weiterentwicklungen ist stets die bestehende Methodik zur Bildung der Kennzahl kritisch zu hinterfragen. Die Ereignisse der jüngsten Vergangenheit haben die Risiken der globalen Lieferketten schmerzlich verdeutlicht. Möglicherweise müsste darauf mit einer höheren Gewichtung der länderspezifischen Risiken in der Aggregation der Bewertung reagiert werden.

Weitere Modifikationen betreffen bestimmte Besonderheiten, die sich bei Verwendung der neuartigen Kennzahl herausstellten. So führt beispielsweise die Bilanzierung von einem kg Eisen- oder Stahlwerkstoff interessanterweise zu Eisenäquivalenten von mehreren Tausend kg. Die Kennzahl wird hier maßgeblich von den Legierungsbestandteilen bestimmt, wobei sich Mangan als besonders einflussreiches Element herausgestellt hat. Die Vergleichbarkeit mit Eisen wird dadurch erschwert, dem durch Normierungen oder Schwellenwerte für die zu berücksichtigenden Elemente entgegen gewirkt werden könnte.

### **3.3.3.3. Bereitstellung von Datengrundlagen**

Die Beurteilung der Entwicklungen in den Fachprojekten wurde mitunter durch das Fehlen geeigneter Ökobilanzdaten erschwert. Die Anschaffung der Bilanzierungssoftware GaBi im Projektrahmen und die Kooperation mit dem Partner Fraunhofer UMSICHT, der über Zugang zu den ecoinvent-Daten verfügt, war diesbezüglich hilfreich. Dennoch wäre ein niederschwelliger Zugang zu ökobilanziellen Bewertungsdaten wünschenswert, damit beispielsweise auch Mitarbeitende von KMU oder Handwerksbetrieben mit wenig einschlägigen Fachkenntnissen rasch und einfach ökologische Auswirkungen der verwendeten Materialien ermitteln können und so ein besseres Bewusstsein für die damit verbundenen Zusammenhänge, z.B. auf die Klimabilanz der Unternehmen entsteht.

Angebote wie die ProBas-Datenbank des Umweltbundesamtes sind hier nützlich und sollten von staatlicher Seite aus aktuell und bedienungsfreundlich gehalten werden.

### **3.3.3.4. Beratungs- und Unterstützungsangebote für die Wirtschaft**

Das einschlägige Angebot der IHK und Handwerkskammern, lokale Initiativen wie A<sup>3</sup> Augsburg oder die Unterstützung von VDI-ZRE und nicht zuletzt auch das Ressourceneffizienz-Zentrum Bayern (REZ) trugen in der letzten Dekade erheblich dazu bei, dass die Thematik der Ressourceneffizienz

in den Fokus von Unternehmen rückte. Um die Potenziale für weitere Effizienzsteigerungen zu heben leisten die Informations- und Unterstützungsangebote über Öffentlichkeitsarbeit, best-practice-Beispiele oder kostengünstige Erstberatungen wertvolle Hilfen. Die inzwischen bestehenden Strukturen und das darin vorhandene personelle Fachwissen sollten mit Nachdruck erhalten und weiter ausgebaut werden. Die Verstetigung von Forschung, Beratung und Wissenstransfer ist aus fachlicher Sicht sinnvoll, die dafür investierten Gelder werden sich mit Sicherheit durch eine immer bessere Leistungsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft auch und gerade in Zeiten hoher globaler Versorgungsrisiken bezahlt machen.

## **3.4 Ressourceneffizienzpreis (AP 4)**

Die ressourceneffiziente Gestaltung von Produktionsprozessen ermöglicht es Unternehmen die Kosten, die Abhängigkeit von Rohstoffimporten und die mit dem Rohstoffverbrauch verbundenen Umweltauswirkungen zu verringern. Der politische Wille zur Ressourceneffizienz spiegelt sich auch in der nationalen Rohstoffstrategie sowie in der Bayerischen Ressourcenstrategie „Rohstoffwende Bayern“ wieder. Entsprechende Handlungsansätze und Maßnahmen sind im deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess I, II und III) konkretisiert oder werden z. B. durch das Ressourceneffizienz-Zentrum Bayern (REZ) vermittelt.

Als Anerkennung für diesbezügliche, sichtbare Erfolge in bayerischen Unternehmen wurde der Bayerische Ressourceneffizienzpreis vom bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) ins Leben gerufen. Dieser Preis zeichnet gezielt Firmen aus, die durch ihr Handeln und Engagement einen wesentlichen Beitrag zur Ressourceneffizienz leisten. Dabei können sich Unternehmen aus allen Branchen und unabhängig der Firmengröße bewerben, mit der Voraussetzung, dass der Firmensitz in Bayern ist. Sowohl innovative, in Entwicklung befindliche Technologien als auch bereits angewandte Verfahren und Prozesse, die zur Ressourceneffizienz beitragen, haben die Möglichkeit prämiert zu werden. Folglich kann der Bayerische Ressourceneffizienzpreis ein Instrument sein, um Firmen, die sich im Bereich der Ressourceneffizienz besonders hervorheben, zu würdigen und gleichzeitig einen Anreiz für Firmen zu geben, die Ressourceneffizienz stärker in den Fokus zu rücken. Zur inhaltlichen Gestaltung des Auswahl- und Vergabeprozesses wurde das Dachprojekt um entsprechende Arbeitspakete erweitert.

Der Preis wurde am 1. Februar 2021 erstmals ausgelobt. Interessenten konnten bis zum 15. März 2021 ihre Bewerbungen mittels vorgegebener Bewerbungsbögen, die über die Internetseite des Bayerischen Staatsministerium herunterzuladen waren, einreichen. Nach einem zweistufigen Auswahlverfahren wurden durch eine Fachjury mittels einer standardisierten Bewertungsmatrix vier Preisträger ermittelt und bei einer Hybridveranstaltung am 13. Juli 2021 in München öffentlichkeitswirksam ausgezeichnet. Neben dem Preisgeld von insgesamt 10.000 Euro und einem Signet erhielten die Preisträger einen ca. zweiminütigen Imagefilm sowie eine Kurzversion für die Sozialen Netzwerke.

### **3.4.1. Analyse bestehender Preise**

Um den Neuheitscharakter des Bayerischen Ressourceneffizienzpreises zu verdeutlichen, wurden zunächst bekannte Preise und Ehrungen des Bundes sowie des Freistaats Bayern und seiner Organisationseinheiten (Ministerien, Ämter usw.) mit ähnlichem Themenbezug recherchiert und die Unterschiede zu den bestehenden Vergabekriterien herausgearbeitet. Mit diesen Erkenntnissen wurden im weiteren Verlauf der Bewerbungsprozess, das Auswahlverfahren bzw. der Bewertungsprozess und die Gestaltung der Preisverleihung entwickelt. Diese werden im Folgenden weiter erläutert.

### **3.4.2. Gestaltung Bewerbungsprozess für Unternehmen (AP 4.1)**

Ziel war es, den Bewerbungsprozess so zu gestalten, dass dieser für die Unternehmen möglichst einfach und mit relativ geringem Zeitaufwand durchzuführen ist. Deshalb wurde hierfür ein größtenteils selbsterklärender Bewerbungsbogen sowie ein detaillierter Ausschreibungstext in enger Zusammenarbeit mit dem StMUV erarbeitet. Der Ausschreibungstext enthielt wichtige Informationen

über den gesamten Ablauf und den Inhalt des Ressourceneffizienzpreises und wurde mit der Bekanntmachung des Preises auf der Internetseite des StMUV veröffentlicht. Im speziellen enthielt der Ausschreibungstext Informationen zu den folgenden Punkten:

- Was sind die Ziele des Preises?
- Was wird ausgezeichnet?
- Wer ist teilnahmeberechtigt?
- Wie erfolgt die Bewerbung?
- Auf welchen Kriterien basiert der Auswahlprozess?
- Wie wird der Preis verliehen?
- Wo erhalte ich weitere Auskünfte?

Durch die detaillierte Schilderung erhielten Interessenten einen ganzheitlichen Überblick über den Inhalt des Preises sowie die Bewerbung und den anschließenden Auswahlprozess. Die einzelnen Inhaltspunkte der Ausschreibung sind im Folgenden genauer beschrieben.

#### **3.4.2.1. Ziele des Preises**

Der schonende Umgang mit natürlichen Ressourcen stellt einen wichtigen Baustein für den Schutz der Umwelt dar. Ein effizienter Einsatz von Ressourcen senkt die Kosten in den Unternehmen, verringert die Importabhängigkeit und schont gleichzeitig die Umwelt und das Klima.

Die bayerische Wirtschaft leistet einen bedeutsamen Beitrag zur Ressourcenschonung. Das StMUV hat daher den Bayerischen Ressourceneffizienzpreis ins Leben gerufen, um bayerische Unternehmen zu würdigen, die sich für einen nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen in Bayern einsetzen und damit eine Vorreiterrolle einnehmen.

Der Bayerische Ressourceneffizienzpreis richtet sich an bayerische Unternehmen, und hier insbesondere an kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) sowie Handwerksbetriebe.

Bei dem Bayerischen Ressourceneffizienzpreis handelt es sich um eine Ehrengabe, die mit einer Geldsumme dotiert ist. Der Preis ist Teil der neuen Umwelt- und Klimapartnerschaft zwischen Bayerischer Staatsregierung und der bayerischen Wirtschaft.

#### **3.4.2.2. Auszeichnungsgegenstand**

Der Preis wurde an bayerische Unternehmen verliehen, die sich mit herausragenden, zukunftsweisenden Leistungen für einen nachhaltigen Einsatz von natürlichen Ressourcen einsetzen. Der Fokus lag dabei insbesondere auf abiotischen Rohstoffen und Materialien.

Ressourceneffizienz wird im engeren Sinne mit dem Fokus auf eine Erhöhung der Rohstoff- und Materialeffizienz, also einer effizienten und umweltschonenden Nutzung von Rohstoffen und Materialien verstanden. Dementsprechend wurden Leistungen, die ausschließlich auf eine Erhöhung der Energieeffizienz abzielen, nicht berücksichtigt.

Der Preis wurde insbesondere für herausragende, zukunftsweisende Leistungen in einem oder mehreren der folgenden Themenschwerpunkte verliehen:

- Steigerung der Ressourceneffizienz durch Automatisierung, Digitalisierung und neue Geschäftsmodelle (z. B. *Entwicklung und Einführung von Digitalisierungsprozessen in der Produktion, Anwendung neuer Geschäftsmodelle zu effizienterer Produktnutzung*)

- Steigerung der Ressourceneffizienz im Bereich der Produktion (z. B. *geringerer Material- / Rohstoffeinsatz, ressourceneffizientere Produktionsprozesse*)
- Steigerung der Ressourceneffizienz durch Substitution von Werkstoffen / Materialien (z. B. *Vermeidung kritischer Rohstoffe und Nutzung umweltfreundlicher Stoffe/Materialien*)
- Steigerung der Ressourceneffizienz durch Integrierte Produktpolitik (*Ökologische Produktentwicklung unter Berücksichtigung des gesamten Produktlebenszyklus*), (z. B. *Verlängerung der Produktlebensdauer, modularer Aufbau, Ökodesign, Reduzierung der Materialvielfalt, Vermeidung von Abfällen, gesteigerter Einsatz von Sekundärrohstoffen*)
- Steigerung der Ressourceneffizienz durch Stärkung der Kreislaufwirtschaft: Recyclingtechnologien und ressourceneffiziente Rohstoffrückgewinnung und –aufbereitung (z. B. *Effizienzsteigerung von Aufbereitungsprozessen, Verbesserung von Rezyklatqualitäten*)

Es war möglich, dass eine Bewerbung mehreren Themenschwerpunkt zugeordnet wird.

#### **3.4.2.3. Teilnahmebedingungen**

Teilnahmeberechtigt waren Unternehmen, die ihren Hauptsitz oder eine Niederlassung in Bayern haben. Die Bewerbung von KMU, Handwerksbetrieben und Nachwuchsunternehmen („Start-Ups“) wurde ausdrücklich begrüßt. Zudem war die Teilnahme kosten- und gebührenfrei. Als Voraussetzung galt zudem, dass sich das Unternehmen bereits auf den Weg hin zu einem ressourceneffizienten Wirtschaften gemacht hat, welches mittel- bis längerfristig ausgelegt ist.

#### **3.4.2.4. Bewerbungsablauf**

Von den Unternehmen war der vorgegebene Bewerbungsbogen auszufüllen, der Angaben zum Unternehmen sowie die Auswahl des adressierten Schwerpunkts/ der adressierten Schwerpunkte in denen das Unternehmen tätig ist bzw. in auf welchen Themenschwerpunkt/ welche Themenschwerpunkte die Bewerbung abzielt, enthielt. Zudem sollte die auszeichnungswürdige Technologie bzw. Tätigkeit kurz erläutert werden.

Das Bewerbungsformular wurde auf der Internetseite des StMUV, auf der auch die Bekanntmachung des Ressourceneffizienzpreises sowie der Ausschreibungstext einzusehen waren, zum Download zur Verfügung gestellt.

Hier wurde auch bereits der Hinweis gegeben, dass bei einer positiven Vorauswahl ggf. weitere Unterlagen angefordert werden. Das ausgefüllte Formular war per Mail an das StMUV unter [ressourcenmanagement@stmuv.bayern.de](mailto:ressourcenmanagement@stmuv.bayern.de) zu übermitteln. Dazu hatten die Unternehmen vom 1. Februar 2021 bis zum 15. März 2021 die Gelegenheit.

#### **3.4.2.5. Kriterien des Auswahlprozesses**

Die Kriterien des Auswahlprozesses sind unter Kapitel 3.4.3. genauer dargestellt.

#### **3.4.2.6. Preisverleihung**

Die 4 Gewinner des Bayerischen Ressourceneffizienzpreises 2021 wurden im Rahmen einer Preisverleihung vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) öffentlich bekanntgegeben und erhielten:

- eine Urkunde, einen Geldpreis von 2.500 € und einen Sachpreis (Skulptur, die aus Recyclingmaterial besteht; siehe Anlage 6) sowie ein digitales Signet des StMUV als Preisträger des Bayerischen Ressourceneffizienzpreises 2021 für die Nutzung auf der unternehmenseigenen Internetseite
- einen Gewinnerfilm über das Unternehmen, der im Nachgang der Preisverleihung auf dem Youtube-Kanal des StMUV veröffentlicht wird sowie der Öffentlichkeitsarbeit des Unternehmens zur Verfügung gestellt wird
- die Möglichkeit zur Darstellung der Leistung als Praxisbeispiel in Zusammenarbeit mit dem Ressourceneffizienz-Zentrum Bayern.

#### **3.4.2.7. Auskünfte**

Bei Rückfragen konnten sich die Teilnehmer per Mail [ressourcenmanagement@stmuv.bayern.de](mailto:ressourcenmanagement@stmuv.bayern.de) an das StMUV wenden.

### **3.4.3. Gestaltung des Auswahlverfahrens (AP 4.2)**

#### **3.4.3.1. Wissenschaftliche Erarbeitung einer multikriteriellen Bewertungsmatrix (4.2.1)**

Um die besten respektive ehrungswürdigsten Preisträger herausfiltern zu können, wurde ein transparentes und nachvollziehbares Bewertungssystem, das die Innovationen bzw. Verbesserungen nach Nachhaltigkeitsaspekten ordnet, erarbeitet. Bewertungskriterien sind nachfolgend aufgelistet. Die einzelnen Parameter wurden zusätzlich mit verschiedenen Gewichtungsfaktoren (von einfach bis dreifach; Angabe in Klammern) versehen.

- Beitrag zur Ressourceneffizienz<sup>1</sup> (3x)
- Umweltrelevanz (3x)
- Nutzen für Bayern (2x)
- Bezug zu den Themenschwerpunkten<sup>2</sup> (1x)
- „Leuchtturmcharakter“<sup>3</sup> (2x)
- Bereits erreichte Erfolge / Zeithorizont bis zur Umsetzung<sup>4</sup> (1x)

*Erläuterung zu den gekennzeichneten Kriterien:*

<sup>1</sup> *Quantitativer und qualitativer Beitrag zur Ressourceneffizienz (Massen-, wirtschaftliche und strategische Relevanz)*

<sup>2</sup> *Grad der Übereinstimmung mit mindestens einem der Themenschwerpunkte*

<sup>3</sup> *„Leuchtturmcharakter“: Innovationshöhe, Skalier- und Adaptierbarkeit für eine breite Anwendung*

<sup>4</sup> *Bereits erreichte Erfolge bei bestehenden Produkten und Verfahren oder Zeithorizont bis zur Umsetzung bei neuen Produkt- und Verfahrensentwicklungen*

Zu jedem Bewertungskriterium konnten 0 bis 5 Punkte durch jede Person der Fachjury vergeben werden.

#### **3.4.3.2. Einbindung eines Expertenkomitees als Beirat und Preisjury (AP 4.2.2)**

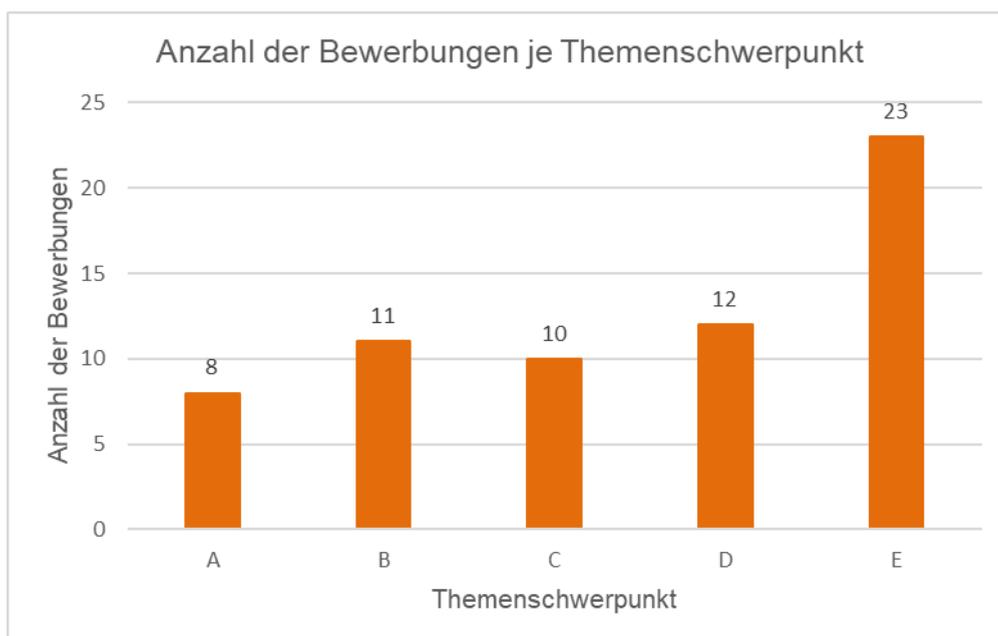
Das Expertenkomitee setzte sich aus 6 Vertreterinnen und Vertretern aus einschlägigen staatlichen Stellen, bayerischen Wissenschaftseinrichtungen sowie Wirtschafts- und Branchenverbänden wie

der IHK oder HWK zusammen. Durch das breite Spektrum an Jurymitgliedern konnte eine große Expertise bei der Bewertung sichergestellt werden.

### 3.4.4. Begleitung des Auswahlprozesses und der Preisverleihung (AP 4.3)

#### 3.4.4.1. Vorabprüfung eingereicherter Bewerbungen (AP 4.3.1)

Für den ersten Bayerischen Ressourceneffizienzpreis hatten sich 29 Unternehmen beworben. 2 Bewerbungen waren im Hauptfokus der Energieeffizienz und nicht der Ressourceneffizienz zuzuordnen und wurden im weiteren Verlauf nicht berücksichtigt. In Abbildung 17 ist die Verteilung der restlichen 27 Bewerbungen auf die einzelnen Themenschwerpunkte zu sehen. Die Gesamtsumme ergibt darin mehr als 27, da viele Bewerbungen von den Einreichenden mehreren Themenschwerpunkten zugeordnet wurden.

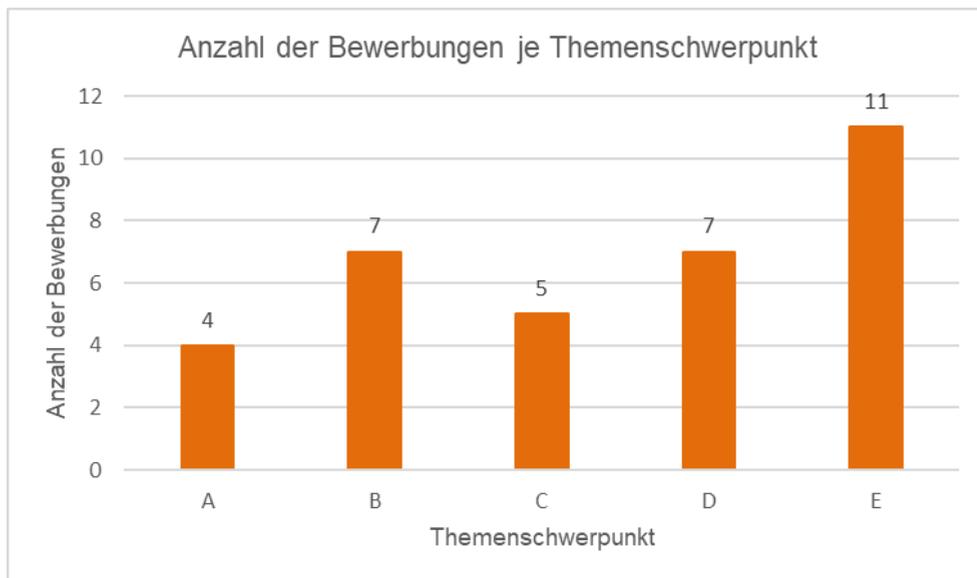


- A: Steigerung der Ressourceneffizienz durch Automatisierung, Digitalisierung und neue Geschäftsmodelle
- B: Steigerung der Ressourceneffizienz, insbesondere im Bereich der Produktion
- C: Steigerung der Ressourceneffizienz durch Substitution von Werkstoffen / Materialien
- D: Steigerung der Ressourceneffizienz durch Integrierte Produktpolitik: Ökologische Produktgestaltung unter Berücksichtigung des gesamten Produktlebenszyklus
- E: Steigerung der Ressourceneffizienz durch Stärkung der Kreislaufwirtschaft: Recyclingtechnologien sowie ressourceneffiziente Rohstoffrückgewinnung und -aufbereitung

**Abbildung 17:** Übersicht der Anzahl an Bewerbungen je Themenschwerpunkt für den ersten Bayerischen Ressourceneffizienzpreis

Der erste Auswahlprozess zielte darauf ab die Anzahl der Bewerbungen für die Anwendung der Bewertungsmatrix zu reduzieren, um den Arbeitsaufwand der Fachjury zu verringern. Für die Vorauswahl wurden die eingegangenen Bewerbungen für die Fachjury aufbereitet. Dies mussten anhand der Informationen aus der Kurzbeschreibung, die einen Teil der Bewerbungsunterlagen darstellte, beurteilen, ob die jeweilige Bewerbung preiswürdig ist oder nicht. Hier vergaben die Jurymitglieder ein „JA“ oder ein „NEIN“. Hatte eine Bewerbung mindestens 4 JA-Stimmen erhalten, wurde

diese in die zweite Bewertungsphase aufgenommen. Durch die Vorauswahl wurden die ursprünglich 27 Bewerbungen auf 16 reduziert. Hierbei war festzustellen, dass die Reduzierung der Bewerbungen zu keinen nennenswerten Verschiebungen bei den Anteilen der einzelnen Themenschwerpunkte zur Folge hatte. Die Verteilung der 16 Bewerbungen in die 5 Themenschwerpunkte ist in Abbildung 18 dargestellt.



- A: Steigerung der Ressourceneffizienz durch Automatisierung, Digitalisierung und neue Geschäftsmodelle
- B: Steigerung der Ressourceneffizienz, insbesondere im Bereich der Produktion
- C: Steigerung der Ressourceneffizienz durch Substitution von Werkstoffen / Materialien
- D: Steigerung der Ressourceneffizienz durch Integrierte Produktpolitik: Ökologische Produktgestaltung unter Berücksichtigung des gesamten Produktlebenszyklus
- E: Steigerung der Ressourceneffizienz durch Stärkung der Kreislaufwirtschaft: Recyclingtechnologien sowie ressourceneffiziente Rohstoffrückgewinnung und -aufbereitung

**Abbildung 18:** Übersicht der Anzahl an Bewerbungen je Themenschwerpunkt nach der Vorauswahl durch die Jury

Nach der Vorauswahl wurden den Unternehmen, die die zweite Bewertungsrunde erreicht hatten, ein weiterer Bewerbungsbogen übermittelt. Darin wurden die Unternehmen aufgefordert weitere Informationen zu den folgenden Punkten zu geben:

- Welche herausragenden, zukunftsweisende/n Leistung/en (z. B. Technologien, Verfahren, Geschäftsmodelle) zum nachhaltigen Einsatz von natürlichen Ressourcen sind in Ihrer Bewerbung besonders hervorzuheben? Bitte beschreiben Sie diese Leistung/en möglichst konkret in wenigen aussagekräftigen Sätzen im Kontext des/r von Ihnen gewählten Themenschwerpunkte/s.
- Welche Beiträge zur Erhöhung der Rohstoff- und Materialeffizienz haben Sie durch die beschriebene/n Leistung/en bereits erreicht bzw. erwarten Sie in den nächsten 3 Jahren zu erreichen? Bitte tragen Sie hier Ihre konkreten Produkte, Leistungen und Zahlenwerte (Mengenangabe und/oder prozentuale Einsparungen bzw. Abschätzungen) ein.

Die weiteren Informationen wurden zusammen mit den bereits erhaltenen Informationen über die Unternehmen für die Fachjury aufbereitet.

Die Auswertung der Bewertungen der einzelnen Jurymitglieder hat folgende 4 Preisträger ergeben:

- BMK electronic services GmbH
- Steico SE
- Contech Software & Engineering GmbH
- SYSPLAST GmbH

Diese wurden am 13.07.2021 von Staatsminister Glauber mit dem ersten Bayerischen Ressourceneffizienzpreis ausgezeichnet. Die Preisverleihung fand im Börsensaal der IHK für München und Oberbayern statt und wurde im Livestream übertragen. Weitere Informationen zu den Preisträgern sind auf der Internetseite des StMUV unter <https://www.stmuv.bayern.de/themen/ressourcenschutz/ressourceneffizienzpreis/preistraeger.htm> zu finden.

#### **3.4.4.2. Erstellung von Kurzfilmen (AP 4.3.2)**

Um dem Ziel der Bewusstseinschärfung der Bevölkerung und öffentlichkeitswirksamen Nutzung des Bayerischen Ressourceneffizienzpreises nachzukommen, wurde je ein Kurzfilm über die 4 ausgezeichneten Projekte der Preisträger erstellt. Der Kurzfilm setzt sich aus abwechselnden Interview- und Voice-Over-Passagen zusammen.

Für die Vorbereitung der Filme wurde zuerst eine Vorlage für ein einheitliches Storyboard in Abstimmung mit dem StMUV und der Produktionsfirma VM Video München erstellt. Der Vorentwurf über den Inhalt und dem Bildmaterial wurde zusammen mit der VM Video München verfasst und im Anschluss mit den Unternehmen konkretisiert. Hierbei konnten alle wesentlichen Punkte zum Inhalt, den Textpassagen für das Voice-Over sowie den möglichen Filmaufnahmen und Grafiken, die eingeblendet werden konnten, abgeklärt. Im weiteren Verlauf wurden die Drehtermine abgestimmt und die Rohschnitte sowie die Endversionen mit der Produktionsfirma ausgearbeitet. So entstanden am Ende jeweils ein Kurzfilm mit einer Dauer von ungefähr 2 Minuten, eine Kurzversion für die Verwendung auf den Social-Media-Kanälen und ein ca. 30 Sekunden andauernder Trailer, der bei der Abschlussveranstaltung als Einleitung verwendet wurde und auch für zukünftige Preisverleihungen verwendet werden kann.

#### **3.4.4.3. Wissenschaftliche Aufbereitung der Ergebnisse für StMUV und REZ (AP 4.3.3)**

Da der Ressourceneffizienzpreis in turnusmäßigen Abständen verliehen werden soll, wurde über die detaillierte Vorgehensweise ein gesonderter Bericht verfasst. Darin sind alle einzelnen Schritte, die von der Betreuung der Ausschreibung bis zur Preisverleihung zu beachten sind, aufgelistet. Ergänzt sind die einzelnen Arbeitsfelder mit Zeitangaben aus den Erfahrungswerten aus der ersten Durchführung.

Im Bericht sind auch Optimierungsvorschläge, die ebenfalls auf Grundlage der Erfahrungswerte der Durchführung des ersten bayerischen Ressourceneffizienzpreises basieren, enthalten.

Zusätzlich wurden dem StMUV alle notwendigen Vorlagen zu den Bewerbungsformularen, Zeitplänen, Storyboards und der Bewertungsmatrix übermittelt, damit auch zukünftig eine routinemäßige, transparente und nachvollziehbare sowie unkomplizierte Verleihung des Preises möglich ist.

## 4 Praktische Anwendbarkeit der Ergebnisse und Darstellung der Kooperation mit Wirtschaftspartnern

### Veröffentlichungen im Rahmen des Projekts

Im Projektverlauf entstanden folgende Publikationen und Vorträge:

- Vortrag „Aggregierte Kennzahlen zur Bewertung von Ressourceneffizienz“ bei der Online - Konferenz der virtuellen Recy & DepoTech 2020, Leoben, 20. November 2020
- Publikation im Tagungsband „Mocker, M., Hense, P.: Aggregierte Kennzahlen zur Bewertung von Ressourceneffizienz, in: Pomberger, R., Adam, J., Aldrian, A., Altendorfer, M., Curtis, A., Dobra, T., Friedrich, K., Kandlbauer, L., Lorber, K. E., Möllnitz, S., Nigl, T., Sarc, R., Sattler, T., Viczek, S., Vollprecht, D., Weißenbach, T., Wellacher, M. (Hrsg.): Konferenzband zur 15. Recy & DepoTech-Konferenz 2020 Recycling & Abfallverwertung, Abfallwirtschaft & Ressourcenmanagement, Deponietechnik & Altlasten, Internationale Abfallwirtschaft, Eigenverlag Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft (AVAW), Leoben 2020, S. 631-636.
- Publikation im Forschungsbericht „Mocker, M., Bär, M.: Aggregierte Kennzahlen zur Bewertung von Ressourceneffizienz. In Forschungsbericht 2022 der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden, 2022, S.150-154.
- Vortrag „Ressourceneffizienz in Wissenschaft und Forschung“ beim IHK-Fachforum "Ressourcen schonen - Kosten sparen durch Materialeffizienz | Materialflussbetrachtung“, Nürnberg, 2. Dezember 2019
- Vortrag „Vorstellung Projektverbund ForCYCLE II“ beim Arbeitsforum Nachhaltige Ressourcennutzung und Integrierte Produktpolitik im Umweltpakt Bayern, Wacker Chemie Burghausen, 16. Oktober 2019

## 5 Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern und im Projektverbund

Sowohl im Projektverbund als auch mit dem Kooperationspartner kam es bei der Zusammenarbeit immer wieder zu Synergien. So wurden vor allem zu Beginn des Projekts ein Großteil der Arbeiten von Kooperationspartner Fraunhofer UMSICHT Sulzbach-Rosenberg durchgeführt. Dies betraf vor allem Aspekte der Corporate Identity sowie die Erarbeitung der für die Bewertung der Projektergebnisse genutzten Berechnungsmatrix und das Kennzeichnungssystem. Fraunhofer UMSICHT konnte hierzu auf eine weitreichende Expertise im Marketing sowie entsprechende Ausstattung in Form von Bild-Datenbanken und Spezialsoftware zurückgreifen. Darüber hinaus verfügt das Institut nicht nur über notwendige Wissens-, Literatur- und Datenbankzugriffe, sondern konnte durch entsprechende Vorarbeiten wie Länderstudien, Ressourcenstrategien sowie Kritikalitätsbewertungen weitreichendes Vorwissen einbringen. Auch während der Auswertung der Projektergebnisse und der steten Aktualisierung der Daten hat Fraunhofer UMSICHT mit beigetragen. Zudem konnten viele Datensätze abgeglichen werden und so auf deren Plausibilität geprüft werden. Bei den von der OTH Amberg-Weiden organisierten Projektveranstaltungen (Auftakt- und Abschlussveranstaltung sowie die beiden Statustreffen) war Fraunhofer UMSICHT ebenfalls unterstützend tätig.

Durch die Funktion des Dachprojekts als Bindeglied zwischen dem StMUV und den Fachprojekten, fand über die Projektlaufzeit hinweg ein reger und konstruktiver Austausch mit allen zehn Fachprojekten statt. Dies beinhaltete beispielsweise Punkte zur Koordination und Abstimmung zum Inhalt der Präsentationen, Kurzfilme, Abschlussbroschüre, Berichte usw. Zudem bot der eingeführte „Kaffeeklatsch“ eine weitere Möglichkeit, trotz der pandemiebedingten Einschränkungen, Synergieeffekte einzelner Projekte zu besprechen sowie den Netzwerkgedanken über den Projektverbund hinaus zu transportieren.

Einen wichtigen Punkt der Zusammenarbeit stellte ebenfalls die Bewertung der Projektergebnisse mit der im Dachprojekt entwickelten Kennzahl dar. Dabei beschränkte sich der Austausch nicht nur auf das Ausfüllen der erarbeiteten Bewertungsmatrix, sondern floss auch in die Konzeption der Bewertungsmatrix selbst ein. Da sich die Ziele und Inhalte der Projekte stark unterschieden – manche Projekte hatten ein spezielles Endprodukt, andere hatten Gesamtbetrachtungen als Ziel, zudem standen sehr unterschiedliche Materialien im Fokus – war es auch notwendig die Bewertungsmatrix entsprechend aller Projekte anzupassen bzw. oftmals speziell für einzelne Projekte zu gestalten. Dadurch ergab sich keine starre Bewertungsmatrix, sondern eine stetige Anpassung gemäß den Einflüssen des jeweiligen Projektes.

## 6 Zusammenfassung

Die Steigerung der Ressourceneffizienz stellt eine wichtige gesamtgesellschaftliche Aufgabe dar. Ressourceneffiziente Arbeitsweisen ermöglichen es Unternehmen, Kosten, Importabhängigkeiten und die mit dem Rohstoffverbrauch verbundenen Umweltauswirkungen zu verringern. Der Projektverbund ForCYCLE II war Teil des 7-Punkte-Plans der Bayerischen Staatsregierung für einen effizienten Ressourceneinsatz in der bayerischen Wirtschaft. Als Fortschreibung des erfolgreichen Formats ForCYCLE I arbeiteten im vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) initiierten Projektverbund zehn Fachprojekte und ein Dachprojekt gemeinsam an Lösungen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz. Dazu sollten innovative Technologien und Verfahren zum effizienten Ressourceneinsatz und zum Recycling entwickelt werden. Das hier vorgestellte Dachprojekt mit Laufzeit vom 01.05.2019 bis 31.10.2022 und dem Akronym NetCYCLE II bearbeitete dazu administrative, koordinierende und fachliche Aufgaben in vier Arbeitspaketen (AP):

- interne Organisation – Koordinierung, Vernetzung und thematische Strukturierung des Verbundes (AP 1)
- Public Relations – Vertretung des Verbundes nach außen (AP 2)
- Bewertung der Projektergebnisse (AP 3)
- Konzeption des Bayerischen Ressourceneffizienzpreises (AP 4)

Die ursprüngliche Projektplanung umfasste nur die Arbeitspakete 1 – 3, während der Projektumfang nachträglich um AP 4 erweitert wurde.

Die interne Koordination in AP 1 beinhaltete zahlreiche administrative Aufgaben. Darunter fielen die organisatorische und technische Ausgestaltung der Kooperation über eine per Internet zugängliche Austauschplattform, die Bereitstellung von Vorlagen für Berichte, Präsentationen, Poster etc. sowie die Organisation von zwei Statustreffen zur internen Vernetzung, die aufgrund der Corona-Pandemie als online-Veranstaltungen durchgeführt werden mussten. Sämtliche Unterlagen der Fachprojekte wurden kontrolliert und gebündelt weitergegeben, wobei das Dachprojekt als Bindeglied zum StMUV diente.

Die Projekte wurden inhaltlich in 3 Themenschwerpunkte gegliedert:

- Erhöhung der Ressourceneffizienz durch Digitalisierung (Fachprojekte REV3D, KMU DigiCheckAbfall, DIMOP)
- Integrierte Produktpolitik (IPP) – Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus (Fachprojekte IRVE, Chlor-Plattform, BGMR, WDVS)
- Substitution von Werkstoffen/Materialien (Fachprojekte VaporCoat, HB(Ca)V, MiKa)

Die Zuteilung zu diesen Clustern erfolgte im Wesentlichen anhand der eingereichten Projektvorschläge der Fachprojekte in enger Abstimmung mit dem StMUV.

Zur Quervernetzung innerhalb des gesamten Verbundes wurden clusterübergreifende Arbeitskreise eingerichtet:

- Baustoffe
- Kunststoffe und Verpackungen
- Metalle

Inhalt des Arbeitspaketes AP 2 waren alle Aspekte im Zusammenhang mit Public Relations bzw. der Repräsentation des Forschungsverbundes gegenüber der Fachwelt und der interessierten Öffentlichkeit. Dafür wurde eine Corporate Identity mit Logo, Farbauswahl und einheitlichen Designvorlagen für alle Projektaktivitäten entwickelt. Die digitale Präsentation erfolgte über die Webseiten des StMUV sowie der Bayerischen Forschungsallianz BayFOR. Darüber hinaus wurden 10 Kurzfilme mit Längen von 60 bis 90 Sekunden erstellt und zwei öffentliche Veranstaltungen organisiert. Die Auftaktveranstaltung fand am 06.11.2019 in der Münchener Residenz, der öffentliche Teil der Abschlussveranstaltung am 27.06.2022 im Amberger Congress Centrum ACC statt. Zum Projektabschluss wurde auch eine gedruckte Broschüre mit Kurzdarstellungen des Verbundes und seiner einzelnen Projekte gestaltet.

Im fachlich geprägten Arbeitspaket AP 3 wurde eine Methodik zur Bewertung der Ressourceneffizienz entwickelt, welche die Wirkungen von Effizienzmaßnahmen im allgemeinen und die erhofften positiven Effekte der einzelnen Verbundprojekte im speziellen vergleichbar macht. Zur ganzheitlichen Beurteilung von ökologischen Auswirkungen wurde dabei den gängigen Kenngrößen Treibhausgaspotential und kumulierter Energieaufwand eine spezifische „Ressourceneffizienzkennzahl“ an die Seite gestellt, die sich aus geologischen und sozioökonomischen Kriterien zusammensetzt. In diese Kennzahl geht auch der spezielle Rohstoffbedarf der bayerischen Wirtschaft ein.

Die Bewertungsmethode konnte in fast allen Fachprojekten verwendet werden. In den meisten Fällen ergaben sich deutliche Vorteile in den Kategorien Treibhausgasemissionen, Energie- und Ressourcenverbrauch. Bei einigen Projekten besteht in einzelnen Kategorien noch Optimierungsbedarf z.B. hinsichtlich Art und Menge der benötigten Einsatzstoffe.

Im Arbeitspaket AP 4 wurden wissenschaftliche Grundlagen für die erstmalige Verleihung des Bayerischen Ressourceneffizienzpreises erarbeitet und der Vergabeprozess organisiert. Dazu gehörten die Erstellung der Ausschreibungsunterlagen, die Aufbereitung der eingehenden Bewerbungen für eine unabhängige Fachjury sowie die Koordination und Dokumentation der Vergabeentscheidung. Für die mit dem Preis bedachten Einreichungen wurden wiederum kurze Imagefilme erstellt.

Alle Aufgaben im Zusammenhang mit der Verleihung des Bayerischen Ressourceneffizienzpreises wurden so aufbereitet, dass die Vergabe in kommenden Ausschreibungsrunden auf dieser Basis durch das Ressourceneffizienz-Zentrum Bayern REZ erfolgen kann.

## **7 Ausblick**

Um weitere Verbesserungspotenziale zu erschließen, sollte die Umsetzung der in Bayern entwickelten Ressourceneffizienztechnologien hin zu einer industriellen Anwendung konsequent weiter unterstützt werden. Mit dem laufenden Forschungsverbund ForCYCLE Technikum ist hierzu ein erster und wichtiger Schritt bereits getan. Ebenso kann die Ressourceneffizienzkennzahl selbst weiterentwickelt werden, z.B. zur Integration fossiler Rohstoffe oder zur Abbildung zunehmender Unsicherheiten in den globalen Lieferketten.

Für Wirtschaft und Wissenschaft wäre die Bereitstellung von Daten zur Umweltrelevanz betrieblicher Materialströme äußerst hilfreich. Darüber hinaus sollten die in den letzten Jahren geschaffenen Beratungs- und Unterstützungsangebote im Bereich der Ressourceneffizienz weiter ausgebaut und verstetigt werden.

# Literaturverzeichnis

- [1] World Commission on Environment and Development: Our Common Future, Oxford University Press, Oxford, New York 1987
- [2] Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4800 Blatt 1, Ressourceneffizienz Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien, Beuth-Verlag, Berlin 2016
- [3] Reller, A., Fendt, J., Böckenholt, C.: Bericht zur Ressourcenstrategie für Bayern, Universität Augsburg, Wissenschaftszentrum Umwelt / Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Augsburg, online verfügbar unter <http://www.forcycle.de/Einzelprojekt/Ressourcenstrategie-fuer-die-Rohstoffwende-Bayern-unter-besonderer-Beruecksichtigung-von-Sekundaerrohstoffen>, zuletzt geprüft am 27.07.2022
- [4] Becker, H.: Nachhaltige Entwicklung in Deutschland, Indikatorenbericht 2021, Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hrsg.), Wiesbaden 2021, online verfügbar unter <file:///C:/Users/4732/Downloads/indikatoren-0230001219004.pdf%3bjbjsessionid=5043775A83F1E2DECE7F1AFCD8602947-1.pdf>, zuletzt geprüft am 27.07.2022
- [5] Kroop, S., Kaufhold, T., Lohmeyer, R., Mocker, M., Franke, M., Faulstich, M., Kranert, M., Böhme, L., Genslein, M., Clauß, D.: Analyse kritischer Rohstoffe für die Landesstrategie Baden-Württemberg. Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg, Stuttgart, Dezember 2014
- [6] Kroop, S., Franke, M., Stenzel, F., Mocker, M., Faulstich, M.: Rohstoffe für den Wirtschaftsstandort Bayern – eine Ressourcenstrategie, in: Chemie Ingenieur Technik 84 (2012) Nr. 10, S. 1679-1684
- [7] Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4800 Blatt 2, Ressourceneffizienz Bewertung des Rohstoffaufwands, Beuth-Verlag, Berlin 2018
- [8] Sonderegger, T.; Berger, M.; Alvarenga, R.; Bach, V.; Cimprich, A.; Dewulf, J.; Frischknecht, R.; Guinée, J.; Helbig, C.; Huppertz, T.; Jolliet, O.; Motoshita, M.; Northey, S.; Rugani, B.; Schrijvers, D.; Schulze, R.; Sonnemann, G.; Valero, A.; Weidema, B. P.; Young, S. B. (2020) Mineral resources in life cycle impact assessment – part I: a critical review of existing methods. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 25, 784 - 797.
- [9] Drielsma, J. A.; Russel-Vaccari, A. J.; Drnek, T.; Brady, T.; Weihed, P.; Mistry, M.; Simbor, L. P. (2016) Mineral resources in life cycle impact assessment – defining the path forward. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21, 85 - 105.
- [10] Guinée, J. B. (1995) Development of a methodology for the environmental life-cycle assessment of products, with a case study on margarines. Proefschrift, Rijksuniversiteit te Leiden, 02. März 1995.
- [11] Schneider, L.; Berger, M.; Finkbeiner, M. (2015) Abiotic resource depletion in LCA – background and update of the anthropogenic stock extended abiotic depletion potential (AADP) model. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 20, 709 - 721.
- [12] U.S. Geological Survey (USGS) (2021) Mineral commodity summaries 2021. Washington.

- [13] Blengini, G. A; EL Latunussa, C.; Eynard, U.; Torres de Matos, C.; Wittmer, D.; Georgitzikis, K.; Pavel, C.; Carrara, S.; Mancini, L.; Unguru, M.; Blagoeva, D.; Mathieux, F.; Pennington, D.; European Commission (EC) (2020) Study on the EU's list of Critical Raw Materials, Final report, Brussels.
- [14] Deutsche Rohstoffagentur (DERA) (2021) DERA-Rohstoffliste 2021. Angebotskonzentration bei Metallen und Industriemineralen – Potenzielle Preis- und Lieferrisiken. DERA Rohstoffinformationen 49, Berlin.
- [15] Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e.V. (VBW) (2020) Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft. München
- [16] Bach, C.; Berger, M.; Henßler, M.; Kirchner, M.; Leiser, S.; Mohr, L.; Rother, E.; Ruhland, K.; Schneider, L.; Tikana, L.; Volkhausen, W.; Walachowicz, F.; Finkbeiner, M. (2016) Integrated method to assess resource efficiency – ESSENZ. Journal of Cleaner Production 137, 118 - 130.
- [17] Huijbregts, M. A. J. et al. (2017), ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. The International Journal of Life Cycle Assessment 22, 138 - 147
- [18] ecoinvent Version 3.8 nach Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., Weidema, B.(2016) The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), 1218–1230.
- [19] Peche, R., Pitschke, T. (2022) Ergebnisbericht Ökologische Bewertung des Pilotkonzeptes von IRETA 2, bifa Umweltinstitut im Auftrag der Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie (IWKS), Augsburg 2022
- [20] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (Hrsg.) (2020) Effizienz zahlt sich aus Zahlen, Daten, Fakten zur Ressourceneffizienz in Bayern, Augsburg 2022
- [21] Böni, H, et al. (2015) Projekt e-Recmet Rückgewinnung von kritischen Metallen aus Elektronikschrott am Beispiel von Indium und Neodym, Schlussbericht, Empa, Hochschule Rapperswil, Umtec, Ernst Basler + Partner AG, Berner Fachhochschule, St. Gallen 2015
- [22] BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2022) Deutschland – Rohstoffsituation 2021, Hannover 2022
- [23] Bayerisches Statistisches Landesamt (2022), Statistisches Jahrbuch für Bayern 2022

# Anhang

## Anlage 1: Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
AADP	Anthropogenic stock extended Abiotic Depletion Potential
ADP	Abiotic Depletion Potential
AP	Arbeitspaket
CSA-Zement	Calcium-Sulfo-Aluminatzement
EHZ	Elektrohydraulische Zerkleinerung
EPS	Expandiertes Polystyrol
FE	Funktionelle Einheit
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
LCA	Life Cycle Assessment
LCD	Liquid Crystal Display
LKW	Lastkraftwagen
MBTC	Monobutylzintrichlorid
OTH Amberg-Weiden	Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
PE-LD	Low-Density Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PLA	Poly lactide
PP	Polypropylen
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
SiC	Siliciumcarbid
REZ	Ressourceneffizienz-Zentrum Bayern
StMUV	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
XPS	Extrudiertes Polystyrol

## Anlage 2

Anlage 2 zeigt, die Ergebnisse aus den Arbeitskreisen zu den verwendeten Kennzahlen zur Ressourceneffizienz. Diese können direkt oder indirekt damit in Verbindung stehen. In der Tabelle sind ebenfalls der Inhalt und die Anwendung der Kennzahl angegeben.

**Tabelle 21:** Übersicht der Ergebnisse aus dem Arbeitskreis zu bekannten Kennzahlen zur Ressourcenbewertung

Kennzahl	Inhalt	Anwendung
Transportweg	Transportweg in km	Welche Entsorgungsmöglichkeit ist näher? (Weniger Emission beim Transport)
Energieverbrauch	Energieverbrauch pro Einheit / Energieverbrauch pro kg Endprodukt	Welche Entsorgungsmethode hat den höheren Energieverbrauch? / Vergleich der Prozesseffektivität
Humantoxizität	Giftwirkung auf Menschen in CTUh/kg	Wenn ein Staub wiederverwertet wird, werden seine Auswirkungen auf Mensch & Umwelt bei Exposition verhindert. Das wird im Modell belohnt. Einen sehr giftigen Stoff wiederzuverwerten ist dabei besser als einen ungiftigen Stoff wiederzuverwerten.
Süßwassereutrophierungspotential	Anreicherungspotential in kg P-eq/ kg	Prinzip s. Humantoxizität
terrestrisches Versauerungspotential	Versauerung an Land in kg SO <sub>2</sub> -eq/kg	Prinzip s. Humantoxizität
Treibhausgaspotenzial / Global Warming Potential	Unter dem Treibhauseffekt wird die klimarelevante Veränderung der Atmosphäre durch den anthropogenen Beitrag von Treibhausgasemissionen verstanden, die zu einer Erwärmung der Erde führt.	Zur Erfassung des Treibhausgaspotenzials werden die in der Sachbilanz erfassten Treibhausgase mit sogenannten Charakterisierungsfaktoren multipliziert, die ihre Klimarelevanz in Relation zu CO <sub>2</sub> mit dem Charakterisierungsfaktor abbilden, und die einzelnen Beiträge addiert. Auf diese Weise wird das Treibhausgaspotenzial in Form von CO <sub>2</sub> -eq. errechnet.
Abwasser aufkommen	Bestimmung des Wasserverbrauchs im Produktionsprozess in m <sup>3</sup>	Abschätzung der Umweltbelastung

## Anlage 3

Tabelle 22 und Tabelle 23 zeigen, die Ergebnisse aus den Arbeitskreisen zu den verschiedenen Methoden wie auch Hindernissen bei der Markteinführung von Kennzahlen. Ebenso sind Bewertungen der Methoden mit angegeben sowie Lösungsansätze zur Überwindung der Hindernisse.

**Tabelle 22:** Übersicht der Methoden zur Markteinführung von Kennzahlen

<b>Methode zur Markteinführung</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	<b>Wertung</b>
Modell zur ökologischen Bewertung	Modell welches aus beliebig vielen Indikatoren besteht, die zu einem Gesamtindikator aggregiert sind, und eine Bewertung hinsichtlich der Entsorgung aus ökologischer Sicht erlauben.	Bottom-Up: Besonders für KMUs viel einfacher umzusetzen als LCAs. Simple Einschätzung als Entscheidungshilfe.	Nicht vollumfassend. Wenige Indikatoren verringern Aussagekraft. Gefahr von Greenwashing.	
CO <sub>2</sub> -Budget-Ansatz	CO <sub>2</sub> -Budget im Sinne eines Guthabens an max. emittierbaren Treibhausgasen, welche durch die verwendeten Baustoffe bzw. bei deren Herstellung entstehen	Das CO <sub>2</sub> -Budget ist ein geeignetes Mittel, um die Wirkung der Nutzung von klimaschonenden Baustoffen quantitativ zu bestimmen. Es ist zudem eine globale Messgröße für den Klimaschutz.	Seriöse CO <sub>2</sub> -Kennzahlensind nicht für alle Baustoffe verfügbar.	
Amortisationszeit	Zeit bis die getätigten Investitionen zur Prozesseinführung durch Gewinne ausgeglichen werden können		Stark abhängig von aktuellen Verkaufspreisen der Metalle, welche stark schwanken	Standardkennzahl für wirtschaftliche Investitionen

**Tabelle 23:** Übersicht von Hindernissen bei der Markteinführung von Kennzahlen und Lösungsansätze zu deren Überwindung

<b>Hindernis bei der Markteinführung</b>	<b>Erläuterung</b>	<b>Möglichkeiten zur Überwindung des Hindernisses</b>
Implementierung von Innovation	Modell muss in Betrieb implementiert werden. Kostet Zeit und damit Geld.	Aufklärungsarbeit: Es muss dargestellt werden, wieso sich eine Investition bzw. der Zeitaufwand lohnen kann.
Indikatorendefinition	Indikatoren müssen definiert und an Gießerei angepasst werden (welche Daten kann welche Gießerei erheben?)	Regelmäßiger Austausch zwischen Wissenschaft und Industrie: Welche Indikatoren sind sinnvoll? (→ Wissenschaft), Welche Daten sind erhebbar? (Industrie)
Widerstand der Industrie (z. B. Zement/Beton-Lobby)	Hersteller konventioneller Baustoffe (z. B. Zementhersteller, Betonwerke und Ziegeleien) fürchten, Marktanteile zu verlieren.	Anrechnung von Recyclingmaterial, Förderung von Hybrid-Bauweisen
Hohe Investitionskosten	Produktionsanlage muss neu gebaut werden	
Konkurrenz mit anderen Rohstoffproduzenten	Metallproduktion muss sich finanziell mit anderen Verfahren messen können	Verwendung von Reststoffströmen, die keine anderweitige Verwendung haben

# Anlage 4

Anlage 4 zeigt den gestalteten Flyer für die Auftaktveranstaltung des Projektverbundes ForCYCLE II. Die Faltung des wurde im Wickelfalz umgesetzt.

Umwelt Chancen
Ressourcen
Wissenschaft

Programm
Veranstaltungshinweise

Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Verbraucherschutz

- **Recycling von Wärmedämmverbundsystemen**  
*Technische Hochschule Nürnberg  
Georg Simon Ohm  
Prof. Dr.-Ing. Ulrich Teipel*
- Themenschwerpunkt Substitution**
- **Nachhaltigkeit in der Behälterglasindustrie**  
*Universität Bayreuth  
Prof. Dr.-Ing. Thorsten Gerdes*
- **Optimierung der Holz-Beton-Verbundbauweise**  
*Hochschule Augsburg  
Prof. Dr.-Ing. Francois Colling*
- **Chemische Mobilisierung und Mikroalgen-basierte Bioadsorption von Seltenen Erden**  
*Technische Universität München  
Prof. Dr. Thomas Brück*

Hinweis:  
Bei der Veranstaltung werden Bild- und Tonaufnahmen gemacht. Mit Ihrer Teilnahme erklären Sie sich mit der Anfertigung, der Speicherung und der Veröffentlichung der Aufnahmen, auch auf den Internet- und Sozialen-Medien-Seiten des Freistaates Bayern, einverstanden.

**Veranstalter**  
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz  
Rosenkavalierplatz 2  
81925 München

**Organisator**  
Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden  
Kaiser-Wilhelm-Ring 23  
92224 Amberg

**Anmeldung**  
erbeten bis 25. Oktober 2019 unter [www.stmuv.bayern.de/forcycle.htm](http://www.stmuv.bayern.de/forcycle.htm)  
Die Teilnehmerzahl ist begrenzt. Die Teilnahme an der Veranstaltung ist kostenlos.

**Veranstaltungsort**  
Residenz München  
Max-Joseph-Saal  
Residenzstraße 1  
80333 München

**S-Bahn:** S1, S2, S4-8, Haltestelle Marienplatz. **U-Bahn:** U3, U6 Haltestelle Marienplatz oder U3-U6 Haltestelle Odeonsplatz.  
**Bus 100:** Haltestelle Odeonsplatz. **Tram 19:** Haltestelle Nationaltheater.

**Mit dem Auto:** Gebührenpflichtige Tiefgarage vor der Oper, Bitte beachten Sie, dass die Parkplatzsituation im Umfeld der Residenz schwierig ist.

**Wir empfehlen die Anfahrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln.**

BAYERN DIREKT ist Ihr direkter Dienst zur Bayerischen Staatsregierung. Unser Telefon 089 12220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren. Außerdem zu aktuellen Themen und Veranstaltungen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

## Projektverbund ForCYCLE II

für mehr Ressourceneffizienz  
in der bayerischen Wirtschaft

**ForCYCLE II**  
Projektverbund  
Ressourceneffizienz Bayern

6. November 2019  
Max-Joseph-Saal  
Residenz München

Umwelt Chancen
Ressourcen
Wissenschaft

Vormittagsprogramm
Nachmittagsprogramm
ForCYCLE II-Übersicht

10:00 Akkreditierung und Einlass

10:30 **Grußwort**  
*Prof. Dr. Mario Mocker  
Wissenschaftlicher Koordinator des Projektverbundes ForCYCLE II, OTH Amberg-Weiden*

10:35 **ForCYCLE: Von der Forschung in die Anwendung**  
*Staatsminister Thorsten Glauber, MdL  
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz*

10:50 **ForCYCLE: Chancen für die bayerische Hochschullandschaft**  
*Prof. Dr. Uta M. Feser  
Vorsitzende  
Hochschule Bayern e.V.,  
Präsidentin der Hochschule Neu-Ulm*

11:10 **Fototermin mit anschließender Besichtigung der Poster**

ab 12:00 Mittagspause mit Imbiss (Get-together)

Moderation: Dr. Julia Fendt, StMUV

13:00 **Kurzpräsentationen der Einzelprojekte durch die Projektmitarbeiter**

13:45 **Moderierte „Bar Camps“ zu den Themenschwerpunkten aller Projekte mit anschließender Diskussion:**

- Digitalisierung  
*Dr. Peter Hense  
OTH Amberg-Weiden*
- IPP  
*Katharina Reh  
Fraunhofer UMSICHT*
- Substitution  
*Prof. Dr. Mario Mocker  
OTH Amberg-Weiden*

15:00 **Vorstellung der Kollaborationsplattform „Vibe“ durch das NetCYCLE II-Dachprojekt**

15:30 Abschlusskaffee und Möglichkeit zum Austausch

16:00 Ende der Veranstaltung

Moderation: Dr. Peter Hense, OTH Amberg-Weiden

**Dachprojekt**

- **NetCYCLE II**  
*Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden  
Prof. Dr. Mario Mocker*

**Themenschwerpunkt Digitalisierung**

- **Einsatz von verwendungsorientierten 3D-Drucktechnologien**  
*Hochschule für angewandte Wissenschaften Neu-Ulm (HNU)  
Prof. Dr.-Ing. Oliver Kunze*
- **Digitales Benchmarksystem für Abfallvermeidungs- und Abfallverwertungspotentiale**  
*Technische Hochschule Ingolstadt (THI)  
Prof. Reinhard Büchl*
- **Optimierte Kreislauffähigkeit von Kunststoffprodukten**  
*Julius-Maximilians-Universität Würzburg  
Prof. Dr. Axel Winkelmann*

**Themenschwerpunkt Integrierte Produktpolitik**

- **Verwertung chlorhaltiger Abfälle und Rückgewinnung kritischer Metalle**  
*Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden  
Prof. Dr.-Ing. Burkhard Berninger*
- **Aufbereitung und Verwertung von Gießerei-Stäuben**  
*Universität Augsburg  
Prof. Dr. Richard Wehrich*
- **Innovative Recyclingverfahren für Elektroschrott**  
*Technische Hochschule Aschaffenburg  
Prof. Dr.-Ing. Ulrich Bochtler*

Abbildung 19: Flyer zur Auftaktveranstaltung des Projektverbundes ForCYCLE II

# Anlage 5

Anlage 5 zeigt den gestalteten Flyer für die Auftaktveranstaltung des Projektverbundes ForCYCLE II. Die Faltung des wurde im Wickelfalz umgesetzt.

Umweltministerium
Recycling
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

### Programm

- 16.55 **HBI/CaV**  
*Optimierung der Holz-Beton-Verbundbauweise durch Verwendung natürlicher und biologischer Werkstoffe*  
Prof. Dr. Sergej Rempel, Michael Mitošček  
Hochschule Augsburg
- 17.05 **MIKA**  
*Chemische Mobilisierung und Mikroalgen-basierte Bioadsorption von Seltenen Erden aus Kaolinit und anderen Wertstoffen*  
Prof. Dr. Tom Hilges, Prof. Dr. Thomas Bück, Michael Papez, Max Koch  
Technische Universität München
- 17.15 **Diskussion**
- Dachprojekt**
- 17.25 **NetCYCLE II**  
*Vernetzung und Bewertung innovativer Ressourceneffizienzpotenziale in der bayerischen Wirtschaft*  
Prof. Dr. Mario Mocker, Markus Bär  
OTH Amberg-Weiden
- 17.35 **Diskussion**
- 17.45 **Realisieres Projektverbund ForCYCLE II**  
Prof. Dr. Mario Mocker  
OTH Amberg-Weiden
- 18.00 **Ende der Veranstaltung**

mehr Informationen zum Projektverbund unter

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

Hinweis:  
Bei der Veranstaltung werden Bild- und Tonaufnahmen gemacht. Mit Ihrer Teilnahme erklären Sie sich mit der Anfertigung, der Speicherung und der Veröffentlichung der Aufnahmen, auch auf den Internet- und Social-Media-Seiten der Pressestelle Bayern, einverstanden.  
Druck: 85MUJ, gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

### Veranstaltungshinweise

**Veranstalter**  
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz  
Rosenkavallerplatz 2  
81926 München

**Organisator**  
Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden  
Kaiser-Wilhelm-Ring 23  
92224 Amberg

**Veranstaltungsort**  
Amberger Congress Centrum ACC  
Schießstätteweg 8  
92224 Amberg

**Anmeldung**  
erbeten bis 20. Juni 2022 unter s.bayern.de/forcycleabschluss  
Die Teilnehmerzahl ist begrenzt. Die Veranstaltung ist kostenlos.

**Anreise mit PKW/Bahn**  
Von Westen und Norden über die A6 Nürnberg-Heilbronn, Ausfahrt Amberg-Stadtmitte und weiter über die Bundesstraße 298.  
Von Süden über die A93 Regensburg-Hof, Ausfahrt Schwandorf/Amberg und weiter über die Bundesstraße 95.  
Von Osten und Norden über die A6, Ausfahrt Amberg-Cst und weiter über die Bundesstraße 95. In Amberg folgen Sie bitte der Ausschleifung Stadtmitt/ACC. Parkmöglichkeiten direkt am ACC.  
Ambergs Bahnhof ist verkehrsgünstig an das ICE-Schiennetz der DB angeschlossen. Das ACC ist vom Bahnhof zu Fuß in ca. 7 Minuten zu erreichen.

**ABSCHLUSSVERANSTALTUNG**  
SAYENDIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Nr. 018 12220 oder per E-Mail unter [direct@bayer.de](mailto:direct@bayer.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internatiquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

**ForCYCLE II**

Projektverbund  
Ressourceneffizienz Bayern

---

**Für mehr Ressourceneffizienz in der bayerischen Wirtschaft**

Aus der Forschung in die Praxis  
Effizienztechnologien für die Ressourcennende in den Themenbereichen Digitalisierung, Substitution und Integrierte Produktpolitik

---

**Abschlussveranstaltung Projektverbund ForCYCLE II**  
Montag, 27. Juni 2022  
Amberger Congress Centrum

Umweltministerium
Recycling
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

### Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

der effiziente und sparsame Einsatz natürlicher Ressourcen schafft Unabhängigkeit, spart Kosten und schont die Umwelt und das Klima. Gleichzeitig ist ein verantwortungsbewusster Umgang mit Ressourcen ein zentrales Zukunftsthema: Er ermöglicht nachhaltiges Wachstum, generationengerechten Wohlstand und stärkt den Wirtschaftsstandort Bayern.

Die Bayerische Staatsregierung hat hierzu im Juli 2018 einen 7-Punkte-Plan beschlossen. Darin stellt der Projektverbund ForCYCLE II zur Entwicklung innovativer Technologien und Verfahren für einen effizienten Ressourceneinsatz und zum Recycling einen wesentlichen Baustein dar.

In den drei Themenschwerpunkten Digitalisierung, Substitution und der Integrierten Produktpolitik wurden innovative Technologien und Verfahren entwickelt, um so die Ressourceneffizienz und die Kreislauffähigkeit in KMU und Handwerksbetrieben weiter zu steigern. Der Fokus lag dabei auf der konkreten Anwendung und Praxisnähe.

Alle interessierten Unternehmen, Verbände, Forschungseinrichtungen und weiteren Akteure laden wir herzlich ein, sich bei der Abschlussveranstaltung über die erreichten Ergebnisse zu informieren, ihre Erfahrungen und Wünsche mit uns zu diskutieren und sich darüber hinaus bei der Weiterentwicklung und Umsetzung der bayerischen Ressourcenstrategie aktiv einzubringen.

Thorsten Glauber, MdB  
Bayerischer Staatsminister für Umwelt und Verbraucherschutz

Prof. Dr. Mario Mocker  
Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden

### Programm

**Beginn: 10:30 Uhr, Amberger Congress Centrum, Großer Saal**

- 10:30 **Akkreditierung und Einlass**
- 11:30 **Grußwort**  
Prof. Dr. med. Clemens Bültza  
Präsident der OTH Amberg-Weiden
- 11:35 **Ansprache des Ministers**  
Staatsminister Thorsten Glauber, MdB  
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
- 11:50 **Grußwort**  
Michael Cerny  
Oberbürgermeister der Stadt Amberg
- 11:55 **Die mächtigste Ressource: Netzwerk**  
Alexander S. Wolf  
T7Academy
- 12:15 **Kurzvorstellung der Einzelprojekte**  
Prof. Dr. Mario Mocker  
OTH Amberg-Weiden
- 12:30 **Fototermin mit anschließender Posterbesichtigung mit Herrn Staatsminister Thorsten Glauber**
- 12:45 **Mittagspause**
- 14:00 **Interaktives Podiumsgespräch**  
OTH Amberg-Weiden, REZ, IHK, HWK, vbw
- 14:45 **REV3D**  
Erhöhung der Ressourceneffizienz durch Einsatz von verwendungsnahe 3D-Drucktechnologien  
Prof. Dr. Oliver Kunze, Prof. Dr. Johannes Schlipf, Fabian Frommer, Fabio Oettl  
Hochschule Neu-Ulm, Universität Augsburg
- 14:55 **KMU DigCheckAbfall**  
Steigerung der Ressourceneffizienz in KMU und Handwerk durch ein digitales Benchmarksystem für Abfallvermeidungs- und Abfallverwertungspotentiale  
Prof. Reinhard Büchel, Andreas Kuhn  
Technische Hochschule Ingolstadt

Moderation: Bernice Besche, Bayerischer Rundfunk

### Programm

- 15:05 **DIMOP**  
Digitale multikriterielle Materialauswahl zur optimierten Kreislauffähigkeit von Kunststoffprodukten  
Prof. Dr. Axel Winkelmann, Holman Pytel, Tobias Prätor  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
- 15:15 **Diskussion**
- 15:25 **Kaffeepause**
- Projektvorstellung Integrierte Produktpolitik**
- 15:55 **IRVE**  
Innovative Recyclingverfahren für Elektroschrott  
Prof. Dr. Ulrich Bochtler, Florian Beck  
TH Aschaffenburg
- 16:05 **Chlor-Plattform**  
Plattformtechnologie zur Verwertung chlorhaltiger Abfälle und Rückgewinnung kritischer Metalle  
Prof. Dr. Burkhard Berninger, Michael Peer  
OTH Amberg-Weiden, Universität Regensburg
- 16:15 **BGM8**  
Rohstoffschonung und -erhalt durch Aufbereitung und Verwertung von Gießerei-Stauben - Bayerisches Konsortium für Gießerei-Staub-Metall-Rückgewinnung  
Prof. Dr. Richard Wehlich, Christian Strakos  
Universität Augsburg
- 16:25 **WDVS**  
Recycling von Wärmeverbundsystemen  
Prof. Dr. Ulrich Tsipke, Thomas Febr  
Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
- 16:35 **Diskussion**
- Projektvorstellung Substitution**
- 16:45 **VaporCoat**  
Erhöhung der Nachhaltigkeit in der Behälterglasindustrie durch Vermeidung von Beschichtungen  
Prof. Dr. Thorsten Gerdes, Bartheek Roy, Frank Bayer  
Universität Bayreuth

Moderation: Prof. Dr. Mario Mocker, Markus Bär, OTH Amberg-Weiden

Abbildung 20: Flyer zur Abschlussveranstaltung des Projektverbunds ForCYCLE II

## Anlage 6



**Abbildung 21:** Auszeichnung für die Preisträger des Bayerischen Ressourceneffizienzpreises aus recycelten Materialien (Quelle StMUV)