

Bewertungswerkzeug für die nachhaltige Gestaltung von Kunststoffprodukten

Der PolyTrace-Index: Systematische Nachhaltigkeitsbewertung

Der Ruf nach belastbaren Nachhaltigkeitsnachweisen wird lauter. Der PolyTrace-Index liefert ein fundiertes, Excel-basiertes Bewertungsinstrument zur ganzheitlichen Analyse von Kunststoffprodukten entlang ihres gesamten Lebenszyklus. Mit 24 Bewertungssäulen und über 250 Kriterien schafft er Transparenz, Vergleichbarkeit und Entscheidungsgrundlagen für Entwicklung und Strategie.



Das PTIx-Modell sorgt für methodische Ausgewogenheit.

© blacksalmon – stock.adobe.com

Die Anforderungen an die Kunststoffindustrie steigen stetig. Regulatorische Vorgaben, ESG-Kriterien und gesellschaftlicher Druck fordern belastbare Nachweise zur Nachhaltigkeit – symbolische Bekenntnisse genügen nicht mehr.

Hier setzt der PolyTrace-Index (PTIx) an: ein neu entwickelter, Excel-basierter Bewertungsindex zur ganzheitlichen, systematischen und quantitativen Nachhaltigkeitsbewertung entlang der gesamten Kunststoff-Wertschöpfungskette. Mit 24 Bewertungssäulen und über 250 Unterkriterien bietet der PTIx eine differenzierte Analyse von der Rohstoffgewinnung bis zum Recycling. Besonderer Fokus liegt auf Interdisziplinarität, methodischer Nachvollziehbarkeit, Praxisnähe und wissenschaftlicher Fundierung. Ergänzend stehen folgende Module zur Verfügung:

- integrierte Werkstoffdatenbank
- transportbezogener Emissionsrechner

- Kosten- und Ökoeffizienztool
- simulationsgestütztes Analysemodul

Methodische Systematik

Bild 1 veranschaulicht den methodischen Kern des PolyTrace-Index (PTIx). Sechs komplementäre Bewertungslogiken – von neutral-analytischen Verfahren über probabilistische und linguistische Ansätze bis hin zu deterministischen und empirisch fundierten Methoden – bilden die Grundlage für eine umfassende und robuste Nachhaltigkeitsbewertung von Kunststoffanwendungen.

Jede dieser Säulen stützt sich auf ein spezifisches methodisches Fundament: Sensitivitäts- und Regressionsanalysen, Monte-Carlo-Simulationen, Fuzzy-Regelwerke, erfahrungsbasierte Heuristiken, Kennzahlenmodelle sowie Benchmark- und

Literaturvergleiche. Diese Vielfalt methodischer Zugänge ermöglicht es, sowohl qualitative als auch quantitative Einflussgrößen systematisch zu integrieren und Unsicherheiten kontrolliert abzubilden.

Aus der integrativen Verknüpfung dieser Bewertungsansätze ergibt sich der PTIx-Gesamtscore – ergänzt durch eine transparente Klassifikation, eine Leistungskennzahl sowie eine indikative Ökoeffizienzbewertung. Auf dieser Basis lassen sich Entwicklungspotenziale identifizieren, Nachhaltigkeitsprofile schärfen und vergleichbare Aussagen zu Umwelt-, Kosten- und Innovationsaspekten treffen.

Der PTIx erfüllt dabei alle relevanten Anforderungen an Transparenz, Reproduzierbarkeit und Datenintegrität – in Anlehnung an die DSGVO sowie an ISO/IEC 27001 für Excel-basierende Systeme.

Der PTIx ist branchenübergreifend einsetzbar – vom mittelständischen Fertigungsbetrieb bis zur strategischen Unternehmenssteuerung. Anwendung findet er sowohl im Produktdesign, Qualitätsmanagement, in der Werkstoffauswahl und Prozessoptimierung als auch in der internen und externen Nachhaltigkeitskommunikation.

Das neue Bewertungsmodell basiert auf 24 Bewertungskategorien

Bestehende Instrumente wie LCA oder CO₂-Footprint-Analysen erfassen vor allem Umweltaspekte und vernachlässigen zentrale Nachhaltigkeitsdimensionen wie ökonomische, soziale oder gestalterische Kriterien. Zudem fehlt oft die Trennung zwischen produkt- und prozessbezogenen Einflüssen.

Der PolyTrace-Index schließt diese Lücken mit einem interdisziplinären Modell, das ökologische, technische und wirtschaftliche Faktoren systematisch vereint. Ziel ist es, Nachhaltigkeit messbar und als strategisches Steuerungsinstrument im Innovationsprozess nutzbar zu machen.

Der PTIx basiert auf einem 360°-Nachhaltigkeitsansatz mit 24 strukturierten Bewertungssäulen (Kategorien) – dazu zählen unter anderem Werkstoffeigenschaften, Green Design und Energieeffizienz bis zu Toxizität, Verarbeitung, Transport, Kreislaufwirtschaft und soziale Aspekte. In Summe enthalten alle Säulen rund 250 klar definierte Unterkriterien, die quantitativ erfasst und gewichtet werden. Die Bewertung stützt sich auf drei Datenquellen:

- normbasierte Daten (z.B. CO₂, KEA, GWP aus MBase, KEA, openLCA u.v.m.),
- validierte Expertenwerte (über 250 strukturierte Subkriterien),
- empirisches Praxiswissen (aus Lieferketten, Versuchsreihen und Pilotprojekten).

Diese mehrdimensionale Struktur ermöglicht eine objektive, differenzierte Nachhaltigkeitsbewertung auf Produkt-, Material- und Prozessebene.

Methodik: Multiplikative Aggregation mittels gewichteter Kennzahlen

Der PTIx nutzt ein einheitliches KPI-System, das Nachhaltigkeitsaspekte auf einer dimensionslosen Skala bewertet. Die Ergebnisse werden multiplikativ aggregiert, sodass Schwächen in

einzelnen Bereichen nicht durch Stärken in anderen kompensiert werden – das erhöht die Aussagekraft der Gesamtbewertung. In Anlehnung an Methoden wie die Overall Equipment Effectiveness (OEE) berücksichtigt die Aggregation auch Wechselwirkungen. Dabei zeigen Szenarioanalysen Potenziale und Zielpfade auf. Grundlage ist eine volumenbasierte PTIx-Wertebasis für eine belastbare Gesamtbewertung.

Die Fortschrittsbewertung innerhalb einer Kategorie erfolgt im PTIx über sogenannte Fortschrittszuschläge, die einzelne, nachweisbare Nachhaltigkeitsmerkmale einer Komponente (z.B. Green Design, CO₂-Reduktion, Biobasierung) systematisch honorieren. Die resultierende Reduktion des Kategorienscores erfolgt dabei nicht additiv, sondern multiplikativ, um den schrittweisen Charakter von Nachhaltigkeitsfortschritten angemessen abzubilden.

Um jedoch eine überproportionale Abwertung bei gleichzeitig erfüllten Merkmalen zu vermeiden, wird ein effektiver Multiplikator pro Bewertungskategorie berechnet. Dieser verhindert, dass sich Multiplikatoren unter einen definierten Mindestwert reduzieren lassen und sorgt so für methodische Ausgewogenheit. Der effektive Multiplikator einer Bewertungskategorie ergibt sich formal wie folgt:

$$M_{eff} = \max \left[M_{Basis} \cdot \prod_{i=1}^n (1 - F_i), M_{Basis} \cdot SW_{min} \right]$$

M_{eff} = reduzierter, aber begrenzter Multiplikator,

M_{Basis} = Ausgangsmultiplikator der Kategorie,

F_i = Fortschrittszuschlag für Merkmal (i)

SW_{min} = definierter Schwellenwert,

Diese Logik stellt sicher, dass nachhaltige Innovationen konsequent honoriert, gleichzeitig aber Bewertungsverzerrungen durch kumulative Überlagerungen vermieden werden. Sie ist insbesondere bei der Bewertung komplexer, multifunktionaler Kunststoffbauteile mit mehreren Nachhaltigkeitsmerkmalen von hoher praktischer Relevanz.

Die Nachhaltigkeitsbewertung im PolyTrace-Index (PTIx) erfolgt zunächst auf Komponentenebene, d.h. für jedes einzelne Kunststoffbauteil eines Produkts. Hierzu wird ein Einzel-PTIx-Wert berechnet, der die Nachhaltigkeitsqualität der jeweiligen Komponente über alle 24 Bewertungskategorien hinweg abbildet. Die Kategorien berücksichtigen Aspekte wie CO₂-Footprint, Toxizität, Recyclingfähigkeit, Energieaufwand, Werkstoffe und Transportemissionen, Materialherkunft und vieles mehr.

Der Einzelwert einer Komponente ergibt sich als Produkt der effektiven, ggf. reduzierten Multiplikatoren aller Kategorien:

$$PTI_{x_i} = \prod_{k=1}^{24} \left[\max \left[M_{Basis,k} \cdot \prod_{j=1}^{n_k} (1 - F_{ijk}), M_{Basis,k} \cdot S_{min,k} \right] \right]$$

PTI_{x_i} = Nachhaltigkeitsindex der Komponente (i)

$M_{Basis,k}$ = Basismultiplikator der Kategorie (k)

F_{ijk} = Fortschrittszuschlag für Merkmal (j) in Kategorie (k)

$S_{min,k}$ = Schwellenfaktor der Kategorie (k)

n_k = Anzahl der erfüllten Fortschrittsmerkmale in Kategorie (k)

Bild 1. The House of PTIx: Ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertung. Quelle: Prof.

Dr.-Ing. Karsten Faust; Grafik:

© Hanser



Volumenbasierte Bewertung komplexer Kunststoffbauteile

Zur Ermittlung des Gesamtwerts für ein mehrkomponentiges Produkt (z.B. eine Baugruppe oder ein Funktionsträger) werden die Einzel-PTIx-Werte volumenbasiert aggregiert. So wird sichergestellt, dass Komponenten mit hohem Materialanteil einen entsprechend stärkeren Einfluss auf das Ergebnis haben.

Die Aggregation erfolgt über das jeweilige Materialvolumen, berechnet aus Masse und Dichte:

$$PTIx_{gesamt} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{m_i}{\rho_i} \cdot PTIx_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{m_i}{\rho_i} \right)}$$

m_i = Masse, ρ_i = Dichte, $PTIx_i$ = Nachhaltigkeit der Komponente i

Durch diese volumenbasierte Gewichtung wird verhindert, dass kleine, hochbelastete Komponenten (z.B. stark toxische Additive in geringen Mengen) den Gesamtwert unverhältnismäßig beeinflussen – zugleich wird vermieden, dass große, nachhaltige Komponenten in ihrem positiven Effekt „verwässert“ werden.

In Kombination bilden Einzel-PTIx und volumenbasierte Aggregation die Grundlage für eine präzise, nachvollziehbare und produktionsnahe Nachhaltigkeitsbewertung entlang der gesamten Kunststoffwertschöpfung.

Ergänzend zum Einzel- oder Gesamtindex (Hauptkennzahl) werden Minimal- und Maximalwerte sowie die Kategorisierung (von Klasse I mit „sehr hoher Nachhaltigkeit“ über Klasse IV mit „ausgewogener Nachhaltigkeit“ bis zur Klasse VII „sehr niedriger Nachhaltigkeit“) des Gesamtindex mit einer Farbskala (von Grün über Orange bis Rot) dargestellt:

↑ 750
VII | $PTIx_{gesamt} = 500$
↓ 250

Häufigkeitsverteilung nach PTIx-Klassen

Die Klassenhäufigkeit liefert ein differenziertes Bild der Nachhaltigkeitsverteilung innerhalb eines bewerteten Produkts oder Systems. Dabei wird erfasst, wie viele Einzelkomponenten einer bestimmten Nachhaltigkeitsklasse (I–VII) zugeordnet werden können (**Bild 3**). Formal erfolgt die Berechnung der Häufigkeit wie folgt:

$$f_j = \frac{1}{n} \cdot \sum [1_{(a_j; b_j)}(PTIx_i)]$$

n = Gesamtzahl aller bewerteten Komponenten

$(a_j; b_j)$ = Indikatorfunktion der Klasse j

$1_{(a_j; b_j)}$ = Indikatorfunktion (1, wenn $PTIx_i$ im Bereich, sonst 0)

Diese Betrachtung erlaubt Aussagen über die interne Streuung der Nachhaltigkeitsqualität – also darüber, ob ein Produkt aus einheitlich nachhaltigen Komponenten besteht oder ob es einzelne Schwachstellen aufweist, die den Gesamtscore negativ beeinflussen. Besonders in der Produktoptimierung können gezielt solche Schwachstellen identifiziert werden, ohne dass diese im aggregierten Gesamtwert untergehen.

In Verbindung mit der Gesamtbewertung entsteht so ein zwei-dimensionales Analysebild: Der numerische Indexwert zeigt die Gesamtnachhaltigkeit, während die Häufigkeitsverteilung die Verteilung und kritische Bandbreite auf Komponentenebene sichtbar macht – etwa durch Häufungen in Klasse VI oder VII.

Diese Methode erhöht die Transparenz, erlaubt gezielte Verbesserungsmaßnahmen und dient zugleich als internes oder regulatorisches Reportinginstrument.

Praxisnahe Nachhaltigkeitsbewertung durch den PTIx

Die Kombination aus volumenbasierter Aggregation, Extremwertanalyse und Häufigkeitsverteilung nach definierten PTIx-Klassen erlaubt eine präzise und zugleich praxisnahe Bewertung.

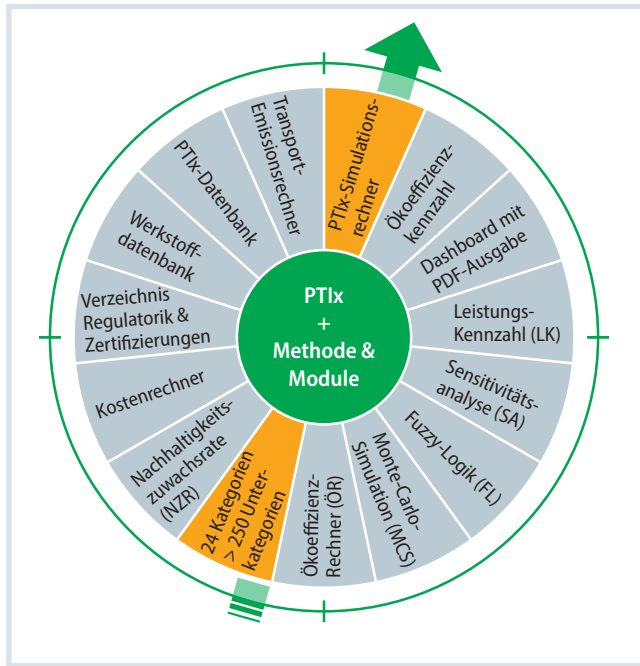


Bild 2. Methodensatz und Zusatzmodule im PolyTrace-IndEx

Quelle: Prof. Dr.-Ing. Karsten Faust; Grafik © Hanser

tung mehrkomponentiger Kunststoffbauteile entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Der PTIx liefert dabei nicht nur eine konsolidierte Nachhaltigkeitskennzahl, sondern identifiziert auch kritische Schwerpunkte innerhalb des Bauteils – etwa in Bezug auf CO₂-Intensität, Toxizität oder Recyclingfähigkeit.

Damit wird der PTIx zu einem entscheidungsrelevanten Analyseinstrument für Produktentwicklung, Ökobilanzierung, Nachhaltigkeitsaudits sowie für das Reporting gegenüber OEMs und regulatorischen Stellen. Er fördert eine transparente,

belastbare und methodisch abgesicherte Nachhaltigkeitsbewertung, die auf realen Material- und Prozessdaten basiert und individuell auf Bauteilebene anwendbar ist.

Einbindung von Datenqualität, Unsicherheit und Risikoanalyse

Um die Verlässlichkeit der Daten abzubilden, wird jeder Kennzahl ein Vertrauensfaktor zugewiesen, der deren Gewichtung in der Aggregation beeinflusst. So wird Datenqualität transparent und nachvollziehbar berücksichtigt.

Unsicherheiten werden mittels Fuzzy-Logik qualitativ klassifiziert – je nach Datenverfügbarkeit, von verifizierten Werten bis hin zu Schätzungen. Die genaue Ausgestaltung bleibt aus Schutzgründen vertraulich, die Logik jedoch methodisch nachvollziehbar. Für eine probabilistische Absicherung kann der PTIx durch Monte-Carlo-Simulationen ergänzt werden. Diese modellieren Eingabewerte als Zufallsgrößen und ermitteln realistische Verteilungen, Erwartungswerte und Risikoprofile.

Vorteile der Methodik im Überblick:

- Multiplikative Aggregation verhindert das Verwässern von Schwächen.
- Vertrauensfaktoren & Fuzzy-Logik sichern Transparenz bei Datenunsicherheiten.

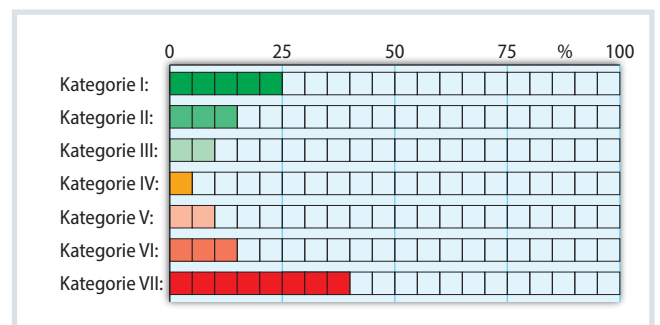


Bild 3. Häufigkeitsverteilung nach PTIx-Klassen Quelle: Prof. Dr.-Ing. Karsten Faust;

Grafik: © Hanser

- Monte-Carlo-Simulation erhöht die Belastbarkeit bei schwankenden Eingabewerten.
- Modularität & Skalierbarkeit ermöglichen flexible Anwendung – vom Einzelbauteil bis zum Gesamtsystem.
- Praxisnähe & Nachvollziehbarkeit sichern industrielle Anwendbarkeit trotz Komplexität.

Bewertungslogik und Methodik des PTIx

Zur Vergleichbarkeit verschiedener Nachhaltigkeitsdaten (zum Beispiel CO₂, Energie, Toxizität) nutzt der PTIx eine dynamische Normalisierungsmatrix. Diese skaliert alle Werte dimensionsübergreifend und berücksichtigt auch unsichere Daten.

Die Bewertung kombiniert valide Daten mit transparenter Heuristik, ergänzt durch Fuzzy-Logik für qualitative Aussagen (z.B. „niedrige Toxizität“) und Monte-Carlo-Simulationen zur probabilistischen Absicherung. Sensitivitätsanalysen quantifizieren den Einfluss einzelner Faktoren. Die Methodik basiert auf aktueller Forschung aus Umweltwissenschaften, Materialkunde und Systemtechnik.

Info

Text

Prof. Dr.-Ing. Karsten Faust lehrt und forscht an der Hochschule Darmstadt im Fachbereich Maschinenbau und Kunststofftechnik. Seine Lehrgebiete umfassen unter anderem Nachhaltigkeitsmanagement, Konstruieren mit Kunststoffen, Kreislaufwirtschaft, Technische Systeme in der Logistik und Materialflusssimulation.

M.Sc. Yannik Rothe arbeitet als selbstständiger Sustainability Project Manager. Arbeitsschwerpunkte sind die Entwicklung und Pflege von Automatisierungstools in Excel mittel VBA zur Effizienzsteigerung von Nachhaltigkeitsprozessen.

Service

PolyTrace-IndEx (PTIx)

Prof. Dr. Karsten Faust

www.polytrace-index.com

E-Mail: info@polytrace-index.com

Von der Theorie zur Praxis

Während es in diesem ersten Teil des Artikels um die Bewertungslogik und Methodik des PTIx ging, befasst sich Teil 2 mit der Praxis. Er erscheint im Oktober 2025 in der Kunststoffe.

Dank seiner Excel-Basis ist der PTIx einfach in ESG- und Umweltmanagementsysteme (z.B. GRI, CSRD, ISO 14001) integrierbar. Er unterstützt Fachbereiche wie Nachhaltigkeitsmanagement, Produktverantwortung und strategische Steuerung.

Besonders effizient ist die Kategorie Green-Design-Modul samt Verarbeitungsfaktoren: Bereits in frühen Entwicklungsphasen lassen sich Varianten vergleichen und ökologisch optimieren – für ressourceneffiziente, recyclinggerechte Produkte und kürzere Entwicklungszeiten.

Der USP des PTIx liegt in seiner Ganzheitlichkeit: Er bewertet Nachhaltigkeit entlang des gesamten Produktlebenszyklus – technisch, ökologisch, ökonomisch und sozial. Das macht ihn zu einem echten Steuerungsinstrument statt eines reinen Nachweissystems.

Ein interaktives Reporting-Modul mit Diagrammen, Vergleichstabellen und PDF-Export erleichtert die Kommunikation mit Kunden. Die intuitive Benutzeroberfläche ermöglicht die Nutzung auch durch Nicht-Expert:innen.

Mit Blick auf zukünftige Anforderungen – z.B. EU-Taxonomie, Lieferkettengesetz, Green Deal – ist der PTIx anschlussfähig, skalierbar und erweiterbar. In Planung sind KI-Module für automatisierte Bewertung, Materialscreening und Echtzeit-Schnittstellen zu Datenbanken und Normen.

Zu den Zielgruppen zählen die Bereiche Nachhaltigkeitsmanagement, Produktentwicklung, Konstruktion, Materialtechnik, Forschung, Beratung oder Softwareentwicklung. Der PTIx kann eigenständig oder integriert genutzt werden.

Ausblick: Vom Bewertungsmodell zur Anwendung

Teil 1 dieser Beitragsreihe hat die theoretischen Grundlagen, Bewertungslogik und methodische Architektur des PTIx erläutert. Mit 24 Bewertungssäulen, über 250 Einzelkriterien, integrierter Werkstoffdatenbank sowie methodischen Modulen wie Monte-Carlo-Simulation und Fuzzy-Logik stellt der PTIx ein konsistentes und anwendungsnahes Werkzeug zur Nachhaltigkeitsbewertung von Kunststoffbauteilen dar.

Seine modulare Struktur und transparente Skalierbarkeit ermöglichen den Einsatz sowohl im

Produktdesign als auch in strategischen Nachhaltigkeitsbewertungen.

Wie sich der PTIx im industriellen Alltag bewährt, lässt sich im Teil 2 nachlesen (Kunststoffe 10/2025). Dieser Artikel beleuchtet exemplarische Anwendungen in Pilotprojekten – unter anderem bei Elobau sowie im Bereich der Fördertechnik. Die Auswertung realer Daten zeigt, welche Erkenntnisse der PTIx generiert, wie sensibel er auf Material-, Prozess- und Lieferkettenparameter reagiert – und welche Impulse sich daraus für nachhaltige Produktgestaltung und Unternehmenssteuerung ableiten lassen. ■