

Zukunft des Datensatzes

Whitepaper / Leitfaden der AG A2.7¹

Einleitung / Motivation

Klebeverbindungen spielen eine außerordentliche Rolle beim Aufbau von Systemen in der Mikroelektronik. Sie dienen gleichzeitig als mechanische Verbindung und Stabilisierung (Die Attach, Underfill), elektrischer und/oder thermischer Kontakt (ACA, TIM) und müssen höchsten Präzisionsansprüchen genügen. Eine große Anzahl von Klebstoffen steht zur Verfügung, um für eine Anwendung und deren Herstellungsverfahren eine Verbindung herzustellen, die dem jeweiligen Anforderungsprofil genügt: Hohe Festigkeit und Zuverlässigkeit bei hoher Effizienz und geringen Kosten in Entwicklung und Herstellung.

Das Anforderungsprofil der Klebung wird im Entwicklungsprozess der Anwendung festgelegt: Welche Klebpartner / Oberflächen sollen verbunden werden, welche Funktion hat die Klebung, welches Temperaturbudget steht zur Verfügung, welche Anforderungen gibt es an die Dosierung etc.

Als Grundlage für die Auswahl eines geeigneten Klebstoffes dient unter anderem eine individuelle Beratung durch die Materialhersteller, in dem die Eigenschaften der Klebstoffe und das Anforderungsprofil der Anwendung abgeglichen werden. Als Handreichung / Vorbereitung für diese Beratung dient häufig das technische Datenblatt des Klebstoffes, in dem aus Herstellersicht die wichtigsten Eigenschaften zur Prozessierung und Performance zusammengefasst sind. Die darin abgebildeten Daten entsprechen meist einer kaufmännischen Unschärfe und geben eher einen groben Einblick, wie die Eigenschaften des jeweiligen Materials einzuordnen sind (Stichwort: „typische Werte“). Eine Verwendung der Daten für eine numerische Auslegung ist damit nicht ratsam, aber auch nicht beabsichtigt.

Die Einträge in ein solches Datenblatt sind nicht standardisiert und können in mehrerlei Hinsicht variieren, etwa in der Art des Messverfahrens (z.B. Tg aus DMA oder TMA), der physikalischen Einheit (z.B. cps gegenüber Pa·s) oder auch in ihrer Bedeutung für die Anwendung. Insbesondere hinsichtlich der voranschreitenden Digitalisierung (Industrie 4.0) und dem Zeitdruck in der Entwicklung (time to market) erscheint dieser Ist-Zustand nicht effizient.

Während es für Verfahren wie der Spritzguss-Technologie bereits seit Jahren Datenbanken gibt, die Ablage und Zugang zu Materialdaten der Spritzgusspolymere standardisiert verwalten, befindet sich diese Art der übergreifenden Organisation für das Kleben mikroelektronischer Komponenten noch in der Anfangsphase. Gründe hierfür sind möglicherweise die stärkere Diversifizierung des Marktes und auch die Abwesenheit großer Player wie Siemens oder Bosch als treibende Kraft, die vermutlich punktuell auch mit eigenen Datenbanklösungen arbeiten, auf die Externe keinen Zugriff haben.

Um die Effizienz und die Reduktion der Kosten in der Entwicklung neuer Anwendungen zu begünstigen, bedarf es also eines gemeinsamen und übergreifenden (vorkompetitiven) Verständnisses davon,

¹ Mitarbeitende Mitglieder der DVS-Arbeitsgruppe A2.7: AEMtec GmbH, DELO Industrie Klebstoffe GmbH & Co. KGaA, Fraunhofer IFAM, Fraunhofer IZM, Heraeus Electronics GmbH & Co. KG, Hensoldt Sensors GmbH, Robert Bosch GmbH, Sensitec GmbH, und weitere. (Stand: 30. April 2025).

welche Eigenschaften in welcher Form und mit welchen Zugangsberechtigungen digital abgelegt werden können.

Angelehnt an die Prinzipien des FAIR Data Konzeptes [1] – Daten sollen Findable, Accessable, Interoperable und Reusable sein, also Auffindbar, Zugänglich, Kompatibel und Wiederverwendbar – würde dadurch neben der Unterstützung der Kommunikation zwischen Entwicklern und Herstellern auch die Verwendung in Konzepten des Digitalen Zwillings oder Prozesszwillings ermöglicht (siehe Abbildung 1). Diese Entwicklung wird seit einigen Jahren in verschiedenen Förderinitiativen unterstützt. Dafür bedarf es zunächst einer Einigung auf eine gemeinsame Ontologie (siehe auch <https://www.materialdigital.de/ontologies/>), d.h. einem gemeinsamen Verständnis zu Struktur und standardisierten Ablage von Datensätzen die geeignet sind Klebstoffe einer Klasse von verschiedenen Herstellern untereinander zu vergleichen und so für den Anwender eine umfängliche Erstinformation zu den Eigenschaften zu ermöglichen.

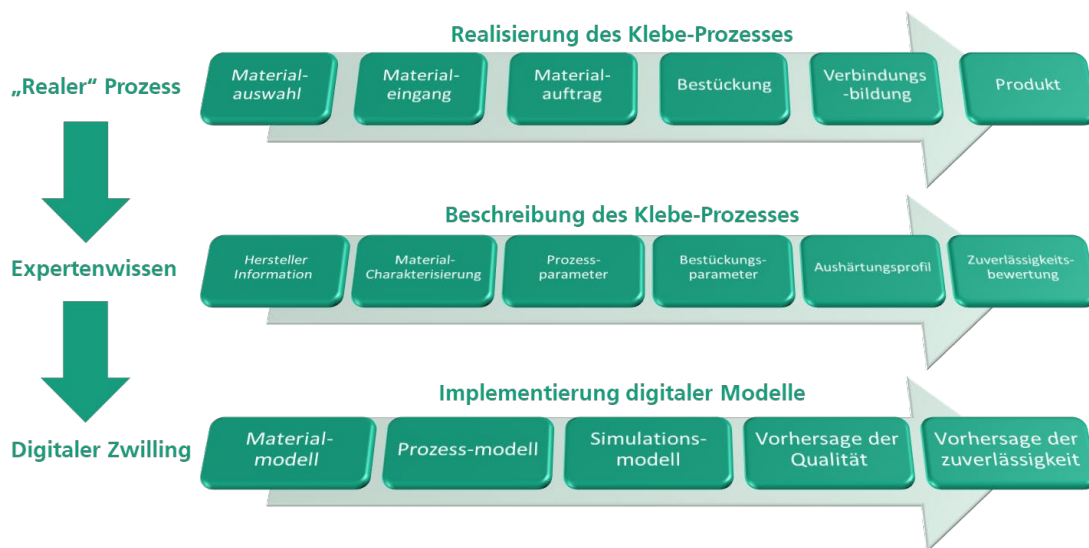


Abbildung 1: Aufstellen eines digitalen Prozesszwillings eines Klebeprozesses durch Beschreibung der einzelnen Schritte und Implementierung digitaler Modelle, um Vorhersagen zu ermöglichen.

Im Arbeitskreis „Kleben und Sintern in der Mikroelektronik“ des DVS wurde die Thematik in mehreren Sitzungen im Kreis von Material-, Maschinen- und Produktherstellern diskutiert. Die Diskussion hat zu ersten Ansätzen und Ideen zu den Inhalten eines solchen Datensatzes geführt, die exemplarisch für die Verarbeitbarkeit und einige Anwendungsfälle bewertet und priorisiert wurden, so dass auf dieser Basis Vorschläge zur Struktur abgeleitet und die Vorteile einer digitalisierten und zugänglichen Ablage herausgearbeitet werden konnten.

Der dynamische Datensatz

Die Digitalisierung der industriellen Forschung und Entwicklung wird in verschiedenen vom BMBF geförderten Projekten angetrieben. Hintergrund ist die Erkenntnis, dass die Rechenkapazitäten für die Simulation und Automatisierung in Entwicklungs- und Herstellungsprozessen stark zunimmt und dadurch mit Hilfe digitaler Zwillinge die Ressourcen für Material und Tests eingespart werden können im Sinne einer nachhaltigen Effizienz. Für die Dateninfrastruktur stehen Systeme bereit oder werden aufgebaut, die die o.g. Ansprüche (FAIR Data) erfüllen sollen und z.T. bereits in diesem Sinne genutzt werden (MaterialDigital, Gaia-X, Catena-X, u.w.). Deren Ziel ist es, vertrauenswürdige dezentrale

digitale Ökosysteme aufzubauen und damit einen defacto Standard hinsichtlich von Grundsätzen, Regeln, Spezifikationen und Verifizierung von Materialdaten zu schaffen.

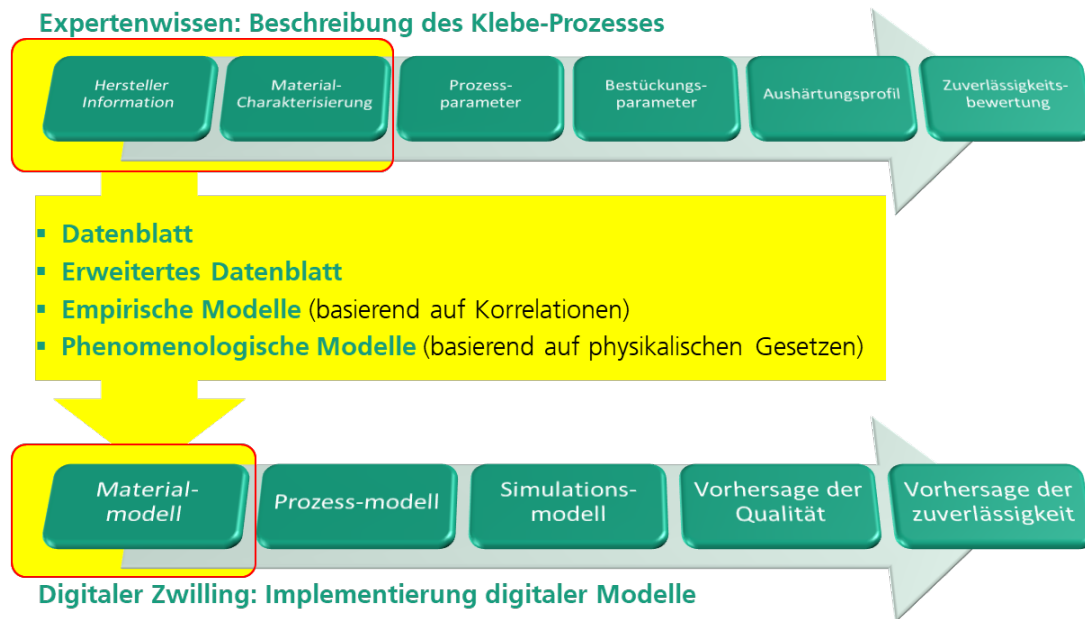


Abbildung 2: Am Anfang des digitalen (Prozess-) Zwillings steht die strukturierte Erfassung und Ablage der Materialdaten und -modelle.

Ein Baustein am Anfang der Prozesskette (vgl. Abbildung 2) ist die gemeinsame Struktur von Datenblatteinträgen wie sie in Tabelle 1 skizziert ist. Die Struktur enthält Felder, deren Einträge ein Format besitzen (z.B. Texteintrag zur Beschreibung der Eigenschaft des Klebstoffes im Format „Text“, oder Wert der Viskosität im Format „double“). Weitere (Meta-)Informationen weisen z.B. Besitzer, IP-Rechte o.ä. dem jeweiligen Eintrag zu. Wieder andere Einträge stellen Verlinkungen zu öffentlichen Informationen her, z.B. zum Sicherheitsdatenblatt des Werkstoffes.

Tabelle 1

Feld	Format	Inhalt	Norm/Standard	Owner	IP	
Beschreibung	Text	Dieser Klebstoff wird für das Montieren von max. 5x5 mm ² großen Chips auf Leadframe empfohlen	Kein			
Viskosität	Wert bei Tx und $\dot{\gamma}$	10 [Pa.s]	ISO xy			
R-Sätze	Link zur Datenbank	Link	..			
...						

Die genaue Struktur im Detail und wie diese an existierende Datenbanken andocken kann (Interoperabilität) geht über diesen Beitrag hinaus. Jedoch wird klar, dass ein solcher digitaler Datensatz keine statische Tabelle bleibt, sondern dass die Einträge in einer Datenbank nahezu beliebig erweitert werden können, etwa bis hin zu einem Materialmodell durch die Angabe von Stützpunkten oder Formeln zur Temperaturabhängigkeit einzelner Eigenschaften, oder um weitere

Metainformationen ergänzt werden können wie z.B. um die Angabe von Referenzanwendungen die einen erfolgreichen Einsatz in einer neuen Anwendung vielversprechender machen.

Benefits

Daraus ergeben sich in Zukunft Vorteile über die vereinfachte Kommunikation zwischen Herstellern und Anwendern hinaus. Die Einigung auf eine digitale Struktur und priorisierte Einträge lässt eine Automatisierung verschiedener Prozesse zu, z.B. Vergleich / Auswahl von Klebstoffen, Generierung von Materialinformationen, Aktualisierung und Ergänzung durch später erworbene Daten etc.. Darüber hinaus sind stufenweise rollenangepasste Zugänge zu den Datensätzen vorstellbar, wie die Einschränkung für die Allgemeinheit auf wenige Kennwerte und sicherheitsrelevante Informationen (Verknüpfung zum Sicherheitsdatenblatt, MSDS), Zugriff auf detailliertere Informationen für verifizierte Käufer / Anwender und individuell ausgehandelte Freischaltung für Großabnehmer.

Diese Herangehensweise ermöglicht auch neue Businessmodelle, um den Aufwand der experimentellen Materialcharakterisierung zu monetarisieren. Darüber hinaus können die Informationen für gesetzliche Auflagen zur Nachhaltigkeit wie den digitalen Produktpass aus einem solchen Datensatz generiert werden. Die Anschlussfähigkeit zu Industrie 4.0 durch Digitalisierung wäre durch einen solchen dynamischen Datensatz gegeben.

Digitalisierung

Der digitale Zwilling eines Produktes ist eine digitale Repräsentation eines Produktes / Systems / Prozesses aus der materiellen Welt in der virtuellen Welt, unabhängig von der aktuellen oder geplanten Existenz des Produktes. Er ermöglicht einen übergreifenden Datenaustausch und ermöglicht über die Verknüpfung von Informationen mit Modellen die Beantwortung zugehöriger Fragestellungen (z.B. FEM-Simulationen zur Zuverlässigkeit).

Digitale Zwillinge können entlang der Hierarchieebenen einer Produktfertigung Teilbereiche abbilden z.B. Materialmodelle, Design und Konstruktion von Komponenten und Systemen sowie Prozessabläufen (Temperaturprofile, Maschinenparameter etc.) usw. bis hin zur System- oder Produktebene über deren Verknüpfung. Weitere Ebenen sind die Abbildung von Produktlebenszyklen und das Abbilden und Nachverfolgen von End-of-Life-[EOL]-Strategien.

Über die digitale Schnittstelle eines digitalen Zwillings können auch organisatorische Bezüge zur Produktfertigung hergestellt werden. Warenmanagementsysteme, Aspekte der Arbeitssicherheit und der sachgerechten Entsorgung von Nebenprodukten der Fertigung (z.B. kontaminierte Reinigungsmittel) können auf diese Schnittstelle zugreifen und die Effektivität und Nachhaltigkeit verbessern.

Ein digitaler (dynamischer) Datensatz zu einem in einem Prozess / Produkt genutzten Material ist in diesem System ein wichtiger Baustein für den digitalen Zwilling.

Stand der Diskussion & Ausblick

In der AG Kleben und Sintern in der Mikroelektronik wurden Struktur und Einträge von Datenblättern aus verschiedenen Perspektiven von Herstellern, Verarbeitern und Anwendern gemeinsam diskutiert. Dabei können allgemein folgende Punkte festgehalten werden:

- Die Anforderung an ein Datenblatt / einen Datensatz ist es, die für die jeweilige Perspektive relevanten Informationen (Eigenschaften) in kompakter und übertragbarer Darstellung zugänglich zu machen.

- Die Relevanz wurde über eine priorisierende Bewertung in Tabellenform von den Beteiligten zusammengeführt. Im Ergebnis sind sich Hersteller, Verarbeiter und Anwender einig darüber, ob eine Information (Eigenschaft) erforderlich, wünschenswert oder verzichtbar ist.
- Für Anwender / Verarbeiter ist eine einheitliche Darstellung der Eigenschaften (Bezeichnung, physikalische Einheit, Angabe des Messverfahrens, uvm.) wünschenswert, um Klebstoffe auch Hersteller übergreifend vergleichen zu können.
- Für Hersteller müssen die Verfahren zur Messung der Eigenschaften und zur Datenablage an die bisherige Praxis anschlussfähig und transparent hinsichtlich der Datensicherheit (IP-Rechte) sein.
- Verarbeiter und Anwender haben tendenziell ein Interesse an umfassenderen Informationen während Hersteller an dem Punkt auf das Aufwand / Nutzen Verhältnis verweisen.
 - Dies ist kein Gegensatz: Für einige Klebstoffe, je nach Nachfrage und Funktion, wird sich ein längerer und für andere ein kürzerer Datensatz ergeben. Dieser ist in jedem Fall erweiterbar, da Eigenschaften nachträglich ergänzt werden können. Die vorgenommene Priorisierung dient als Anhaltspunkt dafür, welche Eigenschaften im Basisdatensatz zu finden sein sollten.

Verarbeitungseigenschaft		Gesamt	Herstellung	Verarbeitung	Anwendung
Kategorie	Eigenschaft	Bewertung Mittelwert			
Materialvorbereitung	Anlieferung	2.3	1.0	2.3	3.0
	Mischverhältnis	3.0	2.0	3.0	3.0
	Mischhinweise	2.5	2.0	2.3	3.0
	Entgasung	2.0	1.0	2.3	2.0
	Auftauen	1.7	2.0	2.0	1.5
	Targetvorbereitung	1.8	1.0	2.0	2.0
Rheologie	Thixotropie	2.7	2.5	2.7	2.5
	Fließgrenze	1.8	1.5	1.7	2.0
	Viskosität	2.8	3.0	2.7	3.0
	Temperaturverhalten	2.0	2.0	2.0	2.0

Bewertung	Priorität
3	notwendig
2	wünschenswert
1	verzichtbar

Abbildung 3: Exemplarische Bewertung der Kategorien „Materialvorbereitung“ und „Rheologische Eigenschaften“

- Der Datensatz kann das Beratungsgespräch mit dem Hersteller nicht ersetzen.
 - Mit dem Zugang zu den „öffentlichen“ Eigenschaften wirbt der Materialhersteller für sein Produkt unter bestimmten Verarbeitungs- und Anwendungsbedingungen und lädt zur Kommunikation darüber ein. Dabei kann sich herausstellen, dass ein anderer Klebstoff geeigneter ist. Dieses Expertenwissen lässt sich nur schwer in einem Datensatz abbilden.
- Die Rechtssicherheit bzw. der Haftungsausschluss für die Hersteller muss gegeben sein.
 - Die im Datenblatt angegebenen Eigenschaften sind in der Regel typische Werte aus denen sich Trends, aber keine Vorhersagen z.B. zur Zuverlässigkeit generieren lassen.
 - Die Angaben bezüglich der Arbeitssicherheit (MSDS) sind aus rechtlicher Sicht sehr sensibel und bedürfen einer gesonderten Behandlung. Aus diesem Grund wird die Information dazu nur verlinkt

Zusammenfassung und Ausblick

Um Klebstoffe mit der für den Markterfolg notwendigen Effizienz und Nachhaltigkeit bei der Fertigung mikroelektronischer Produkte einsetzen zu können, bedarf es einer umfassenden Betrachtung dieser Produkte über den gesamten Fertigungsprozess und Lebenszyklus [2]. Dabei spielt die Auswahl der Rohstoffe für die Formulierung der Klebstoffe ebenso eine Rolle wie die Änderung ihrer

Materialeigenschaften durch Alterung im Einsatz des Produktes. Diese Daten können für jedes Material aus verschiedenen Datenquellen zusammengetragen und in Datenbanken (digitalen „Datenschranken“) abgelegt werden (Abbildung 4).

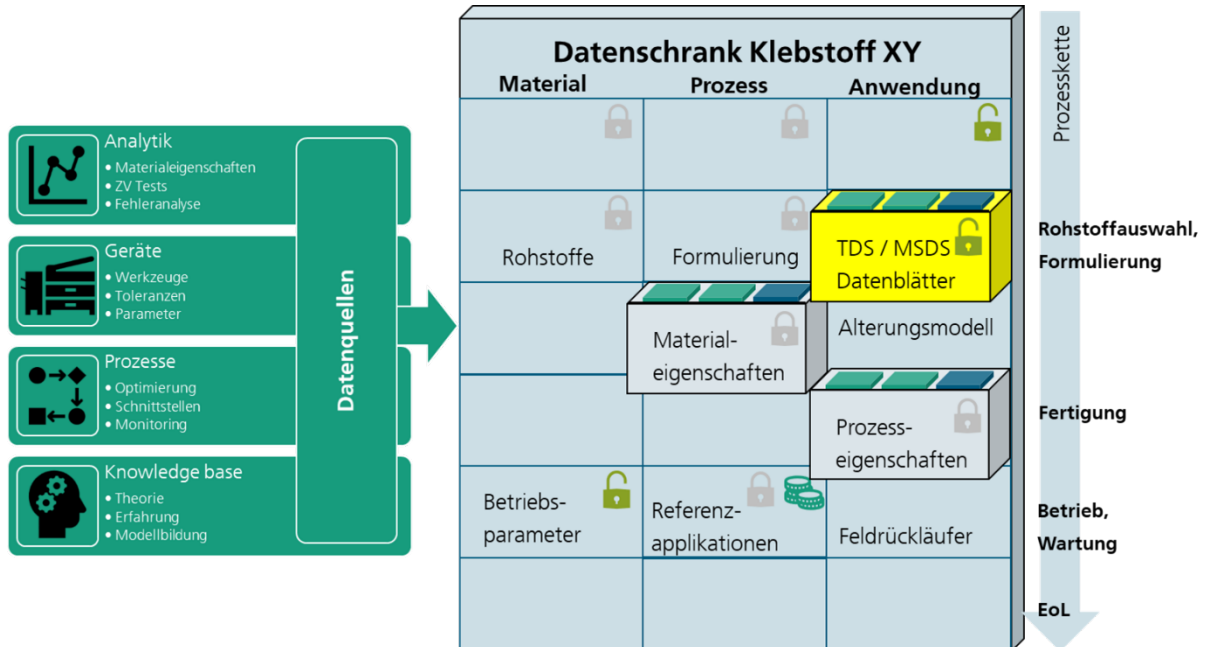


Abbildung 4: „Datenschrank“ eines Klebstoffes im Sinne eines dynamischen Datensatzes mit öffentlich zugänglichen Informationen und ggf. freizuschaltenden nichtöffentlichen Informationen.

Datenblätter bzw. Datensätze von Klebstoffen sind dabei ein wichtiger Baustein auf dem Weg zur weiteren Digitalisierung von Entwicklung und Fertigung mikroelektronischer Produkte. Die in der AG Kleben und Sintern in der Mikroelektronik geführte und hier dokumentierte Diskussion soll dazu beitragen, die verschiedenen Perspektiven der Stakeholder (Hersteller, Verarbeiter und Anwender) mit Blick auf Inhalte und Nutzung von Datenblättern zusammenzuführen. Dabei macht die aus der Diversität der Materialien, Prozesse und Anwendungen folgende Komplexität deutlich, dass ein strukturiertes holistisches Vorgehen bei der Digitalisierung erforderlich ist. Einer der nächsten Schritte wäre dabei zunächst die Entwicklung einer gemeinsamen Ontologie, die es ermöglicht diese Komplexität abzubilden und Schnittstellen zur gemeinsamen Nutzung bietet. Die Notwendigkeit eines solchen Vorgehens wurde bereits an anderer Stelle erkannt und findet Ausdruck in verschiedenen Förderprogrammen (vgl. <https://www.materialdigital.de/> u.a.).

Die Arbeitsgruppe „Kleben und Sintern in der Mikroelektronik“ des DVS wird sich weiter mit Themen der Produktionssteigerung und Nachhaltigkeit in der Entwicklung zukünftiger Produkte beschäftigen. Dieser Beitrag soll auch über den Arbeitskreis hinaus dazu anregen, die Digitalisierung der Prozesskette voranzutreiben und die dazu nötigen Schritte zu diskutieren.

- [1] M. D. Wilkinson u. a., „The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship“, *Sci. Data*, Bd. 3, Nr. 1, S. 160018, März 2016, doi: 10.1038/sdata.2016.18.
- [2] O. Höck, S. Voges, K.-F. Becker, E. Wagner, und M. Schneider-Ramelow, „Why Should We Share Material Data? The Positive Impact of Public/Private Databases Access Through Digital Twins Along the Product Value Chain“, in *2024 Electronics Goes Green 2024+ (EGG)*, Berlin, Germany: IEEE, Juni 2024, S. 1–4. doi: 10.23919/EGG62010.2024.10631220.