

Potenziale der Digitalisierung für das Nachhaltigkeitsmanagement

EcoHub: Datenbasierte Nachhaltigkeitsoptimierung

R. Camargo Garcia, D. Koch, R. Tesch, M. Runde, J. Brandt, A. Präger, S. Schmid

ZUSAMMENFASSUNG Digitalisierung und Nachhaltigkeit sind Megatrends der Gegenwart und der Zukunft. Die Digitalisierung bietet das Potenzial, das Nachhaltigkeitsmanagement von Unternehmen zu unterstützen. Die Nachhaltigkeitsplattform „EcoHub“ erlaubt es, Unternehmensdaten mit Bezug zur Nachhaltigkeit an einer zentralen Stelle unter Berücksichtigung von Aspekten der Datensicherheit und Zugriffsberechtigung zu sammeln und als zentrale Datenquelle der weiteren Analyse und für die Rückkopplung im Unternehmen zur Verfügung zu stellen.

STICHWÖRTER

Nachhaltigkeit, Digitalisierung, Informationsmanagement

EcoHub: An enterprise database for production and process data to improve sustainability – Potential for digitizing sustainability management

ABSTRACT Digitalization and sustainability are megatrends of the present and the future, with digitalization offering the chance to support the sustainability management of companies. The sustainability platform EcoHub allows for collecting corporate data related to sustainability in a central location, taking into account aspects of data security and access authorization. As a central data repository it ensures data availability for further analysis and feedback into the company.

1 Einleitung

Das öffentliche Bewusstsein und die Aufmerksamkeit für das Thema Nachhaltigkeit von Unternehmen hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Dafür sind sowohl gesellschaftliche Interessensentwicklungen, als auch gesetzliche Rahmenbedingungen verantwortlich [1]. Das Management von Nachhaltigkeit in Unternehmen und die Integration in die Unternehmensstrategie rücken für Unternehmensleitungen vermehrt in den Fokus. Oft fehlen adäquate Hilfsmittel, um Entscheider bei dieser Aufgabe zu unterstützen. Vor allem die Bereitstellung von Daten, auf deren Basis Entscheidungen getroffen werden, ist im Bereich der Nachhaltigkeitsdaten eine Herausforderung [2]. Das Forschungsprojekt EcoHub soll einen Beitrag dazu leisten, Nachhaltigkeitsdaten im Unternehmenskontext zu sammeln, die Informationen auszuwerten und richtungssichere Entscheidungen zu unterstützen.

2 Problemstellung

In der Geschäftswelt ist Nachhaltigkeit aufgrund des gestiegenen Umweltbewusstseins in Gesellschaft und Gesetzgebung heute ein zentraler Wettbewerbsfaktor [3]. Unternehmen müssen daher Nachhaltigkeitsaspekte in ihre Managementaktivitäten und Strategien integrieren – ein Schritt, der über die traditionelle Fokussierung auf wirtschaftliche Aspekte hinausgeht. [4]. Für Nachhaltigkeitsdaten steht die Bereitstellung in Controlling-Mechanismen und Managementsystemen noch am Anfang, etablierte Plattformlösungen zur Sammlung von Nachhaltigkeitsdaten gibt noch

nicht [2]. Ansätze zur strukturierten Bereitstellung von Nachhaltigkeitsdaten (wie etwa im EU-Projekt SustainHub) existieren, fokussieren aber meist auf einzelne Anwendungsfälle und bilden keine Use-Case-übergreifende Plattform [2].

Die Notwendigkeit der Digitalisierung im Nachhaltigkeitsmanagement ergibt sich aus den komplexen ökologischen Herausforderungen für Unternehmen [5, 6]. Traditionelle Methoden des Nachhaltigkeitsmanagements reichen oft nicht aus, um die riesigen Datenmengen, die für fundierte Entscheidungen benötigt werden, effektiv zu erfassen und zu analysieren [7, 8]. Die Digitalisierung macht es Unternehmen möglich, mit der Komplexität und Dringlichkeit ökologischer Herausforderungen umzugehen, indem sie fortgeschrittene Technologien für die Datensammlung, -verarbeitung und -interpretation einsetzt. Dies ermöglicht tiefere Einblicke in die Umweltauswirkungen und unterstützt proaktive Maßnahmen zur Verbesserung und Risikominderung [8, 9]. Die Einführung der Digitalisierung ist für Unternehmen entscheidend, um die Komplexität nachhaltiger Geschäftspraktiken zu bewältigen, Umweltziele zu erreichen und in einer zunehmend umweltbewussten Welt wettbewerbsfähig zu bleiben [10]. Zudem ist für die Unternehmen Transparenz hinsichtlich der eigenen Nachhaltigkeit auch für regulatorische Anforderungen, zum Beispiel die EU-Taxonomie, die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) und das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG), unerlässlich.

Dieser Beitrag stellt die Nachhaltigkeitsplattform EcoHub vor. Sie ist als serviceorientierter Hub für ein umfassendes Nachhaltigkeitsmanagementsystem in produzierenden Unternehmen konzipiert. Die Plattform erlaubt die zentrale Erfassung von

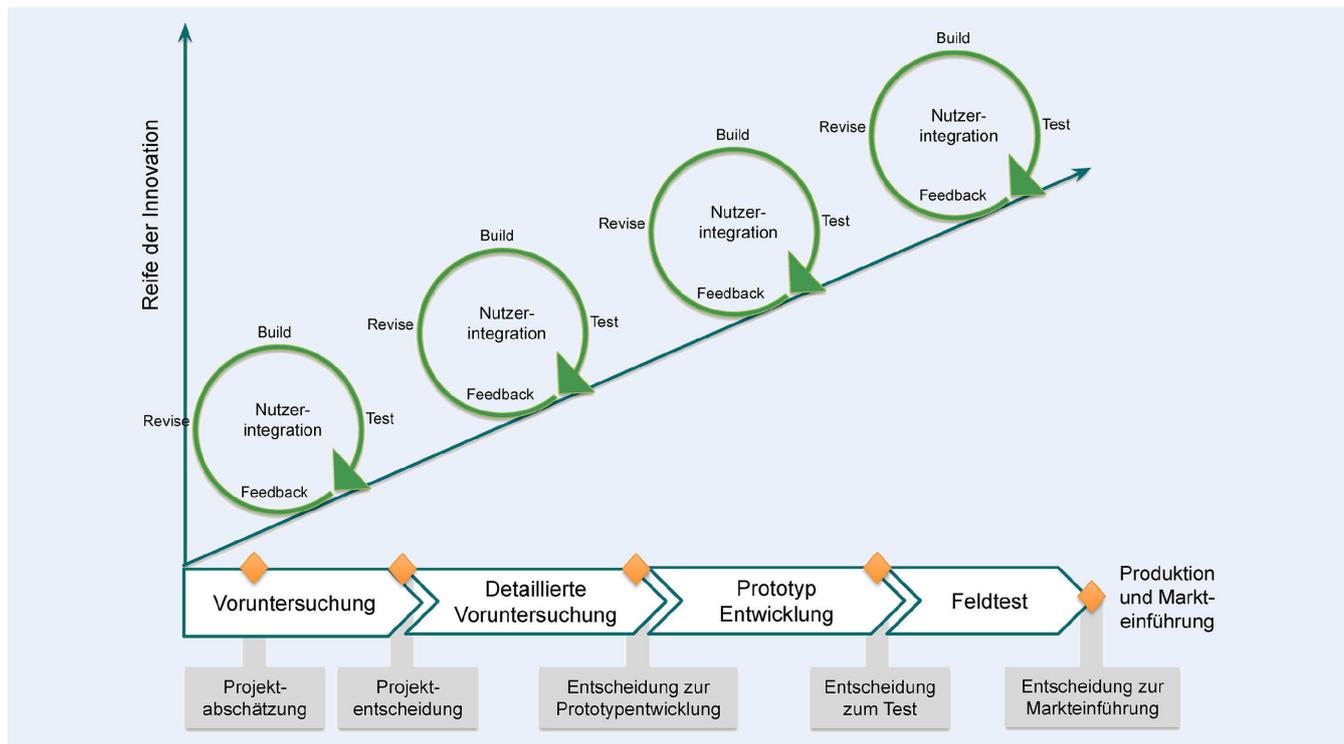


Bild 1. Modell des unternehmerischen Innovationsprozesses im Living Lab. Grafik: [12] in Anlehnung an [15]

Unternehmensdaten im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit unter Berücksichtigung von Aspekten der Datensicherheit und Zugriffsberechtigungen. Sie dient als zentraler Datenspeicher, der weitere Analysen ermöglicht und wertvolles Feedback für das Unternehmen liefert.

Der datenzentrierte Ansatz erlaubt eine fundierte Entscheidungsfindung, um Optimierungsbereiche zu identifizieren und gezielte Nachhaltigkeitsstrategien umzusetzen [5]. Zudem fördert die Digitalisierung die Transparenz und unterstützt die Erfüllung von Rechenschaftspflichten, indem sie den Stakeholdern einen Echtzeitzugang zu Nachhaltigkeitsmetriken und -informationen verschafft. Die Einbeziehung der Digitalisierung in das Nachhaltigkeitsmanagement von Unternehmen ist vielversprechend, um positive Umwelteffekte zu erzielen und die langfristige Widerstandsfähigkeit und Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen zu stärken [2, 10].

Durch die Konsolidierung von Nachhaltigkeitsdaten an einem zentralen Ort verbessert die Plattform die Datenverwaltungspraktiken, sichert die Datenintegrität und erleichtert datengestützte Entscheidungsprozesse. Außerdem stellt sie sicher, dass autorisierte Stakeholder auf die Daten zugreifen können, und fördert so die Zusammenarbeit, Transparenz und Verantwortlichkeit im Nachhaltigkeitsmanagement von Unternehmen [11]. Dabei soll die Plattform es ermöglichen, die Nachhaltigkeitsdaten für unterschiedliche Zwecke zu nutzen.

3 Methode und Anforderungen

Die Entwicklung der EcoHub-Plattform basiert auf dem Living-Lab-Ansatz, einem transdisziplinären, iterativen Innovationsansatz, der die Nutzenden von Beginn an in den Entwicklungsprozess integriert. Der Prozess erfolgt in der Regel in drei Phasen, die sich wiederholen und überschneiden können. In allen

Phasen (Untersuchung und Kontextanalyse, Prototypentwicklung und Feldtest, **Bild 1**) können die Nutzenden die Plattform testen, wertvolles Feedback geben und somit zur (Weiter-)Entwicklung beitragen [12–15].

Bei der Entwicklung des EcoHub werden frühzeitig Experimente und Tests mit Daten aus der realen Unternehmenspraxis durchgeführt, um Fehler und Optimierungsmöglichkeiten erkennen und anpassen zu können sowie die Akzeptanz der Nutzenden zu erforschen. Eine begleitende Evaluation erfolgt anhand eines Evaluationskonzepts, das verschiedene Instrumente zur Bewertung der Use Cases und der Wirksamkeit des EcoHub im Nachhaltigkeitsmanagement sowie zur Validierung des Prototyps verwendet.

Zuvor wurde ein gemeinsamer Visionsprozess durchgeführt, um gemeinsame Ziele und Vorstellungen aller Beteiligten zu integrieren und eine gemeinschaftliche Identität zu schaffen [16]. In einem Visionsworkshops wurde ein 'Backcasting' durchgeführt, bei dem, ausgehend von einer Zukunftsvision, nötige Schritte, Maßnahmen und Prioritäten abgeleitet wurden [16–18]. Dies diente dazu, ein gemeinsames Nachhaltigkeitsverständnis zu schaffen, Schlüsselfunktionen des EcoHub zu identifizieren und dessen potenzielle Services festzulegen. Als Ergebnis des Visionsworkshops entstanden ein Visionsstatement, welches das gemeinsame Verständnis und die Kernaspekte des EcoHub zusammenfasst, sowie eine Liste und Priorisierung von Aspekten des zukünftigen Nachhaltigkeitsmanagements und der EcoHub-Plattform.

3.1 Ermittlung der Use-Case-Anforderungen

Neben Forschungseinrichtungen sind im EcoHub-Projekt Unternehmen vertreten, die spezifische Herausforderungen im Nachhaltigkeitsmanagement einbringen, die mithilfe des EcoHub

gelöst werden sollen. Use Cases und künftige Anwendungsbeispiele sind etwa der Einsatz aggregierter Unternehmensdaten für die Nachhaltigkeitsberichterstattung und die gleichzeitige Überwachung der Abwasserqualität. Ein weiteres Beispiel ist die Ermöglichung eines erhöhten Einsatzes von Rezyklatmaterial im Spritzguss durch die Sammlung von Informationen über die Materialqualität bei Verarbeitern von Rohmaterial und den Austausch dieser Daten mit potenziellen Zweitverwendern.

Die Anforderungen an ein integriertes datenbasiertes Nachhaltigkeitsmanagementsystem wurden gemeinsam mit den Experten aus den Unternehmen in zwei Schritten ermittelt. Zuerst wurden mit Fragebögen die grundlegenden Anforderungen erhoben, gefolgt von Follow-Up-Workshops zur Klärung offener Fragen und zur Detailausarbeitung hinsichtlich Datenquellen, Datentypen, Analysefähigkeiten und Schnittstellen [10]. Das Vorgehen zur Ermittlung der Anforderungen zeigt **Bild 2**.

Die ermittelten Anforderungen lassen sich unterteilen in Anforderungen an die Datenerfassung und Anforderungen an die Datenverarbeitung [10]. Die Anforderungen an die Datenerfassung unterscheiden sich abhängig vom jeweiligen Use Case und können wie folgt zusammengefasst werden: Es müssen Daten zu Energieverbrauch und -versorgung, Logistik, Kohlenstoffemissionen, Materialfluss, Abfall und Produktionsqualität sowie Prozessdaten und Werkzeugdaten ermittelt, übertragen und gespeichert werden. Außerdem muss eine Datenschnittstelle zum unternehmensübergreifenden Datenaustausch bereitgestellt werden [10].

Auch die Anforderungen an die Datenverarbeitung variieren deutlich je nach Use Case. Sie reichen von der einfachen Speicherung und Bereitstellung der erfassten Daten über die Berechnung einfacher KPIs (Key Performance Indicators) bis hin zu dem Wunsch, Prozessdaten zu analysieren, um die Produktionsplanung zu optimieren und die Produktionseffizienz sowie den Energie- und Ressourcenverbrauch zu steigern [10].

4 Pflichtenheft und Umsetzung

Basierend auf den Anforderungen wurde ein Lastenheft erstellt, das die Grundlage für das Pflichtenheft bildet. Dieses ist in zwei Abschnitte aufgeteilt: Der erste Abschnitt spezifiziert die Entwicklung eines umfassenden und flexiblen Datenmodells und die Definition der Datenbankgestaltung und Umsetzung, der zweite Abschnitt definiert die Anforderungen an Datensicherheit und Zugriffsrechte.

Das Datenmodell, als Kern des EcoHub, soll unterschiedliche Datentypen integrieren und eine flexible, erweiterbare Struktur bieten, um sich veränderlichen Anforderungen anzupassen. Es folgt den Grundsätzen:

- Modularer Aufbau: einzelne Komponenten können leicht hinzugefügt, entfernt oder aktualisiert werden.
 - Entitäten und Attribute: Entitäten bilden grundlegende Informationen ab. Sie können durch zusätzliche Attribute ergänzt werden.
 - Erweiterbare Schlüsselkonzepte: flexible Primärschlüssel ermöglichen einfache Integration neuer Datenelemente.
 - Dynamische Beziehungen: Beziehungen zwischen Entitäten sind nicht starr, sondern können dynamisch angepasst werden.
- Die Entwicklung des konzeptionellen Modells beginnt mit der Identifizierung von Hauptobjekten (Entitäten) aus den Use Cases und der Festlegung nötiger Informationen als Attribute für jede Entität. Jede Entität erhält einen Primärschlüssel zur eindeutigen

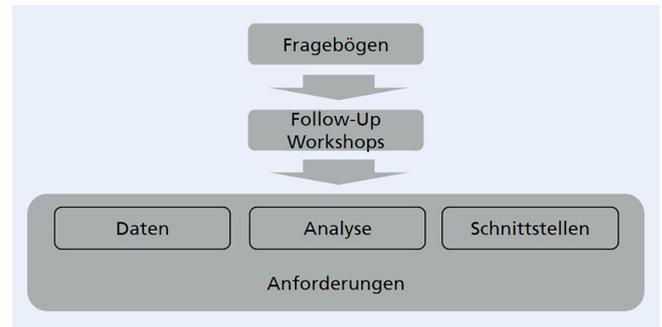


Bild 2. Vorgehen zur Ermittlung der Anforderungen. Grafik: [10]

Identifizierung und die Beziehungen zwischen den Entitäten werden über Foreign Keys definiert.

Das Datenbankmodell wird durch die Beschreibung verschiedener Entitätsklassen und Attribute in Kategorien wie Primärschlüssel, Tags, Verknüpfungen und Messwerte flexibel gehalten. Die Entitäten werden durch den EcoHub abgedeckt oder über bestehende Systeme (etwa Human Resources) bereitgestellt. Die abstrahierten Entitäten lassen sich in sieben Kategorien einteilen: Unternehmensdaten, Auftragsdaten, Daten zu Assets und Produktion, Rohstoffe und Material, Entsorgung, Produktdaten und universale Daten.

Das Datenmodell wird entsprechend dieser Kategorien strukturiert. Aus Darstellungsgründen wird in **Bild 3** exemplarisch die Kategorie Asset- und Produktionsdaten gezeigt und auf die Darstellung aller Relationen zwischen den Entitäten verzichtet. Die Kategorie umfasst Daten zu Energieströmen, Massenströmen, Sensormesswerten und assetspezifischen Informationen wie Wartungsdaten und Störfälle. Eine Gesamtübersicht des Datenmodells ist auf Anfrage erhältlich.

4.1 IT-Infrastruktur und Umsetzung

Für die Anbindung lokaler Betriebsdaten von teilnehmenden Industriepartnern an den EcoHub wird unternehmensseitig eine digitale Schnittstelle via virtuellem oder hardwarebasiertem Server eingerichtet. Die EcoHub-IT/OT-Infrastruktur ist beispielhaft in **Bild 4** abgebildet.

Auf dem Server wird ein Data Access Point (DAP) eingesetzt und fungiert als EcoHub-Gateway. Dieses erfasst mit diversen Konnektoren beispielsweise Sensordaten oder Daten von verbundenen Subsystemen mit industrietypischen Kommunikationsprotokollen (wie OPC-UA, ModBus-TCP, MQTT, SQL, Snap7) und strukturiert diese zur weiteren Verarbeitung (MQTT Message Broker). Ein Ringspeicher sichert die Daten zwischen, bis sie verschlüsselt und validiert in die EcoHub-Datenbank auf den von ConAct betriebenen EcoHub-Servern übermittelt wurden (Uploader). Auf einem DAP können zusätzlich nutzerspezifische Anwendungen mittels Python Skripting implementiert und betrieben werden.

Generell findet die Aufbereitung der Daten auf dem EcoHub-Server statt. Als Zeitseriendatenbank wird in der momentanen Ausbaustufe InfluxDB.v2 verwendet, was den Usern die Möglichkeit gibt, Zugriffe für 3rd-Party-Applications oder 3rd-Party-User via Influx-API bereitzustellen. Der Anwender nutzt anschließend die leistungsstarke, browserbasierte Open-Source-Anwendung Grafana, um Daten für Monitoring, Analyse und Reporting aufzuarbeiten und zu visualisieren.

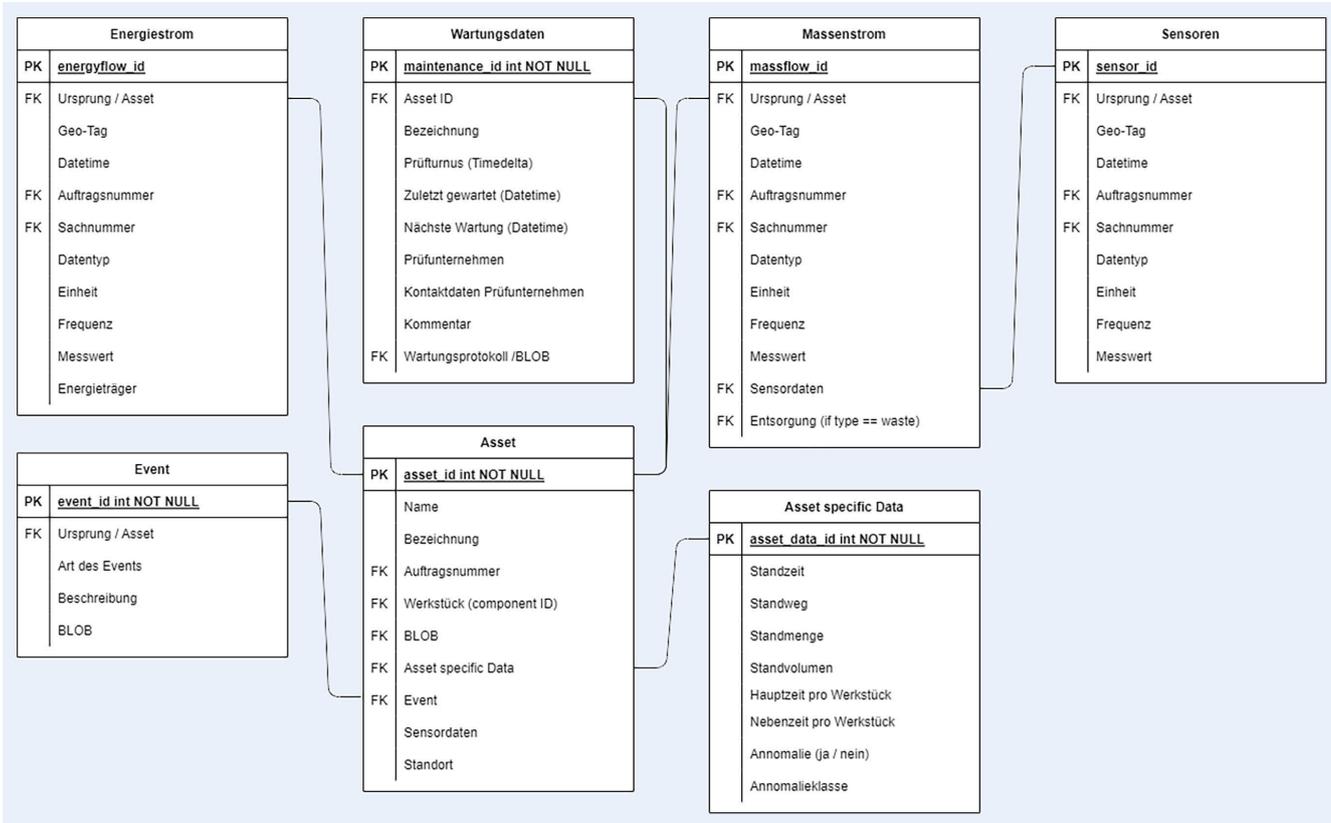


Bild 3. Übersicht über die Entitäten in der Kategorie Asset- und Produktionsdaten. Grafik: Fraunhofer IPA

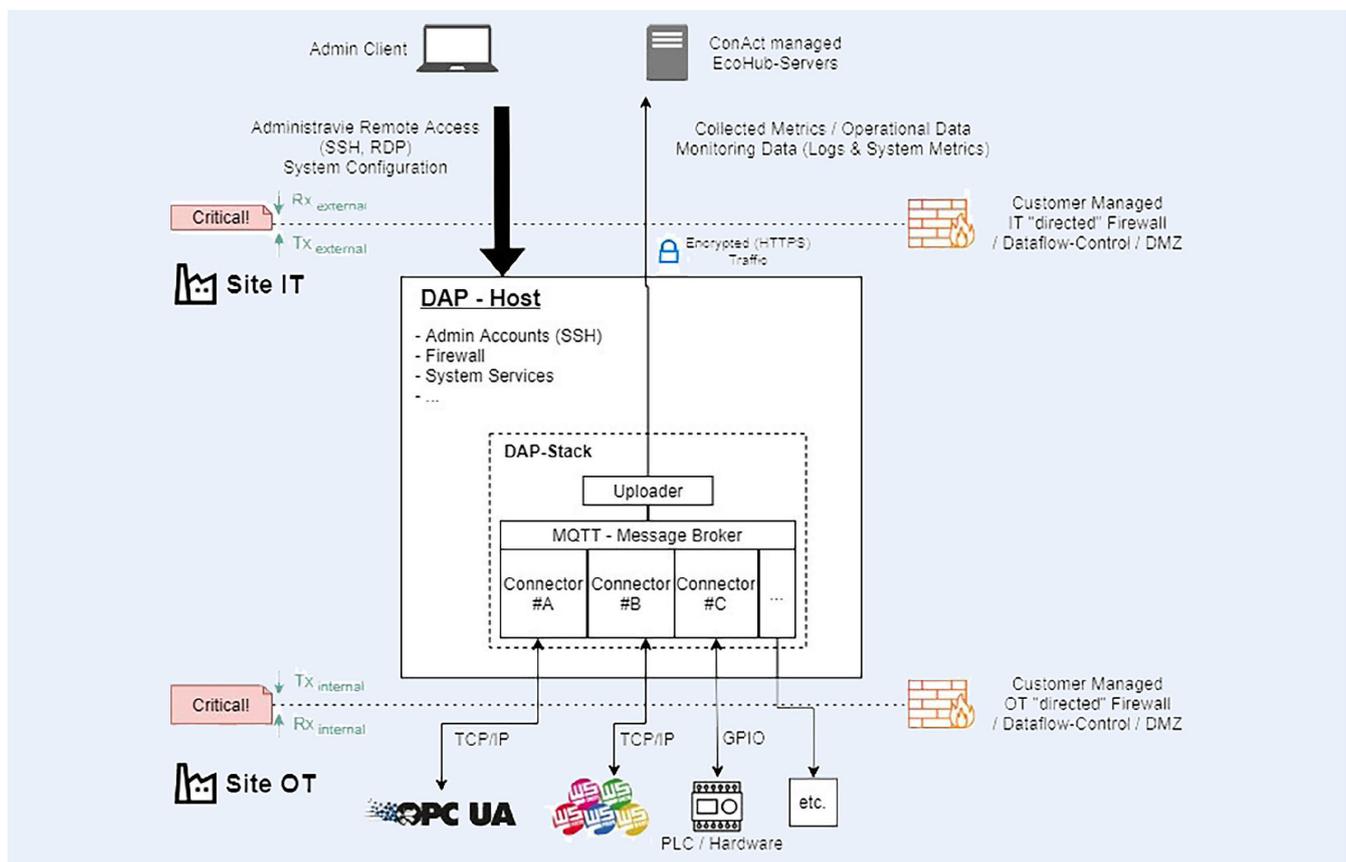


Bild 4. EcoHub-Gateway in kundenseitiger, industrieller IT/OT-Infrastruktur. Grafik: Conact GmbH

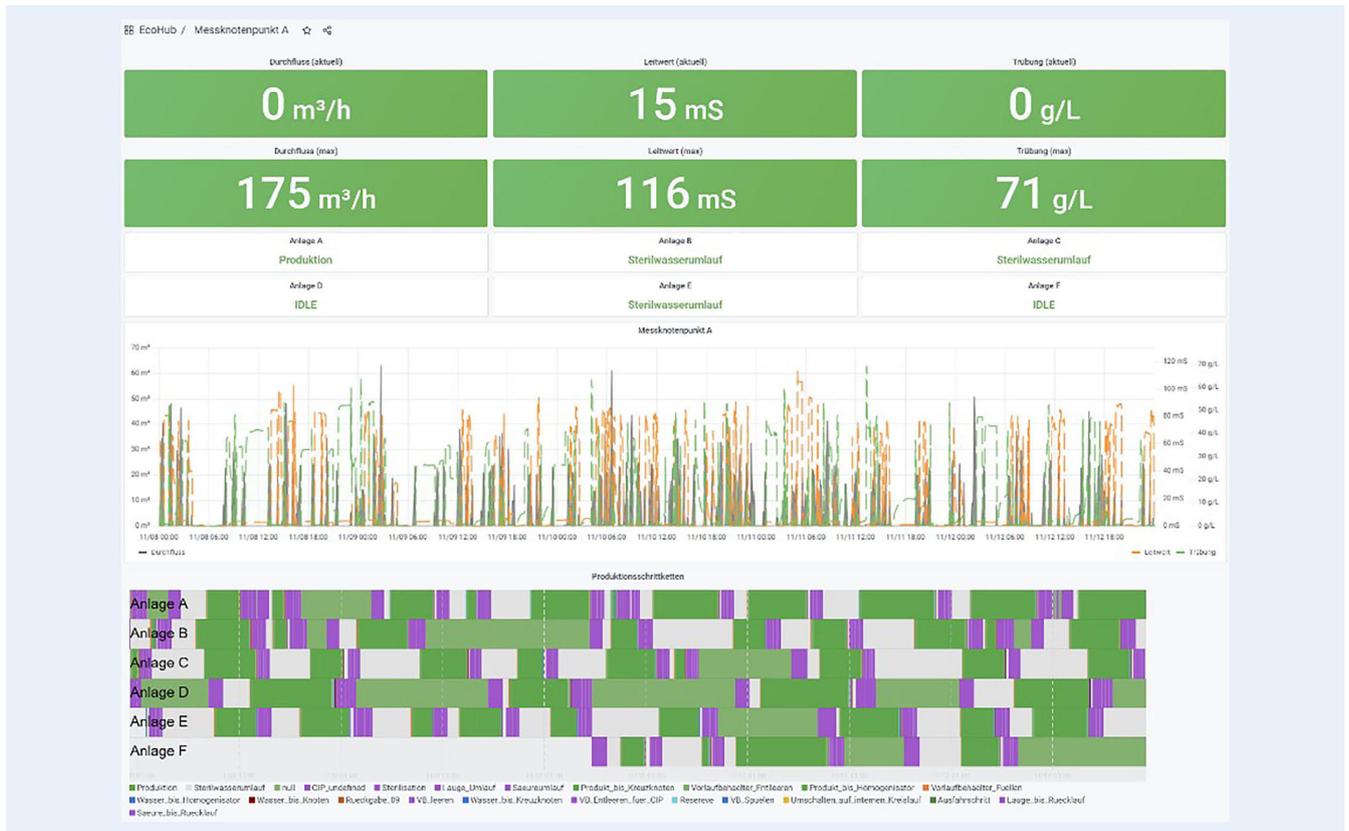


Bild 5. Visualisierung eines EcoHub-Anwendungsfalls zur Frachtreduktion in industriellen Produktionsabwässern. Grafik: Conact GmbH

4.2 IT- und Datensicherheit

Für besondere Datensicherheit basieren soweit möglich alle Software-Komponenten des EcoHub-Gateways im IT-Netz des industriellen Anwenders auf Open-Source-Technologien. Eine IT/OT Absicherung mittels „directed“ Firewall, Dataflow-Control oder die Einbindung des EcoHub-Gateways in eine „demilitarisierte Zone“ (DMZ) wird empfohlen. Der administrative Remote Access auf den DAP hängt von der Infrastruktur des Anwenders ab. Die meisten industriellen Anwender mit einer dedizierten IT-Abteilung stellen den Zugriff über eine verwaltete VPN-Lösung bereit, um die sichere Verbindung zum DAP oder einem vorgelagerten Bastion Host herzustellen. Administrativ notwendiger Datenverkehr zu Konfigurations- und Wartungszwecken geschieht ausschließlich über geloggte SSH/RDP-Verbindungen.

Die EcoHub-Serverinfrastruktur beruht auf reproduzierbarer Server-Konfiguration nach „infrastructure as code“-Philosophie. Ein einheitlicher Backup-Mechanismus sichert die sensiblen Betriebsdaten redundant auf Datenspeichern unterschiedlicher Anbieter. Die Server sind nach den geltenden Best Practices zur Absicherung von Servern eingerichtet und konfiguriert. Zum Einsatz kommen Zwei-Faktor-Authentifizierungen mit hardware-basiertem Yubikey, sowie Viren- und Rootkit-Scanner, eine restriktive Firewall-Konfiguration und fail2ban-Software.

5 Ergebnisse

Bei einem Unternehmen der Lebensmittelindustrie sollte durch EcoHub eine Reduzierung der Belastung (Frachten) von Produktionsabwässern erreicht werden. Aufgrund der hohen Kom-

plexität des Standortes und Abwassernetzes war bisher nur eine reaktive Detektion der frachtverursachenden Produktionseinheit möglich. Mit Sensoren an neuralgischen Messknotenpunkten und deren Einbindung in die EcoHub-Datenerfassung kann nun durch eine Trübung-, Leitwert- und Durchflussmessung Rückschluss auf die Art der Belastung und die Lokation der verursachenden Produktionseinheit getroffen werden. In Bild 5 ist die beispielhafte Visualisierung eines Messknotenpunktes zu sehen. Aktuelle Messwerte sowie der Messwerteverlauf und die Produktionsschrittketten zugehöriger Produktionseinheiten sind dargestellt und erlauben einen ersten visuellen Abgleich zwischen Messwert und Frachtersache.

Bei der folgenden automatisierten Korrelationsanalyse ist ausschlaggebend, ob die Produktionsabwässer beispielsweise von einem regulären Reinigungsvorgang oder einem reinen Produkt-Havariefall herrühren. Der Havariefall führt zu einer rechtzeitigen Alarmierung der unternehmenseigenen Kläranlage und somit zu Einsparungen bei den dort eingesetzten Betriebsmitteln. Zudem kann durch die frühzeitige Detektion einer Havarie die Rohstoffausbeute im Unternehmen deutlich erhöht werden.

Diese ersten Ergebnisse zeigen deutlich, dass der Einsatz des EcoHub-Systems in Unternehmen signifikante Potenziale zur Verbesserung der Nachhaltigkeit bietet. Durch die zentrale Sammlung und Analyse von Nachhaltigkeitsdaten ermöglicht der EcoHub eine präzisere Überwachung und Steuerung von Umweltauswirkungen. Die verbesserte Transparenz und Zugänglichkeit der Nachhaltigkeitsdaten kann das Engagement und das Bewusstsein von Stakeholdern für Umweltfragen stärken. Dies trägt zur Identifizierung und Umsetzung von Effizienzsteigerungen bei, was nicht nur die Umweltbelastung verringert, sondern

auch die Betriebskosten senken kann. Langfristig kann dies zu einer nachhaltigeren Unternehmenskultur führen und die Wettbewerbsfähigkeit in einem zunehmend umweltbewussten Marktumfeld stärken. Insgesamt ist zu erwarten, dass der EcoHub einen wesentlichen Beitrag zur Förderung der nachhaltigen Entwicklung in der Unternehmenswelt leisten wird.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das Projekt EcuHub setzt an der Herausforderung und Notwendigkeit der Digitalisierung in Unternehmen an und legt den Fokus explizit auf das Nachhaltigkeitsmanagement. Ziel des EcoHub ist es, ein umfassendes Nachhaltigkeitsmanagementsystem in Unternehmen zu etablieren, in dem sowohl Unternehmensdaten als auch Nachhaltigkeitsdaten zentral und sicher erfasst, verknüpft und anschließend ausgewertet werden können. Die Daten und die Auswertungsergebnisse können dann zur Einhaltung von Berichtsanforderungen und zur Optimierung der Unternehmensnachhaltigkeit verwendet werden.

Das Forschungsdesign zur Entwicklung des EcoHub basiert auf dem Living-Lab-Ansatz anhand eines co-kreativen Visionsprozesses und einer Anforderungsermittlung mit Experteninterviews und Follow-Up-Workshops. Mit dem darauf aufbauenden Lastenheft und im nächsten Schritt ausgearbeiteten Pflichtenheft ist die Entwicklung des Datenmodells für den ersten EcoHub-Prototyp abgeschlossen.

Im weiteren Projektverlauf wird dieser Prototyp in unterschiedlichen Use Cases in der realen Unternehmenspraxis getestet und evaluiert. Erste Ergebnisse zeigen positive Auswirkungen sowohl bezüglich des ressourcenschonenderen Einsatzes von Betriebsmitteln als auch in Bezug auf die Ressourceneffizienz und Wirtschaftlichkeit. Diese Ergebnisse sind vielversprechend mit Ausblick auf weitere Potenziale des EcoHub, um das Nachhaltigkeitsmanagement und die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen bestmöglich zu unterstützen.

FÖRDERHINWEIS

Das Projekt EcoHub „Serviceorientierter Hub zur Verwertung von Nachhaltigkeitsinformationen für produzierende Unternehmen“ (FKZ 02J20E528) wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Literatur

- [1] Seidel, S.; Recker, J.; vom Brocke, J.: Sensemaking and sustainable practicing. Functional affordances of information systems in green transformations. *Management Information Systems Quarterly* 37 (2013) 4, pp. 1275–1299
- [2] Burritt, R.; Christ, K.: Industry 4.0 and environmental accounting: A new revolution? *Asian Journal of Sustainability and Social Responsibility* 1 (2016) 1, pp. 23–38
- [3] Löser, F.: Strategic information systems management for environmental sustainability. Dissertation, Technische Universität Berlin, 2015
- [4] Schaltegger, S.; Hörisch, J.; Windolph, S. E. et al.: Corporate Sustainability Barometer 2012. Praxisstand und Fortschritt des Nachhaltigkeitsmanagements in den größten Unternehmen Deutschlands. Lüneburg: CSM Centre for Sustainability Management 2012
- [5] Mieke, R.; Waltersmann, L.; Sauer, A. et al.: Sustainable production and the role of digital twins-Basic reflections and perspectives. *Journal of Advanced Manufacturing and Processing* 3 (2021) 2, doi.org/10.1002/amp2.10078
- [6] Baumgartner, R. J.; Ebner, D.: Corporate sustainability strategies: sustainability profiles and maturity levels. *Sustainable Development* 18 (2010) 2, pp. 76–89
- [7] Dagilene, L.; Štutiene, K.: Corporate sustainability accounting information systems: a contingency-based approach. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal* 10 (2019) 2, pp. 260–289
- [8] Böhner, J.; Scholz, M.; Franke, J. et al.: Integrating digitization technologies into resource efficiency driven industrial learning environments. *Procedia Manufacturing* 23 (2018), pp. 39–44
- [9] Junker, H.; Farzad, T.: Towards Sustainability Information Systems. *Procedia Computer Science* 64 (2015), pp. 1130–1139
- [10] Koch, D.; Waltersmann, L.; Sauer, A.: A Service-Oriented Sustainability Platform-- Basic Considerations to Facilitate a Data-Based Sustainability Management System in Manufacturing Companies. In: Liewald, M.; Verl, A.; Bauernhansl, T. et al. (eds.): *Production at the Leading Edge of Technology*. WGP 2022. Cham: Springer International Publishing 2023, pp. 791–798
- [11] Moutchnik, A.: The maturity model for corporate environmental management. *uwf UmweltWirtschaftsForum* 23 (2015) 4, pp. 161–170
- [12] von Geibler, J.; Echternacht, L.; Stadler, K. et al.: Nachhaltigkeitsanforderungen und -bewertung in Living Labs: Konzeption eines Bewertungsmodells. Arbeitspapier im Arbeitspaket 2 (AS 2.1) im INNOLAB Projekt „Living Labs in der Green Economy: Realweltliche Innovationsräume für Nutzerintegration und Nachhaltigkeit“. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie 2016
- [13] Meurer, J.; Erdmann, L.; Geibler, J. von et al.: Arbeitsdefinition und Kategorisierung von Living Labs. Stand: 2015. Internet: www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccv/2015/INNOLAB_9_Living-Lab-Definition.pdf. Zugriff am 31.01.2024
- [14] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: Living Labs für nachhaltige Entwicklung. Potenziale einer Forschungsinfrastruktur zur Nutzerintegration in der Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen. Stand: 2013. Internet: epub.wupperinst.org/files/4950/WS47.pdf. Zugriff am 31.01.2024
- [15] Cooper, R. G.: Top oder Flop in der Produktentwicklung. Erfolgsstrategien: von der Idee zum Launch. Weinheim: Wiley-VCH Verlag 2010
- [16] Wiek, A.; Iwaniec, D.: Quality criteria for visions and visioning in sustainability science. *Sustainability Science* 9 (2014) 4, pp. 497–512
- [17] Broman, G. I.; Robèrt, K.-H.: A framework for strategic sustainable development. *Journal of Cleaner Production* 140 (2017), pp. 17–31
- [18] Robinson, J.; Burch, S.; Talwar, S. et al.: Envisioning sustainability: Recent progress in the use of participatory backcasting approaches for sustainability research. *Technological Forecasting and Social Change* 78 (2011) 5, pp. 756–768



Raphaela Camargo Garcia,
M.Sc. 

Foto: Fraunhofer IPA

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing.
David Koch, M.Sc. 

Sebastian Schmid, M.Sc. 

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung IPA
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
Tel. +49 711 / 970-3512
raphaela.camargo.garcia@ipa.fraunhofer.de
www.ipa.fraunhofer.de 

Dipl.-Ing. Ralf Tesch, MBA

Dr.-Ing. Marc Runde

Conact GmbH
An der Goldgrube 43, 55131 Mainz
Tel. + 49 6131 / 33 997-0
welcome@conact.zone

Julia Brandt, M.Sc.

Annalena Präger, M.Sc.

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH
Döppersberg 19, 42103 Wuppertal
Tel. +49 202 / 2492-299
julia.brandt@wupperinst.org
https://wupperinst.org 

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)