



Das Reverdi-Forschungsteam traf sich an der BFH.

Bild: Matthias Sahli

Digitalisierung und Umwelt

Warum das Zusammenspiel von digitaler und physischer Infrastruktur entscheidend ist

Jan Bieser, Matthias Sahli

Die Digitalisierung bietet beträchtliche Potenziale, um Energieverbrauch und Emissionen zu reduzieren. Ob diese Potenziale jedoch realisiert werden, hängt entscheidend davon ab, wie digitale Technologien in bestehende physische Infrastrukturen eingebettet und ob sie konsequent an ökologischen Nachhaltigkeitszielen ausgerichtet werden. Erst wenn das Zusammenspiel von digitaler und physischer Welt strategisch gestaltet wird, können die positiven Effekte der Digitalisierung die negativen übertreffen.

Es gibt diverse Beispiele solcher positiven Effekte: Durch die intelligente Automatisierung von Produktionsprozessen lässt sich Energie sparen, Videokonferenzen ermögli-

chen den Austausch mit Kollegen und Freunden ohne Reisen, und das Online-Lesen von Zeitungen reduziert den Papierverbrauch. Digitale Technologien eröffnen grundsätzlich vielfältige Chancen für den Umweltschutz. Gleichzeitig gibt es jedoch immer wieder Berichte über den hohen Energieverbrauch von Technologien wie künstlicher Intelligenz oder Blockchain. Doch was stimmt? Unterstützt uns die Digitalisierung dabei, Umweltschutzziele zu erreichen, oder erschwert sie dies sogar?

Tendenziell nimmt der Einsatz digitaler Systeme in Unternehmen kontinuierlich zu, jedoch bleibt oft unklar, ob gleichzeitig auch die physischen Infrastrukturen reduziert

IN
KÜRZE



werden. Wird dies versäumt, steigt die Gefahr, dass Energieverbrauch, Emissionen und Kosten steigen. Beispiele: Videokonferenzen erzeugen zunächst höheren Datenverkehr und führen nur dann zu Einsparungen, wenn Reisen tatsächlich vermieden werden, was mehr von den Reiserichtlinien abhängt als von der Technologie. Das Arbeiten im Homeoffice spart vor allem dann Energie und Kosten, wenn gleichzeitig Büroflächen reduziert werden. Ebenso senkt der Einsatz von KI-Tools zur Steuerung energieintensiver Prozesse nur dann den Energieverbrauch, wenn damit auch Effizienzgewinne erzielt werden. Fakt ist: Digitale und physische Infrastrukturen stehen in einer komplexen Wechselwirkung zueinander. Die Reduktion von Umweltbelastungen und Kosten hängt davon ab, wie diese gestaltet und aufeinander abgestimmt werden.

Der Fussabdruck digitaler Technik

Die Herstellung, der Betrieb und die Entsorgung digitaler Technologien verursachen Umweltbelastungen, die als ökologischer Fussabdruck bezeichnet werden. Aktuell ist der ICT-Sektor für etwa 1,5 bis 4% der globalen Treibhausgasemissionen verantwortlich, mit steigender Tendenz [1]. In besonders digitalisierten Regionen können die Werte sogar noch höher liegen. So könnten in Irland im Jahr 2027 über 30% des gesamten Strombedarfs auf Rechenzentren entfallen [2]. In der Schweiz wird geschätzt, dass dieser Anteil bis 2030 bei 15% liegen könnte [3].

Nicht nur der Betrieb digitaler Technologien, sondern auch ihre ressourcen- und energieintensive Herstellung stellt eine erhebliche Belastung für die Umwelt dar. Eine im Fachjournal «Resources Policy» veröffentlichte Studie zeigt, dass für die Herstellung moderner ICT-Geräte mehr als die Hälfte aller Elemente des Periodendystems benötigt wird [4]. Hinzu kommt, dass in vielen Ländern, in denen Hardware produziert wird, nach wie vor fossile Energieträger verwendet werden, was die Emissionen zusätzlich in die Höhe treibt.

Angesichts der wachsenden Bedeutung digitaler Infrastrukturen wird es für Unternehmen immer entscheidender, den ökologischen Fussabdruck ihrer ICT zu reduzieren. Zentrale Massnahmen hierfür sind das Rightsizing der Infrastruktur, die Verlängerung der Nutzungsdauer von Geräten sowie der Einsatz erneuerbarer Energien im Betrieb. Beispielsweise wird der gerade eröffnete KI-Supercomputer Alps in Lugano mit Seewasser gekühlt.

Da ICT zunehmend über Service-Provider, wie beispielsweise Cloud-Anbieter, bezogen wird, sollten bei deren Auswahl auch Nachhaltigkeitskriterien eine wichtige Rolle spielen. Dadurch gewinnt die Beschaffungsabteilung eine Schlüsselposition in der Nachhaltigkeitsstrategie des Unternehmens und sollte gezielt Kompetenzen für eine umweltfreundliche ICT-Beschaffung aufbauen.

Der Handabdruck der Digitalisierung

Der Handabdruck der Digitalisierung steht für die Umweltschuttpotenziale, die durch digitale Anwendungen in verschiedenen Bereichen realisiert werden können. Eine Studie des IT-Verbands Bitkom schätzte, dass digitale Technologien helfen können, bis 2030 in Deutschland mehr als 70 Megatonnen CO₂ einzusparen [5] – das sind etwa 10% der Emissionen von 2022. Beispiele hierfür sind die intelligente Steuerung von Heizungsanlagen in Gebäuden, die Optimierung von Verkehrsströmen, die Reduktion von Reisen durch Videokonferenzen sowie Effizienzsteigerungen in der Landwirtschaft, für die Sensoren genutzt werden, um den Zustand von Pflanzen und Tieren kontinuierlich zu überwachen.

Doch zunächst handelt es sich dabei nur um theoretische Potenziale, die durch gezielte Massnahmen erschlossen werden müssen. In der Landwirtschaft trägt Digitalisierung vor allem dann zur Emissionssenkung bei, wenn sie einen Wandel hin zu pflanzenbasierter Ernährung unterstützt. Im Verkehr entfaltet sie ihr Potenzial, wenn geteilte Mobilität attraktiver gemacht wird als individualisierter Verkehr. Werden diese Hebel nicht konsequent genutzt, besteht die Gefahr, dass digitale Infrastrukturen lediglich zusätzlich aufgebaut werden, ohne die angestrebten Umweltschuttpotenziale auszuschöpfen.

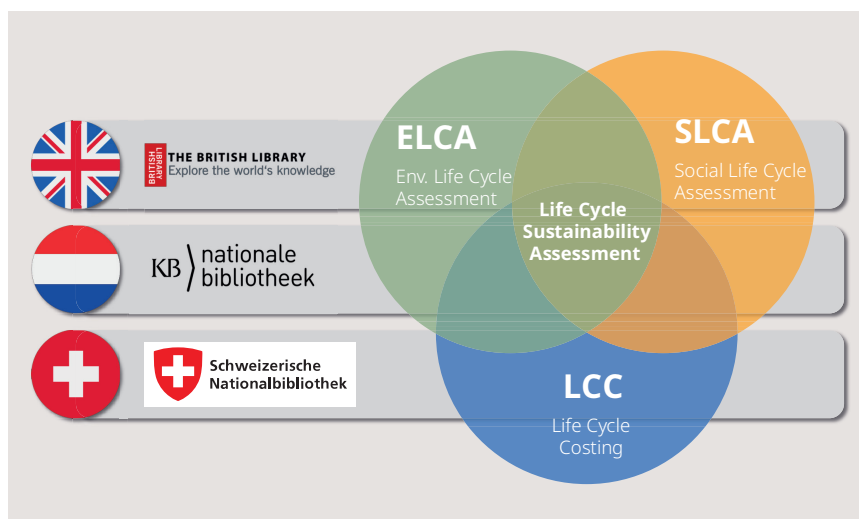


Bild 1 Forschungsansatz des Reverdi-Projekts zur Analyse von Nachhaltigkeitsaspekten physischer und digitaler Infrastrukturen von Nationalbibliotheken mittels LCSA.

Bild: Jan Bieser, Matthias Sahli



Bild 2 Nationalbibliotheken wie die Schweizerische Nationalbibliothek in Bern betreiben energieintensive Gebäude und Archivsysteme. Die Optimierung dieser Infrastruktur ist ein zentraler Hebel für mehr Nachhaltigkeit. Bild: Matthias Sahli

Das Zusammenspiel physischer und digitaler Infrastrukturen optimieren

Ein anschauliches Beispiel für diese Problematik sind Nationalbibliotheken. Viele von ihnen erweitern ihre digitalen Bestände durch E-Books oder digitale Zeitschriften, müssen jedoch aufgrund ihres gesetzlichen Auftrags weiterhin Publikationen in physischer Form aufbewahren. Diese parallele Bestandshaltung führt zu höheren Kosten, einem gesteigerten Energieverbrauch und zusätzlichen CO₂-Emissionen. Daher ist es entscheidend, physische und digitale Infrastrukturen zusammen zu betrachten.

Wie dies gelingen kann, wird in einem gemeinsamen Projekt der Berner Fachhochschule, der Schweizerischen Nationalbibliothek (Bild 2) und internationalen Partnern untersucht. Das vom Belmont Forum und dem Schweizerischen Nationalfonds geförderte Projekt mit dem Titel Real-Versus-Digital (Reverdi) (Eigenschreibweise ReVerDi) [6] hat das Ziel, Empfehlungen für einen optimalen Infrastruktur-Mix zu entwickeln, der wirtschaftlich tragfähig ist, den Zugang zu Sammlungen verbessert und CO₂-Emissionen reduziert. Dabei kommt der Ansatz des «Life Cycle Sustainability Assessment» (LCSA) zum Einsatz, um die Infrastrukturen von Nationalbibliotheken in der Schweiz, im Vereinigten Königreich und in den Niederlanden zu analysieren. LCSA ist ein interdisziplinärer Forschungsansatz, der ökologische, soziale und wirtschaftliche Auswirkungen untersucht, Zielkonflikte aufzeigt und Lösungsansätze bietet. Eine Übersicht über den im Reverdi-Projekt verwendeten Forschungsansatz sowie die Einbettung von LCSA zeigt Bild 1.

Erste Ergebnisse des Projekts zeigen, dass die Umweltwirkungen nationaler Bibliotheken stark

von der baulichen Infrastruktur und den genutzten Energiesystemen geprägt sind. Gebäude und deren Energieversorgung verursachen einen erheblichen Teil der Emissionen. Gleichzeitig spielen indirekte Effekte entlang der Lieferketten, etwa durch Beschaffung von Technik oder Spezialausrüstung, eine wichtige Rolle.

Zudem deutet sich an, dass Skaleneffekte erheblichen Einfluss haben: Grosse Einrichtungen können durch automatisierte Hochregallager und effiziente Betriebsstrukturen ihre Umweltbelastung pro archiviertem Objekt deutlich senken. Gleichzeitig eröffnet die Digitalisierung neue Möglichkeiten, kulturelles Erbe breiter zugänglich zu machen, ohne dass physische Reisen in die Bibliotheken oder zusätzliche Gebäudeinfrastruktur im gleichen Umfang notwendig sind.

Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass Digitalisierung die physische Infrastruktur nicht ersetzt, sondern häufig auch ergänzt. Digitale Bestände basieren ihrerseits auf Rechenzentren, Netzwerken und Endgeräten. Entscheidend ist daher nicht die Frage «analog oder digital», sondern wie beide Systeme strategisch aufeinander abgestimmt werden. Beispielsweise können kompakte, energieeffiziente Archivlösungen mit gezielter (selektiver) Digitalisierung besonders stark nachgefragter Inhalte kombiniert werden. Spezifisch im Kontext der digitalen Archivierung ist ausserdem relevant, wie viele (Sicherheits-) Kopien und in welchen Formaten (Speicherplatz-intensive Archivierungsformate oder kleinere «Präsentationspakete») sie angelegt werden. Kleinere Anpassungen oder Optimierungen können bereits erhebliche Einsparungen beim Speicherplatzbedarf bewirken.

Das Projekt verdeutlicht damit exemplarisch, dass Nachhaltigkeitspotenziale nicht allein durch Technologie entstehen, sondern durch systemische Optimierung des gesamten Infrastruktur-Mixes.

Digitalisierung und Nachhaltigkeit zusammen denken

Die Digitalisierung kann Unternehmen und Gesellschaft nur dann wirksam auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Zukunft begleiten, wenn sie darauf abzielt, Umweltbelastungen in der physischen Welt zu reduzieren und gleichzeitig bestrebt ist, den digitalen Fussabdruck möglichst gering zu halten. Das heisst: Digitalisierung darf kein Selbstzweck sein, sondern muss konsequent an Umweltschutzziele ausgerichtet werden. Unternehmen sollten zunächst klären, welche Massnahmen notwendig sind, um Nachhaltigkeitsziele zu erreichen, und erst

danach, wie digitale Technologien diese Veränderungen optimal unterstützen können. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Nachhaltigkeits- und Digitalisierungsabteilungen und eine Verknüpfung ihrer Strategien.

Die vorläufigen Ergebnisse aus dem Reverdi-Projekt unterstreichen diese Erkenntnis. Sie zeigen, dass weder rein physische noch rein digitale Lösungen automatisch nachhaltiger sind. Vielmehr entstehen ökologische Vorteile dort, wo Infrastruktur-entscheidungen langfristig, integriert und auf Systemebene getroffen werden. Gebäude- und Energieplanung, Digitalisierung von Beständen und Nutzerzugang müssen gemeinsam gedacht werden.

Referenzen

- [1] Jan Bieser et al., «A review of assessments of the greenhouse gas footprint and abatement potential of information and communication technology», *Environmental Impact Assessment Review*, 99, 1–12, 2023. doi.org/10.1016/j.eiar.2022.107033
- [2] Christian Wingeier, «Big Tech braucht in Irland fast so viel Strom wie die Bevölkerung», *Inside IT*, 24. Juli 2024.
- [3] www.srf.ch/news/dialog/energie-fuer-die-digitale-welt-hohe-dichte-an-rechenzentren-bringt-schweizer-stromnetz-ans-limit
- [4] Britta Bookhagen et al., «Metallic resources in smartphones», *Resources Policy* Vol. 68, 2022.
- [5] www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Klimaeffekte-Digitalisierung-70-Millionen-Tonnen-CO2-einsparen
- [6] www.bfh.ch/de/forschung/forschungsprojekte/2024-187-880-510/

Autoren

Prof. Dr. Jan Bieser ist Assistenzprofessor für Digitalisierung und Nachhaltigkeit und Leiter der Fachgruppe Data + Infrastructure an der BFH.

> BFH, 3005 Bern
> jan.bieser@bfh.ch

Dr. Matthias Sahli ist Postdoktorand an der BFH im Departement Wirtschaft.
> matthias.sahli@bfh.ch

Digitalisation et environnement

Pourquoi l'interaction entre les infrastructures numériques et physiques est déterminante

La digitalisation offre un potentiel considérable pour réduire la consommation d'énergie et les émissions. Toutefois, la concrétisation de ce potentiel dépend de la manière dont les technologies numériques sont intégrées aux infrastructures physiques existantes et de la mesure dans laquelle elles sont systématiquement alignées sur des objectifs de durabilité écologique. Ce n'est que lorsque l'interaction entre le monde numérique et le monde physique est conçue de manière stratégique que les effets positifs de la digitalisation peuvent surpasser ses effets négatifs.

Les bibliothèques nationales constituent un exemple parlant de cette problématique. Nombre d'entre elles enrichissent leurs collections numériques avec des livres électroniques ou des revues en ligne, tout en étant contraintes, en vertu de leur mission légale, de continuer à conserver les publications sous forme physique. Cette coexistence partielle des données entraîne des coûts plus élevés, une consommation d'énergie accrue et des émissions supplémentaires de CO₂. Considérer conjointement les infrastructures physiques et numériques est donc essentiel.

La manière d'y parvenir est étudiée dans le cadre d'un projet mené par la Haute école spécialisée bernoise, la Bibliothèque nationale suisse et des partenaires internationaux. Intitulé «Real-Versus-Digital» (Reverdi) et soutenu par le Belmont Forum et le Fonds national suisse, ce projet a pour objectif de formuler des recommanda-

tions pour une combinaison optimale d'infrastructures qui soit économiquement viable, améliore l'accès aux collections et réduise les émissions de CO₂. Pour ce faire, l'approche du «Life Cycle Sustainability Assessment» (LCSA) est utilisée pour analyser les infrastructures des bibliothèques nationales en Suisse, au Royaume-Uni et aux Pays-Bas. Le LCSA examine les impacts écologiques, sociaux et économiques, met en évidence les conflits d'objectifs et propose des pistes de solution.

La digitalisation ne peut accompagner efficacement les entreprises et la société vers un avenir plus durable que si elle vise à réduire les impacts environnementaux dans le monde physique tout en s'efforçant de minimiser sa propre empreinte écologique. Elle ne doit pas être une fin en soi, mais doit être systématiquement orientée vers des objectifs de protection de l'environnement. Les entreprises devraient donc d'abord déterminer quelles mesures sont nécessaires pour atteindre leurs objectifs de durabilité, et seulement ensuite examiner comment les technologies numériques peuvent soutenir au mieux ces transformations. Les résultats préliminaires du projet Reverdi confirment ce constat. Ils montrent que ni les solutions purement physiques ni les solutions entièrement numériques ne sont automatiquement plus durables. Des avantages écologiques apparaissent plutôt lorsque les décisions en matière d'infrastructure sont prises dans une perspective à long terme, de manière intégrée et à l'échelle des systèmes.