















Tabelle 1 Digitale Schlüsseltechnologien für Nachhaltigkeit

Relevante Schlüsseltechnologien	IKT gesamt 	IoT 	KI & Big Data 	Blockchain 
Funktionsweise 	IKT umfasst alle relevanten Soft- und Hardware-Infrastrukturen der Telekommunikation und ist Basis für digitale Anwendungen (Server, Rechenzentren, digitale Endgeräte wie Handys und Laptops, etc). Effektive Bereitstellung von Vernetzungs-, Kommunikations- und Transaktionsmöglichkeiten, z.B. durch digitale Infrastruktur	Vernetzung physischer und virtueller Objekte unter Verwendung von digitaler Sensorik und Aktorik. Durch automatische Identifikation, Fernüberwachung und Fernsteuerung können relevante Daten bereitgestellt und integriert werden sowie Prozesse optimiert werden. Dadurch können der Einsatz von Ressourcen und der Energieverbrauch reduziert werden.	Algorithmische Verarbeitung großer Mengen an Daten z. B. für präzisere Prognosen in der Klimaforschung und zur effizienteren Vorhersage von Umweltereignissen im Bereich der Klimaanpassung. Effizienterer Einsatz von Ressourcen durch intelligente Systemsteuerung	Digitale und dezentrale Durchführung von (Kleinst-) Transaktionen Erleichterte Regulierung und Monitoring (z. B. Emissionshandel) durch Manipulationssicherheit, Irreversibilität, Dezentralität & Transparenz
Ausgewählte Anwendungsbeispiele 	Vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, z.B.: <ul style="list-style-type: none"> • Vernetzung digitaler Geräte • Kommunikation und Informationsvermittlung • Ermöglichung von Homeoffice sowie digitalen Besprechungen und Konferenzen mithilfe digitaler (Video-)Kommunikation 	<ul style="list-style-type: none"> • Smart Home & Smart Buildings • Smart Metering & preisdynamische Tarife • Smart Charging & virtuelle Kraftwerke • Sensorik und Drohnen für automatisierte Landmaschinensysteme und Daten für Präzisionslandwirtschaft • Smart Factory & Industrial Internet of Things 	<ul style="list-style-type: none"> • Verschiedenste Arten von Prognosen (z. B. Wetter, Stromerzeugung, Anlagenzustand/ Wartungsbedarfe oder Energieflüsse) • KI-Nutzung zur Modellierung und Simulation in der Klimaforschung • KI-gestützte Datenanalysen & Management-Informationssysteme 	<ul style="list-style-type: none"> • Herkunftsnachweise von Erneuerbaren Energien (Labeling) • Stammdatenregister von Erneuerbare-Energien-Anlagen • Peer-to-Peer-Stromhandel & Smart Contracts für Abwicklung von Transaktionen
Umweltchancen 	<ul style="list-style-type: none"> • Effizienzsteigerung, Substitutionseffekte & Ressourceneinsparungen durch digitale IKT-Dienstleistungen • Verringerung von Emissionen durch Vermeidung von Flugreisen, Pendelverkehr und anderer Formen der Mobilität 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringerer Energieverbrauch durch Monitoring und Automatisierung, z. B. von Energiesystemen • Optimierter Einsatz von Speichern, Verbrauchern und Erzeugern sowie Ressourcen wie etwa Boden, Energie und Wasser • Geringerer Netzausbau- und Wartungsbedarf • Geringerer Einsatz von Düngemitteln & Optimierung von Erntevorgängen • Ressourcenschonung durch Optimierung von Produktionsprozessen 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringerer Material- und Energieverbrauch durch intelligente Steuerung, Nutzung und Wartung von Energiesystemen • Verbesserung der Klimaforschung, z. B. validere Prognosen von Klimaereignissen • Optimierter Einsatz von Ressourcen wie etwa Boden, Energie und Wasser • Großes Potenzial im Bereich der Klimaanpassung durch verbesserte (Wetter-) Prognosen 	<ul style="list-style-type: none"> • Effizientere Informationsbereitstellung durch Wegfall von Intermediären bei Geschäftsprozessen • Unterstützung bei Regulierung und Monitoring (z. B. Verwaltung des Emissionshandels)

<p>Umweltrisiken</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Zunahme des Energieverbrauchs durch erhöhte IKT-Nachfrage und Datenströme • Risiko für Rebound- und Obsoleszenz-Effekte durch komplexe Wechselwirkungen und Verhaltensänderungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Großflächiger Roll-out digitaler Infrastrukturen und damit verbundener Energie- und Ressourcenverbrauch • Erhöhte Netzbelastung durch gleichzeitige Ansteuerung vieler technischer Einheiten • Rebound-Effekte können Ressourceneinsparungen entgegenwirken 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Energie- und Ressourcenbedarf für Datenspeicherung und -verarbeitung, insbes. KI-Training und -Anwendung sowie in der Forschung 	<ul style="list-style-type: none"> • Potenziell hoher Energie- und Ressourcenbedarf der Blockchain könnte mögliche Einsparungen (Umweltchancen) überwiegen
<p>Effekte auf THG-Emissionen</p> 	 <p>Produktion und Nutzung digitaler Geräte sind für bis zu 4% der globalen THG-Emissionen verantwortlich. TGH-Einsparungen z. B. durch Effizienzsteigerungen werden global betrachtet verringert durch Auslagerung der energieintensiven Produktion digitaler Geräte</p>	 <p>Positiver Effekt durch reduzierten Energieverbrauch und vermiedene Abregelung von erneuerbaren Energien</p>	 <p>Positiver Effekt durch erhöhte Lebensdauer oder optimierten Ertrag von Energietechnologien</p>	 <p>Gesamteffekt unklar, da indirektem Potenzial durch Ermöglichung und effizientere Abwicklung von Geschäftsprozessen, ein potenziell hoher Energiebedarf der Blockchain gegenübersteht</p>
<p>Studienlage: Quantifizierung von Umweltwirkungen</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Studienlage mit Blick auf den allgemeinen Zusammenhang zwischen IKT und CO₂-Emissionen • Schwierigkeiten, komplexe Folgen wie Rebound- und Obsoleszenz-Effekte quantitativ zu erfassen 	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Studienlage für Smart Home & Buildings, Smart Metering und Smart Charging; übrige Anwendungen in Energiewirtschaft kaum untersucht • Im Bereich Landwirtschaft und Tierhaltung vor allem Case Studies außerhalb Deutschlands • Häufig keine Berücksichtigung der Auswirkungen der Produktion und Nutzung von IoT-Technologien (direkte Effekte) oder von Rebound-Effekten 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenige spezifische Studien zu KI und Big Data im Energiebereich • Positive Netto-Wirkung bei prognosegesteuerten Energieanlagen • KI als potenziell disruptive Technologie im Bereich Klimaanpassung, Ausmaß der Umwelteffekte aber noch unklar 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine spezifischen (quantitativen) Studien zu Blockchain im Energiebereich vorhanden • Allgemeine Studien zeigen signifikante Energiebedarfe für Blockchain-Anwendungen wie Kryptowährungen • Unklar, ob Ressourcenverbrauch die potenziellen Einsparungen durch Blockchain überwiegt