

Nachhaltige Digitalregion Rheinisches Revier

Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier: Mögliche Folgeeffekte der Ansiedlung



Auftraggeber

Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes
Nordrhein-Westfalen (MWIKE NRW)
Berger Allee 25
40213 Düsseldorf

Auftragnehmer

VDI Technologiezentrum GmbH
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Unterauftragnehmer

RWI – Leibniz-Institut für
Wirtschaftsforschung e.V.
Hohenzollernstraße 1-3
45128 Essen

PRAC Bergs u. Issa
Partnerschaftsgesellschaft
Im Hopfengarten 19 B
65812 Bad Soden a. Ts.

Projektteam

Dr. Oliver Arentz, VDI Technologiezentrum GmbH
Dr. Katharina Friz, VDI Technologiezentrum GmbH
Jascha Lennefer, VDI Technologiezentrum GmbH
Moritz Timm, VDI Technologiezentrum GmbH
Dr. Uwe Neumann, RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung e. V.
Dr. Michael Rothgang, RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung e. V.
Dr. Rolf Bergs, PRAC Bergs u. Issa Partnerschaftsgesellschaft

Inhalt

Management-Summary	5
Einleitung	7
Kapitel 1: Einordnung – Rechenzentren und ihre Bedeutung in Deutschland und Europa	11
1.1 Beispiel Rechenzentren in der Rhein-Main-Region: Wirtschaftsfaktor und Herausforderung bzgl. Umwelt	13
Kapitel 2: Wirkebene Produktivität/Wertschöpfung, Innovationen und Gründungen	26
2.1 Einschätzung auf Basis vorhandener Untersuchungen	26
2.2 Welche Ausgangslage und Perspektiven kennzeichnen die Region nach Einschätzung von Expert:innen? (Ergebnisse der Interviews)	46
2.3 Erfolgsindikatoren in Wirkebene Produktivität/ Wertschöpfung, Innovationen und Gründungen	58
2.4 Handlungsempfehlungen zur Wirkebene Produktivität/ Wertschöpfung, Innovationen und Gründungen	66
Kapitel 3: Wirkebene Beschäftigung und Löhne	69
3.1 Einschätzung auf Basis vorhandener Untersuchungen	69
3.2 Welche Ausgangslage und Perspektiven Kennzeichnen die Region nach Einschätzung von Expert:innen? (Ergebnisse der Interviews)	80
3.3 Erfolgsindikatoren in Wirkebene Beschäftigung und Löhne	87
3.4 Handlungsempfehlungen zur Wirkebene Beschäftigung und Löhne	90
Kapitel 4: Wirkebene Infrastruktur und digitales Ökosystem	92
4.1 Einschätzung auf Basis vorhandener Untersuchungen	92
4.2 Welche Ausgangslage und Perspektiven kennzeichnen die Region nach Einschätzung von Expert:innen? (Ergebnisse der Interviews)	95

4.3	Erfolgsindikatoren in Wirkebene Infrastruktur und digitales Ökosystem	103
4.4	Handlungsempfehlungen zur Wirkebene Infrastruktur und digitales Ökosystem	109
Kapitel 5: Wirkebene Nachhaltigkeit, Klima und Ressourcenbedarf		111
5.1	Einschätzung auf Basis vorhandener Untersuchungen	111
5.2	Ergebnisse der Interviews: Perspektiven der Befragten zum Ressourcenverbrauch in der Wirkebene Nachhaltigkeit, Klima und Ressourcenbedarf	125
5.3	Erfolgsindikatoren in Wirkebene Nachhaltigkeit, Klima und Ressourcenbedarf	133
5.4	Handlungsempfehlungen zur Wirkebene Nachhaltigkeit, Klima und Ressourcenbedarf	142
Kapitel 6: Wirkebene Flächen und Akzeptanz an den Standorten		144
6.1	Einschätzung auf Basis vorhandener Untersuchungen	144
6.2	Ergebnisse der Interviews: Perspektiven der Befragten zu Wirkebene Flächen und Akzeptanz an den Standorten	152
6.3	Erfolgsindikatoren in Wirkebene Flächen und Akzeptanz an den Standorten	162
6.4	Handlungsempfehlungen zur Wirkebene Flächen und Akzeptanz an den Standorten	167
Fazit inkl. Indikatoren im Überblick		169
Interviewleitfaden		189
Übersicht der befragten Expert:innen		192
Glossar		194
Abbildungsverzeichnis		199
Tabellenverzeichnis		200
Literaturverzeichnis		202
Impressum		216

Management-Summary

Die vorliegende Untersuchung schafft eine Basis, um die wirtschaftlichen Auswirkungen der geplanten Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren durch Microsoft im Rheinischen Revier abzuschätzen und politische sowie wirtschaftliche Entscheidungen zu unterstützen. Dazu wurde eine ausführliche Literaturauswertung von vorliegenden Studien zu möglichen Entwicklungen in der Region sowie wissenschaftlich publizierten Artikeln vorgenommen. Zusätzlich wurden über zwanzig Expert:innen aus der Region befragt, um die Erwartungshaltungen innerhalb der Privatwirtschaft, der Wissenschaft und der kommunalen Verwaltung zu den Folgewirkungen der angekündigten Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier zu erfassen. Dazu wurde auf fünf Ebenen (a) Produktivität und Wertschöpfung, Innovationen und Gründungen, (b) Beschäftigung und Löhne, (c) Infrastruktur und digitales Ökosystem (d) Nachhaltigkeit, Klima und Ressourcenbedarf sowie (e) Flächen und Akzeptanz an den Standorten eruiert, welche Gelingensbedingungen für notwendig erachtet werden.

Die geplante Ansiedlung im Rheinischen Revier markiert einen bedeutenden Meilenstein für die Region. Diese Investition Microsofts wird die digitale Infrastruktur stärken und den Strukturwandel hin zu einer klimaneutralen Digitalregion unterstützen. Das vorliegende Basisszenario zeigt, dass die Potenziale der Hyperscale-Rechenzentren erhebliche wirtschaftliche Impulse generieren können, darunter direkte Wertschöpfungseffekte und die Schaffung eines attraktiven Ökosystems für die Digitalwirtschaft. Besonders hervorzuheben sind die möglichen positiven Auswirkungen auf Innovationen und Unternehmensgründungen durch die verbesserten Rahmenbedingungen, insbesondere in datenintensiven Branchen wie Künstliche Intelligenz (KI) und Internet der Dinge (IoT). Herausforderungen bestehen etwa im Bereich der nachhaltigen Energieversorgung, der verfügbaren Flächen, der Wärmenutzung und der Cybersicherheit. Insgesamt stellt die Ansiedlung eine einzigartige Chance dar, die Wettbewerbsfähigkeit der Region zu steigern und eine prosperierende und nachhaltige Digitalregion zu werden.

Die fünf Wirkungsebenen stellen die auf Basis wissenschaftlicher Literatur und Experteninterviews prognostizierten Effekte zur Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren dar. Ergänzend werden Indikatoren definiert, die es ermöglichen, zukünftige Folgeeffekte zu messen. Bei diesen ist zu beachten, dass ein

einfacher Vorher-Nachher-Vergleich der genannten Indikatoren nicht ausreicht, um kausale Wirkungen präzise zu messen, da dabei externe Einflüsse und zeitgleich auftretende Entwicklungen unberücksichtigt bleiben. Sie stellen aber einen ersten Messansatz dar und bieten eine Grundlage für künftige Entscheidungen zur nachhaltigen Digitalregion Rheinisches Revier.

Zu der vorliegenden umfangreichen Untersuchung wird ebenfalls eine Kurzversion veröffentlicht, die die wesentlichen Erkenntnisse, sowie alle Handlungsempfehlungen und Indikatoren enthält. Diese Kurzversion ist geeignet, um die einzelnen Wirkungsebenen und die grundsätzlichen Erkenntnisse der Untersuchung zu verstehen und nachzuvollziehen. Die hier vorliegende Langversion hingegen eignet sich für Interessent:innen, die sich mit den einzelnen Wirkungsebenen vertieft und im Detail auseinandersetzen möchten.

Die Kurzversion wird ebenfalls über den Broschürenservice des Landes Nordrhein-Westfalen zur Verfügung gestellt.

Einleitung

Die vorliegende Untersuchung wurde vom Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE) aufgrund der angekündigten Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren durch das Unternehmen Microsoft im Rheinischen Revier beauftragt. Die Untersuchung soll eine fundierte Grundlage bieten, um die wirtschaftlichen Auswirkungen dieser Investition abzuschätzen und politische sowie wirtschaftliche Entscheidungen zu unterstützen. Ein weiteres Ziel dieser Untersuchung ist es, ein Basisszenario darzustellen, auf dessen Grundlage zukünftige Untersuchungen aufsetzen können, um die wirtschaftlichen Folgeeffekte im Zeitvergleich zu erfassen. Das beinhaltet auch eine Ausweisung relevanter Indikatoren, die ein Monitoring der Entwicklung der nachhaltigen Digitalregion Rheinisches Revier ermöglichen. Eine Quantifizierung und Prognose von konkreten Szenarien und Effekten ist für die vorliegende Untersuchung nicht vorgesehen. Dies ist dem explorativen Charakter¹ und der frühen Platzierung der Untersuchung im Gesamtprozess der geplanten Ansiedlung geschuldet.

Methodisch ist die Untersuchung in zwei Teile gegliedert: eine Literatursauswertung und explorative Interviews mit Expert:innen aus dem Rheinischen Revier. Ziel der Literatursauswertung ist es, einen umfassenden Überblick über die Ergebnisse vorhandener Studien zu erhalten, die sich mit den gesamtwirtschaftlichen und regionalökonomischen Effekten großer digitaler Infrastrukturprojekte befassen. Dazu wurden sowohl wissenschaftlich referierte Studien als auch weitere relevante Studien zum Rheinischen Revier herangezogen. Dabei wird zwischen Studien unterschieden, die Prognosen hinsichtlich der Effekte geplanter Investitionen anstellen, und solchen, die sich mit den Auswirkungen bereits erfolgter Investitionen beschäftigen. Die Literaturanalyse vergleicht die Ergebnisse von Studien für die Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren in unterschiedlichen Regionen und untersucht die ökonomischen Vorteile für Unternehmen, die aus der Ansiedlung in der Nähe von Hyperscale-Rechenzentren resultieren können. Dabei werden die Wirkebenen Produktivität und Wertschöpfung, Innovationen und Gründungen; Beschäftigung und Löhne; Infrastruktur und digitales Ökosystem; Nachhaltigkeit, Klima und Ressourcenbedarf

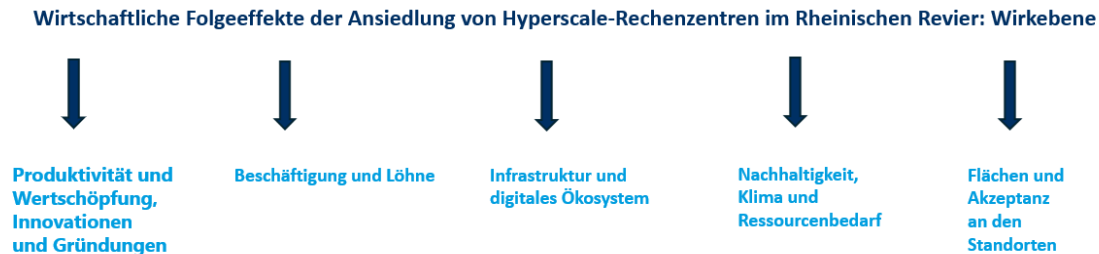
¹ Eine explorative Untersuchung ist ergebnisoffen. Mit diesem Ansatz soll beispielsweise hier herausgefunden werden, wie die Expert:innen im Rheinischen Revier über die geplanten Hyperscale-Rechenzentren denken und welche Chancen oder Sorgen sie sehen

sowie Flächen und Akzeptanz an den Standorten betrachtet und Hypothesen über die zu erwartende Entwicklung in Bezug auf diese Wirkebenen formuliert.

Der zweite methodische Zugang besteht in einer qualitativen Analyse der Erwartungen wesentlicher Akteur:innen an die Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier. Dazu wurde im Rahmen einer nicht repräsentativen, empirischen Untersuchung 22 leitfadengestützte Interviews zwischen Juli und September 2024 durchgeführt. Befragt wurden vier relevante Akteursgruppen: (1) Kommunen, (2) Verbände und Kammern, (3) Telekommunikations- und Netzbetreiber und (4) Wirtschaftsunternehmen. Zusätzlich wurde das Forschungszentrum Jülich als zentraler regionaler Forschungsakteur befragt. Die Auswahl der Gesprächspartner:innen erfolgte mit dem Ziel, das Rheinische Revier sowohl regional als auch in den unterschiedlichen Meinungsspektren möglichst umfassend abzubilden. Neben Kommunen aus den Standort-Kreisen und Städten wurden drei regionale Handelskammern, die Bundesagentur für Arbeit in Brühl und das HANDWERK.NRW einbezogen. Interviews mit den regionalen Telekommunikationsanbietern und Netzbetreiber NetCologne und NetAachen, dem Internetknoten Berlin und Brandenburg (BCIX), dem Branchenverband der deutschen Informations- und Telekommunikationsbranche (Bitkom) und dem eco – Verband der Internetwirtschaft e.V. (eco e.V.) wurden genutzt, um den Blick hinsichtlich der Digital- und IT-Wirtschaft zu weiten. Ausgewählte Wirtschaftsunternehmen aus wesentlichen Sektoren in der Region, darunter Logistik-, Chemiebranche, Papierherstellung, Aluminiumverarbeitung und Konsumgüterindustrie runden das Bild ab.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in fünf Kapiteln dargestellt, die jeweils einen Literatur- und Interviewteil umfassen. Dabei werden die relevanten Wirkebenen skizziert. Aus der wissenschaftlichen Literatur geht hervor, dass durch die Förderung des Ausbaus der IT-Infrastruktur bzw. der Errichtung von Hyperscale-Rechenzentren Effekte insbesondere auf den Wirkebenen Produktivität und Wertschöpfung, Innovationen und Gründungen; Beschäftigung und Löhne; Infrastruktur und digitales Ökosystem; Nachhaltigkeit, Klima und Ressourcenbedarf sowie Flächen und Akzeptanz an den Standorten zu erwarten sind, die im Folgenden diskutiert werden (siehe Schaubild).

Abbildung 1: Übersicht der Wirkebenen



Quelle: eigene Darstellung

Kapitel 1 führt thematisch in das Thema ein. Es erläutert die zentrale Rolle von Hyperscale-Rechenzentren für die digitale Transformation und deren Bedeutung für Deutschland und Europa sowie speziell das Rheinische Revier.

Kapitel 2 untersucht die potenziellen wirtschaftlichen Effekte der Hyperscale-Rechenzentren auf Produktivität und Wertschöpfung in der Region. Zudem werden Innovationspotenziale, mögliche Unternehmensgründungen und deren Erfolgsfaktoren analysiert. Bei der Frage nach den regionalen Auswirkungen der Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren sind insbesondere die zu erwartenden Wertschöpfungs- und Produktivitätseffekte von Interesse.

Die möglichen Auswirkungen auf die Arbeitsmarktstruktur im Rheinischen Revier beleuchtet **Kapitel 3**. Dazu gehören der Fachkräftebedarf, die Qualität der Beschäftigung und die Veränderung der Löhne durch die Rechenzentrumsansiedlung.

Eine moderne und leistungsfähige IT-Infrastruktur ist eine zentrale Voraussetzung für den erfolgreichen Strukturwandel im Rheinischen Revier. Die geplanten Hyperscale-Rechenzentren könnten einen wesentlichen Beitrag dazu leisten und wichtige Entwicklungsimpulse setzen, die in **Kapitel 4** diskutiert werden. Darüber hinaus wird die Ausgangssituation für den weiteren Ausbau von Glasfaser, Wärmenetze und Stromversorgung beleuchtet.

Mit dem Thema Nachhaltigkeit, insbesondere dem Ressourcenbedarf und den möglichen Effekten für das Klima, befasst sich **Kapitel 5**. Hyperscale-Rechenzentren gelten als wesentlicher Baustein für den Übergang zu einer digitalen und nachhaltigeren Gesellschaft. Die Analyse umfasst den ökologischen Fußabdruck der Hyperscale-Rechenzentren, darunter Energiebedarf, CO₂-Emissionen und Potenziale zur Abwärmenutzung. Es werden Herausforderungen und Lösungsansätze im Kontext der regionalen Klimaziele dargestellt.

Kapitel 6 beleuchtet die gesellschaftliche Akzeptanz der Rechenzentrumsansiedlung sowie die Flächenverfügbarkeit im Rheinischen Revier. Erfahrungen aus verschiedenen Standorten großer Rechenzentren belegen, dass diese Aspekte eine eigene Wirkebene darstellen. Die Attraktivität der Region für Bewohner:innen und neu zugezogene Fachkräfte und die Akzeptanz der Ansiedlung wird thematisiert und Handlungsbedarfe werden identifiziert.

Die Kapitel 2 bis 5 schließen mit Handlungsempfehlungen und Erfolgsindikatoren für die jeweilige Wirkebene. Kapitel 7 fasst die wesentlichen Erkenntnisse dieser Untersuchung zusammen.

Kapitel 1: Einordnung – Rechenzentren und ihre Bedeutung in Deutschland und Europa

In diesem Kapitel wird der zentrale Begriff „Hyperscale-Rechenzentrum“ erläutert, der für das Verständnis der vorliegenden Untersuchung von entscheidender Bedeutung ist. Zusätzlich wird die Bedeutung der Rechenzentren im Kontext der digitalen Transformation als auch für Deutschland und Europa sowie der regionalen Entwicklung des Rheinischen Reviers eingeordnet. Diese Erklärungen sollen dazu beitragen, ein klares Verständnis der technischen und wirtschaftlichen Konzepte zu vermitteln, die im Weiteren eine Rolle spielen.

Definition Rechenzentren

Ein Rechenzentrum ist eine spezialisierte Einrichtung, in der IT-Infrastruktur betrieben und verwaltet wird, um Daten zu speichern, zu verarbeiten und zu übertragen. Es umfasst Server, Speichersysteme, Netzwerke und Sicherheitslösungen, die gemeinsam dafür sorgen, dass große Mengen an Daten zuverlässig und sicher verarbeitet werden können. Neben den IT-Komponenten gibt es in einem Rechenzentrum auch verschiedene Supportsysteme, wie Stromversorgung, Kühlung und Brandschutz, die den kontinuierlichen Betrieb sicherstellen (BSI - Rechenzentrums-Definition).

Die Machbarkeitsstudie zum Rheinischen Revier (DE-CIX Management et al. 2021) beschreibt Hyperscale-Rechenzentren als extrem große, skalierbare Anlagen, die Daten in großem Umfang sicher speichern und verteilen. Sie schaffen eine Infrastruktur, die sowohl die Speicherung als auch die schnelle Verteilung großer Datenmengen ermöglicht, unterstützt durch ein lokales Datendrehkreuz². Dieses Datendrehkreuz stellt die kurzen Wege und schnelle Verbindungen sicher und profitiert von der Dynamik, die ein Hyperscale-Rechenzentrum erzeugt, da es konstant neuen Bedarf an Netzwerkverbindungen schafft.

² Der Begriff „Datendrehkreuz“ wird hier in Anlehnung an seine Definition in der Machbarkeitsstudie „Dateninfrastrukturen im Rheinischen Revier“ (DE-CIX Management et. al. 2021) als ein Verkehrsknotenpunkt des digitalen Datenverkehrs verstanden, welcher grundsätzlich die Funktionen eines Internetknoten erfüllt, jedoch im Gegensatz zu einem Internetknoten ein breiteres Nutzerspektrum über Unternehmen mit einem eigenen IP-Adressraum hinaus bedient.

Es gibt drei typische Geschäftsmodelle von Rechenzentren

Rechenzentren lassen sich nach Geschäftsmodell grob in drei Typen unterteilen, erklärt Kilian Wagner (Bitkom): **Unternehmensrechenzentren**, **Colocation-Zentren** und **Hyperscale/Cloud-Rechenzentren**. **Unternehmensrechenzentren** würden sich direkt im Unternehmen (Anm der Autoren: oder an einem Drittstandort, den das Unternehmen selbst verwaltet) befinden und ausschließlich dessen IT-Bedürfnissen dienen. Der Marktanteil dieser Art von Rechenzentrum nehme jedoch ab (siehe Hintemann et. al. 2023). **Colocation-Rechenzentren** würden einem oder mehreren Unternehmen die Möglichkeit bieten, nur die Räumlichkeiten und Infrastruktur zu mieten, ohne selbst die IT betreiben zu müssen. Der Anbieter stelle das Rechenzentrum bereit und kümmere sich um eine sichere und stabile Stromversorgung sowie Kühlung. Unternehmen könnten in diesen Rechenzentren einzelne Schränke oder Räume mieten, um ihre eigene IT-Systeme unterzubringen. Die Nachfrage in diesem Bereich wachse stark, da Unternehmen auf diese Weise ihre Infrastruktur effizient auslagern können würden (siehe Hintemann et. al. 2023). **Hyperscale-Rechenzentren** wie die von Microsoft würden exklusiv vom Betreiber genutzt und bieten Cloud- und KI-Dienste an, die externen Kunden zur Verfügung stehen. Diese Rechenzentren seien für spezifische Anwendungen ausgelegt.

Rechenzentren als kritische Infrastruktur für Deutschland

Der vom Bundeskabinett beschlossene Entwurf zum KRITIS-Dachgesetz (Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie (EU) 2022/2557 und zur Stärkung der Resilienz kritischer Anlagen) listet unter anderem den Sektor Informationstechnik und Telekommunikation als Betreiber kritischer Anlagen auf. Mit kritischen Infrastrukturen (KRITIS) sind dabei Infrastrukturen gemeint, die für das alltägliche Funktionieren der Gesellschaft unverzichtbar sind. Sie gewährleisten die Funktionsfähigkeit öffentlicher Institutionen und schaffen die Grundlage für ein funktionierendes gesellschaftliches Miteinander sowie eine stabile Wirtschaft (bmi.bund.de). Dazu gehören auch Rechenzentren. Diese sind essenziell für nahezu alle digitalen Prozesse, die in unserer Gesellschaft stattfinden, erläutert Kilian Wagner vom Bitkom. Würden Rechenzentren ausfallen, wären die Auswirkungen weitreichend, da sie hinter fast jeder Aktivität im digitalen Raum stehen – sei es ein Videoanruf, das Laden von Webseiten oder der Betrieb kritischer Infrastrukturen wie Strom- und Telekommunikationsnetze. Auch Krankenhäuser und andere lebenswichtige Dienste seien auf sie angewiesen. Ohne Rechenzentren wäre das Funktionieren der zunehmend digitalisierten

Welt nicht mehr möglich. Deshalb wird ihre Bedeutung in Zukunft noch weiter zunehmen.

Rechenzentren stärken Digitalisierung und KI-Entwicklung in Deutschland

Mit der Ankündigung von Microsoft über die Errichtung von Hypercale-Rechenzentren im Rheinischen Revier wird von der Bundesregierung eine Stärkung Deutschlands als KI-Standort erwartet (Bundesregierung 2024). Eine umfassendere Digitalisierung und die Entwicklung Künstlicher Intelligenz sind ohne ausreichend leistungsfähige Rechenzentren kaum möglich – eine Annahme, die sowohl Studien als auch die allgemeine Erwartung in Wirtschaft und Gesellschaft teilen.

Microsoft kündigte an, dass die Erweiterung der Cloud-Region in Frankfurt am Main sowie neue Infrastrukturen in Nordrhein-Westfalen die Kapazitäten in Deutschland mehr als verdoppeln werden. Dieser erhebliche Ausbau digitaler Kapazitäten soll dazu beitragen, die wachsende Nachfrage nach KI-spezifischer Rechenleistung und Cloud-Diensten zu decken. Zusätzlich werden die Entwicklung und Nutzung neuer KI-Modelle und -Anwendungen gefördert, die auf der Azure-Plattform von Microsoft und zahlreichen anderen Unternehmen angeboten werden (Microsoft 2024a).

1.1 Beispiel Rechenzentren in der Rhein-Main-Region: Wirtschaftsfaktor und Herausforderung bzgl. Umwelt

Rechenzentren sind ein bedeutender Wirtschaftsfaktor. Dies gilt sowohl regional als auch – wenn man auf die Cloud- und KI-Entwicklungen schaut – für den gesamten Wirtschaftsstandort Deutschland. Gleichzeitig haben Rechenzentren, die physisch verortet sind, Strom verbrauchen und Fläche belegen, vor Ort jeweils nicht zu unterschätzende Auswirkungen auf ihre Umwelt. In der jüngeren Vergangenheit wurde dies immer mehr erkannt, was lokal und regional in Rechenzentrums-Hotspots wie Frankfurt und Amsterdam zu Regulierungsbemühungen geführt hat. Auch auf nationaler Ebene gibt es entsprechende regulatorische Ansätze, insbesondere das im Jahr 2023 erlassene Energieeffizienzgesetz ist hier zu nennen. Die Rhein-Main-Region mit ihrem Zentrum Frankfurt am Main ist ein gutes Beispiel, an dem sich zeigen lässt, welche Wertschöpfungseffekte auf der einen Seite, und Umweltauswirkungen auf der

anderen Seite entstehen. Dieses Beispiel soll verdeutlichen, worauf bei einer sich als Digitalregion entwickelnden Region geachtet werden sollte.

Die Bedeutung der Rechenzentren als Wirtschaftsfaktor für Frankfurt und das Rhein-Main-Gebiet

Um die Ansiedlung der Hyperscale-Rechenzentren einordnen zu können, ist ein kurzer Überblick über den Stand der Rechenzentrumsbranche in der Region Frankfurt/Rhein-Main (FRM) hilfreich. FRM gehört zu den wachstumsstärksten Regionen in Deutschland. Die Rechenzentren tragen mittlerweile substanziell dazu bei. Der Sektor repräsentiert bereits einen bedeutenden Anteil der urbanen und peri-urbanen Wirtschaftsstruktur der Region. Mit 30 Prozent der gesamtdeutschen Rechenzentrumskapazität und mehr als 40 Prozent der Großrechenzentren ist die FRM-Region nach London der Top-Standort in Europa (Regionalverband Frankfurt/Rhein-Main 2021). Es ist schwierig, den Anteil (und den Trend) der Rechenzentren an der regionalen Bruttowertschöpfung zu quantifizieren. Aus der amtlichen Statistik (regionalisierte Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung) lässt sich der Anteil der Rechenzentren (NACE-Code 63.1) nicht präzise herauslesen (Destatis 2023). Die ökonomische Bedeutung der Digitalindustrie für Frankfurt lässt sich aber über die Produktionswertrechnung erkennen. Während die Bruttowertschöpfung für Frankfurt 2022 bei über 80 Mrd. Euro lag (Destatis 2023), erwartet das Gutachten der IW-Consult zu den Spillover-Effekten der Rechenzentren bei den Abnehmern der Rechendienstleistungen insgesamt eine zusätzliche Bruttowertschöpfung von 250 Mrd. Euro für Deutschland (Goecke et al. 2024, p.11).

Der Standort FRM als einem Zentrum der Digitalindustrie und dem zentralen deutschen Knotenpunkt des deutschen Rechenzentrumssektors³ trägt hierzu wesentlich bei, auch wenn eine präzise Quantifizierung mangels Daten nicht möglich ist.

Vorab ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass die Digitalökonomie des Ballungsraums FRM eher einen marktgeleiteten Evolutionsprozess basierend auf Vorleistungsbedarfen und Effizienzsteigerungen der örtlichen Wirtschaftsakteur:innen darstellt. Die Investitionen in eine Digitalökonomie im Rheinischen

³ Die Branche der Rechenzentren wird in der FRM-Region oft mit dem englischsprachigen Begriff „Data Center Industry“ bezeichnet. Dies umfasst Infrastruktur, Dienstleistungen und Technologien, die mit der Speicherung und Verarbeitung von Daten verbunden sind. Sie stellen aber freilich nur einen Teil der Digitalindustrie dar.

Revier sind hingegen ein möglicher Pfad des Strukturwandels nach der Braunkohle, er wurde aus wirtschaftspolitisch-strategischer Sicht vorgedacht. Das nordrhein-westfälische Wirtschaftsministerium legte im Frühjahr 2021 eine Machbarkeitsstudie „Dateninfrastrukturen im Rheinischen Revier“ vor. Die Ansiedlung von Microsoft ist Teil der auf dieser Untersuchung basierenden Gesamtstrategie des Ministeriums mit dem Ziel einer „Nachhaltigen Digitalregion Rheinland“. Dieser Unterschied zwischen den beiden Regionen ist von erheblicher Bedeutung, wenn es darum geht, Prognosen über längerfristige räumlich-sektorale Entwicklungsprozesse zu erstellen. Die Digitalindustrie befindet sich in der FRM-Region in einem säkularen pfadabhängigen Marktprozess, der durch eine zunehmende lokale Nachfrage nach Rechendienstleistungen in den 1990er Jahren angeregt wurde. Im Rheinischen Revier möchte man hingegen einen solchen Prozess durch Wirtschaftsförderung⁴ verstärken. Dazu sollen die Rechenzentren prominent beitragen. Inwieweit es jedoch gelingen wird, hier einen ähnlich selbsttragenden Marktprozess zu initiieren, hängt von sehr unterschiedlichen Faktoren ab (Marktausrichtung der Rechenzentren, Standortigenschaften, Ansiedlung in nachgelagerten Branchen, wie z.B. die Digitalpark-Gewerbegebiete u.v.m.) bleibt zunächst abzuwarten.

Die Entwicklung von FRM zum führenden Standort für Rechenzentren nahm ihren Anfang mit der Liberalisierung des Telekommunikationssektors in den 1990er Jahren. Die Stadt Frankfurt sowie einige Kommunen im Umland (z.B. Eschborn) beheimaten traditionell zahlreiche IT-affine Unternehmen (v.a. Banken, Versicherungen und Wertpapierhandel). Die Wahl Frankfurts als Standort der Europäischen Zentralbank hat die dynamische Entwicklung des Finanzsektors und die Bedeutung für Frankfurt seit Mitte der 1990er Jahre geprägt. Gleichzeitig resultieren Effizienzgewinne im Finanzsektor in bedeutendem Umfang aus Fortschritten aus der Informationstechnik. Rechenzentren haben sich daher als bedeutende Vorleister, der Rechendienstleistungen für die Banken in der Region etabliert. Diese Entwicklungen und die zentrale Lage der Region FRM in Europa führten gleichzeitig zu einem immensen Anwachsen des Internet-Knotens DE-CIX. Die räumliche Nähe zwischen Vorleistern und ihren wichtigen Kunden (Finanzsektor) ist technisch von kritischer Bedeutung. Je näher die Akteur:innen räumlich beieinander liegen, desto höhere Zeitgewinne sind

⁴ .Wirtschaftsförderung wird hier als wirtschaftspolitisch-strategisches Vordenken und das Bekanntmachen der Region als günstigen Rechenzentrumsstandort verstanden, nicht im Sinne des Ausgebens von Subventionen und Fördergeldern.

zu verzeichnen (z.B. im Computerhandel, also dem Cross-Border-Aktienhandel und Hochfrequenzhandel). Hier spielt die Latenzarbitrage eine besondere Rolle. Derzeit macht die Latenz-Arbitrage mehr als 80 Prozent des gesamten Handels auf den Finanzmärkten aus (<https://bjftradinggroup.com/de/latency-arbitrage-2/>).

Agglomerationsprozess als Herausforderung, Rechenzentren als Faktor

Vorab ist festzustellen, dass auch hinsichtlich der Agglomerationsprozesse die Rhein-Main-Region nicht mit dem Rheinischen Revier zu vergleichen ist. Während es sich beim Rhein-Main-Gebiet um einen urbanen Raum handelt und die Rechenzentren aus dem städtischen Gebiet zunehmend auf Flächen der Umlandgemeinden „drängen“, ist das Rheinische Revier eine gemischt städtisch-ländlich geprägte Region mit Bergbau und Energie als historische Kernsektoren im regionalen Strukturwandel. Zudem markieren die Rechenzentren von Microsoft erst den Beginn von Investitionen der Digitalindustrie dieser Größenordnung in der Region. Dementsprechend ergeben sich naturgemäß noch nicht die Auswirkungen, die sich beispielsweise im Frankfurter Raum zeigen. Umso wichtiger ist es, die Entwicklungen im Rhein-Main-Gebiet – und in weiteren Hotspot-Regionen wie etwa Amsterdam – zu beobachten, um von vorneherein die Ambivalenz von „Rechenzentren als positiver Wirtschafts- und Wertschöpfungsfaktor“ einerseits und „Flächenverbrauch und Umweltwirkungen durch Rechenzentren“ andererseits zielführend zu gestalten. Nach diesen Vorbemerkungen wird im Folgenden die Entwicklung der Agglomeration im Rhein-Main-Gebiet seit den 1990er Jahren skizziert und auf die spezifische Bedeutung der Rechenzentren in diesem Prozess eingegangen.

Aus Sicht der Regionalwissenschaft handelt es sich bei der jüngeren Wirtschaftsentwicklung von Frankfurt und seinem Umland demnach um ein Zusammenspiel von „Data Gravity“ (nach dem vorhandene Bestandsdaten zur Ansammlung weiterer Daten und verbundener Services und Anwendungen führen) und parallel stattfindenden urbanen Agglomerationsprozessen. So dynamisch sich die Rhein-Main-Region auch in den letzten 30 Jahren entwickelt haben mag, gibt es auch eine Kehrseite, die in allen urbanen Agglomerationsprozessen zu identifizieren ist. Die Stadt Frankfurt (mit heute 780.000 Einwohnern gegenüber 590.000 in 1985), ihr Umland, die bauliche Verdichtung der Umwelt und der massive Flächenverbrauch sind mittlerweile erkennbar an ihre Wachstumsgrenzen gestoßen. Folgen sind z.B. mikroklimatische Veränderungen („Urban Heat“) bis hin zu Landnutzungskonflikten an den Stadtgrenzen

(vgl. z.B. die Datenbank „Global High Resolution Daily Extreme Urban Heat Exposure“ der NASA 2021). Betrachtet man die natürliche urbane Entwicklung der Region durch statistische Segmentierung mit Hilfe von Nachtsatellitenbildern (VIIRS⁵), so erkennt man eine zunehmende Verschmelzung der baulichen Umwelt über die Gemeindegrenzen hinweg. Es entstehen urbane Sektionen im ländlichen Umland der Stadt, während in weniger dicht besiedelten und mit geringerem Industriebesatz ausgestatteten Stadtteilen landwirtschaftlich geprägte Areale weiterhin vorherrschen (Horizon 2020, 2018). Die Zunahme der Bevölkerung, die Erhöhung des Verkehrsaufkommens und des Energieverbrauchs sowie die Versiegelung von Flächen haben gravierende Folgen für die Umwelt und das lokale Klima. Die Funktion der Grüngürtel verliert zunehmend an Wirkung zum Erhalt einer gesunden urbanen Umwelt. Speziell für Frankfurt und Vergleichsagglomerationen (London und Seoul) wird dies auch in neueren Studien bestätigt (Xie et al. 2020). „Urban Sprawl“ (Zersiedelung) als maßgebliches Charakteristikum des Ressourcenkonflikts um Landnutzung führt zu einer entsprechenden Verdrängung der Quellen von Ökosystemleistungen zugunsten von Siedlungs- und Industrieansiedlungsprozessen (Harvey und Clark 1965).

Die Zunahme der Rechenzentren sind an all diesen Entwicklungen nicht unerheblich beteiligt, wie auch Erfahrungen aus den USA (Virginia) zeigen (Stimpson 2024). Es gibt wenige jüngere Untersuchungen speziell für die Region FRM, die den Zusammenhang von Rechenzentren und dem Ressourcenkonflikt im Sinne einer umweltökonomischen Betrachtung von Agglomeration untersuchen, vor allem, was den Erhalt von städtischen Grünflächen betrifft. So kommt Pinar Dörder in ihrer Dissertation zu folgender Feststellung: „[...] In der Region Frankfurt Rhein-Main entsteht der Ressourcenkonflikt durch den enormen Flächendruck. Es muss eine noch nie dagewesene Menge an Siedlungsfläche bereitgestellt werden, nicht nur für Wohnen, sondern auch für industri-

⁵ VIIRS ist die Abkürzung für **V**isible and **I**nfra**R**ed Imaging **S**uite. Die monatlich aktualisierten und vom Payne Institute der Colorado School of Mines publizierten Satellitenbilder (VIIRS-Composites) sind zugänglich unter: <https://eogdata.mines.edu/products/vn1/>. Durch die Verwendung von geeigneten Shapefiles für Deutschland oder deutscher Gebietskörperschaften können die Daten (Radiant in einer Spannbreite von 14 bit, entsprechend 2¹⁴) ausgelesen und mit unterschiedlichen statistischen Verfahren (z.B. k-means-Segmentierung oder Random Forest Classification, um nur wenige zu nennen) ausgewertet werden. Der große Vorteil dieser Daten besteht in der kleinräumigen Auflösung, der Aktualität und der Publikationsfrequenz. M.a.W. es ist möglich, städtische und nicht-städtische Landnutzung in ihrer zeitlichen Veränderung präzise zu beobachten. Die Landnutzung korreliert eng mit der gemessenen Lichtemission.

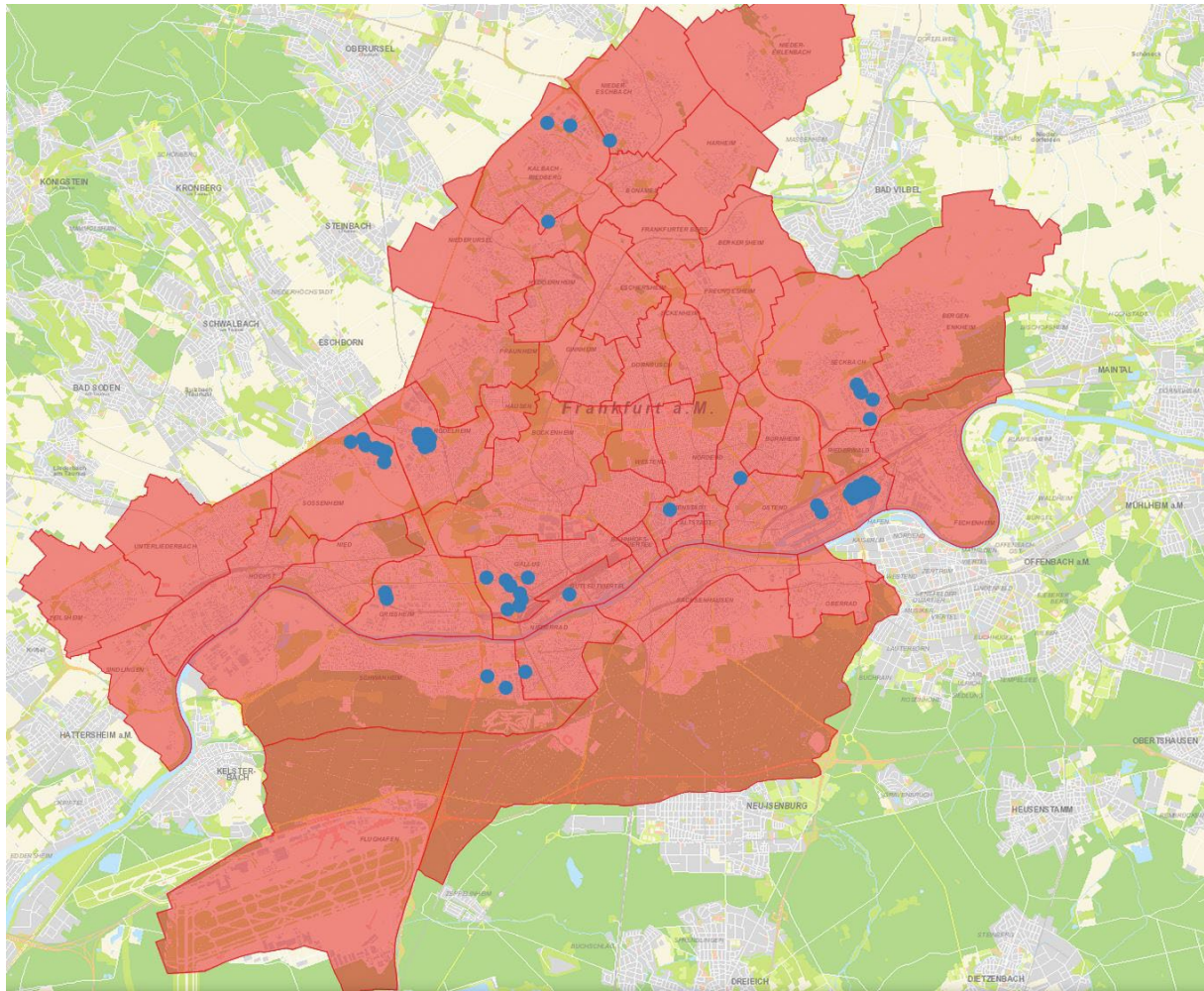
elle und gewerbliche Nutzung. [...] Der aktuelle Trend von Industrieansiedlungen (z. B. Rechenzentren und Logistik) fügt der Beziehung zwischen Bevölkerungswachstum und wirtschaftlicher Aktivität eine weitere Komplexitätsebene hinzu. [...] Im Fall von Frankfurt Rhein-Main ist der Druck Wohn- und Industrie-/Gewerbesiedlung am stärksten im Kern des Ballungsraums, wo die verfügbaren Flächen sehr knapp sind [...]“ (Dörder 2022, S. 191; Zitat aus dem Englischen übersetzt). Hinzuweisen ist ferner auf den Internet-Blog des Deutschen Architekturforums zu den Rechenzentren in Frankfurt/Rhein-Main (Deutsches Architekturforum 2024). Sowohl textlich als auch durch Fotografien wird die sich verändernde Physiognomie der Stadt durch den Einzug von Rechenzentren illustriert.

Es ist zudem möglich, die ressourcen-kritischen Entwicklungen des Rechenzentrumssektors für FRM genauer zu skizzieren. Vor allem der Energiebedarf ist von Bedeutung: „Im Jahr 2018 machten die Rechenzentren mit 1,3 Terawattstunden etwa ein Fünftel des Gesamtstromverbrauchs in Frankfurt aus. Sie verbrauchen mittlerweile sogar mehr Strom als der Frankfurter Flughafen und sind damit der größte gewerbliche Stromabnehmer in Frankfurt.“ (Tagesschau, 25.09.2020). Bis 2024 hat sich dieser Trend deutlich verstärkt (siehe Abb. 3). Der Flächenverbrauch ist ein zweiter Faktor, der zu berücksichtigen ist. Ca. 65 Hektar sind zurzeit durch Rechenzentren im Stadtgebiet auf Gewerbeflächen belegt (Weber und Kaiser 2022). Hinzu kommen weitere mit Rechenzentren belegte Flächen in den umliegenden Gemeinden. Dort ist ebenfalls ein dynamischer Zuwachs zu verzeichnen, da in der Stadt eine zunehmende Flächenknappheit besteht. Aktuelle Daten zum Gewerbeflächenkataster in Frankfurt sind nicht veröffentlicht, daher schätzen wir hier den Anteil der Rechenzentren auf den kommunalen Gewerbegebieten auf Basis einer älteren Studie (Luipold et al. 2015). Lässt man die CargoCity am Flughafen und die aus früheren Chemieunternehmen (Hoechst AG etc.) hervorgegangenen Gewerbeflächen außer Acht (insgesamt 560 Hektar), so verbleiben ca. 950 Hektar an kommunaler Gewerbefläche. Davon waren in 2014 13 Prozent (124 Hektar) nicht belegt, so dass insgesamt von 826 Hektar genutzter Gewerbefläche ausgegangen wird. 7,9 Prozent dieser Fläche (entsprechend 65 Hektar) werden zurzeit von Rechenzentren belegt, unter der Annahme, dass die genannten Flächenverhältnisse auch heute noch gelten. Dieser Anteil korrespondiert in etwa mit Lutz (2020), der mit seinerzeit 58 Hektar Flächeninanspruchnahme durch Rechenzentren im Jahr 2020 einen ca. 16,3 Prozent-Anteil auf den 12 dort genannten Gewerbestandorten errechnet hat. Diese Gewerbestandorte tragen mit 357

Hektar insgesamt 43 Prozent zu den oben errechneten 826 Hektar kommunaler Gewerbefläche bei. Für diese knappe Hälfte der Gewerbeflächen in Frankfurt kann also davon ausgegangen werden, dass dort gegenwärtig mit 65 Hektar mehr als 18 Prozent durch Rechenzentren belegt sind.

Die heutigen und zukünftig erwarteten Flächenbedarfe sind bedeutend. So weist eine Studie der IHK Darmstadt aus: „Allein für Rechenzentren prognostiziert das REK bis 2030 105 ha zusätzliche Flächen. Das Rechenzentrenkonzept der Stadt Frankfurt am Main geht allein im Stadtgebiet von 75 ha zusätzlicher Fläche aus“ (Perform 2023). Zwischen Frankfurt-Sossenheim, Frankfurt-Rödelheim und Eschborn ist mittlerweile eine interkommunale Ballung von Rechenzentren entstanden, und es kommen weitere hinzu, zunehmend auch in den nördlichen Stadtteilen sowie in weiteren angrenzenden Kommunen (z.B. das Maincube-RZ in Schwalbach). Diese Zunahme an Standorten für Rechenzentren, v.a. entlang der nordwestlichen Stadtgrenze verschärft das o.g. Problem der Verstädterung, da das Flächenangebot im Stadtgebiet bereits an seine Kapazitätsgrenzen gestoßen ist.

Abbildung 2: Verteilung der Rechenzentren in Frankfurt am Main (Stand 2020). Rechenzentren sind blau markiert, die Stadtfläche von Frankfurt am Main ist rot eingefärbt.



Quelle: Open Data Datenlizenz Deutschland, Version 2.0, Stadt Frankfurt a.M., Bürgeramt Statistik und Wahlen, 2018 (Daten verändert). Eigene Darstellung basierend auf Stadt Frankfurt / F.A.Z.-Karte lev. (2020).

Altindustrielle Flächen werden teilweise umgenutzt, Rechenzentren werden aber auch neu auf die „grüne Wiese“ gebaut. Dabei wurden Umweltkosten (negative Agglomerationsexternalitäten) nur in Einzelfällen mit der gebotenen Aufmerksamkeit berücksichtigt. Dies betrifft nicht nur Rechenzentren, sondern alle relevanten Branchen. Das Baugesetzbuch (Ziffer 3.1a) regelt zwar die Kompensation von Eingriffen in den Naturhaushalt. Diese ist aber bislang überwiegend ein rechnerischer Ausgleich und wird gesetzlichen Rahmen inklusive

möglicher Ausnahmeregelungen festgelegt. Eine qualitativere Ausgleichsmethodik ist jedoch über konkrete Projekte hinaus, wie sie z.B. die doppelte Innenentwicklungsstrategie empfiehlt, ist noch nicht umgesetzt (Dörder 2022).

Mittlerweile werden für Frankfurt jedoch baurechtliche Verschärfungen nach gestalterischen und städtebaulichen Anforderungen für Rechenzentren vorgenommen, um auch Umweltbelangen sowie dem Klimaschutz gerecht zu werden. (Stadt Frankfurt am Main/AG Rechenzentren 2023). Hierin heißt es in der Präambel des Entwurfs der neuen Leitlinien: „[...] Frankfurt am Main ist einer der bedeutendsten Rechenzentrumsstandorte Europas und beheimatet den weltgrößten Internetknoten DE-CIX. Aufgrund dieser Besonderheit steigt der Bedarf an Rechenleistung am Standort stetig. Dieser wachsende Bedarf befördert gleichfalls eine erhöhte Nachfrage nach Gewerbeflächen und hat Auswirkungen auf das Stadtbild sowie Umwelt und Klima in Frankfurt am Main. [...]“ (AG Rechenzentren, Stadt Frankfurt am Main 2023)⁶ Zu beachten ist, dass diese Regulierung in Frankfurt nun der schieren Anzahl an bereits bestehenden Rechenzentren (siehe oben) und der weiteren immensen Nachfrage geschuldet ist, die sich im Rheinischen Revier noch nicht in dem Maße darstellt. Zudem ist ebenfalls anzumerken, dass andere Städte in der Region andere Formen der Zusammenarbeit gefunden haben und „kooperativer“ mit den Betreibern interagieren, wie etwa die Frankfurter Allgemeine Zeitung (Janović 2023) schreibt.

Ausblick und Positivbeispiele hinsichtlich Nachhaltigkeit im Rhein-Main-Gebiet

Festzuhalten bleibt, dass Rechenzentren nachweisbare Umweltauswirkungen haben. Dies zeigt sich insbesondere am Energie- und Flächenverbrauch. Wichtig ist es dementsprechend für Regionen, die in diesen Sektor strategisch investieren, die möglichen Auswirkungen zu kennen und negative Auswirkungen von vornherein zu minimieren. Dabei helfen beispielhaft gesamtplanerische Ansätze (wie geeignete Richtlinien, stärkere Internalisierung von Umweltkosten) sowie auch einzelne Best-Practice-Beispiele aus anderen Regionen (Initiativen, wie auch konkrete Rechenzentren), die bewusst auf Nachhaltigkeit setzen. Positiv zu bewerten sind etwa für die Region Frankfurt/Rhein-Main die

⁶ Der zitierte Entwurf trägt die Bezeichnung „vertraulich – nur zur internen Verwendung“, ist aber auf der Seite Grenzlandgrün (<https://www.grenzlandgruen.de/Hyperscaler>) verlinkt und damit öffentlich zugänglich. Der oben zitierte Abschnitt dürfte unstrittig sein.

neuerlichen Anstrengungen zu mehr Energieeffizienz durch KI-optimierte Abwärmennutzung, z.B. das Projekt „DC2HEAT“ des Borderstep-Instituts.⁷

Ein weiteres Projekt betrifft die innovative Abwärmennutzung eines Rechenzentrums in Offenbach (Lechner et al. 2023). Auch das Rechenzentrum der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt (ausgezeichnet als eines der wenigen mit dem „Blauen Engel“) kann als ein positiv herausragendes Beispiel für ein umweltgerechtes Rechenzentrum im Rhein-Main-Gebiet erwähnt werden.⁸

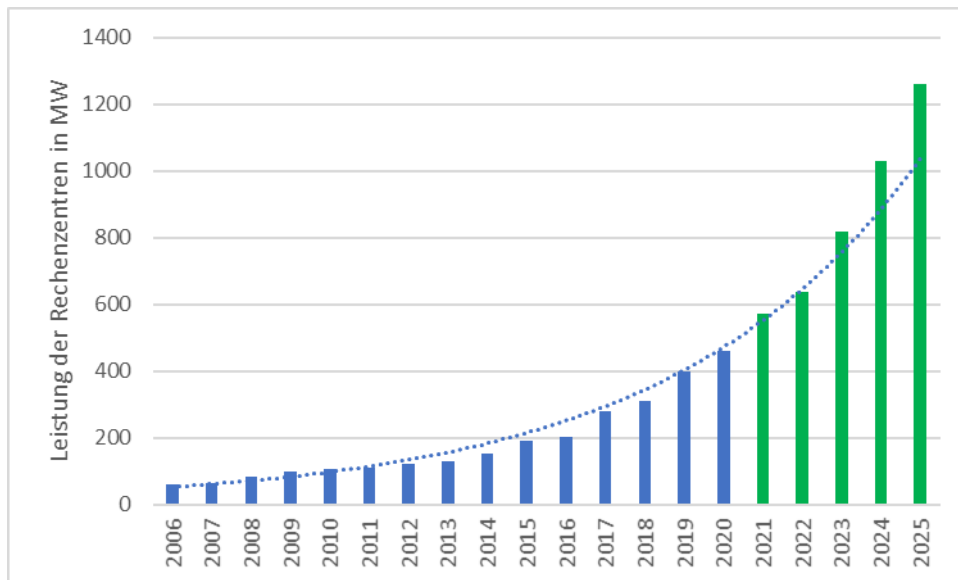
Insgesamt ist für den Standort Frankfurt/Rhein-Main von einem exponentiellen Wachstum der Leistung (in Megawatt) auszugehen, wie Abb. 3 illustriert. Dies hängt im Wesentlichen mit der überregionalen Bedeutung des Internetknotens Frankfurt zusammen. Eine vergleichende Prognose (auf Basis eines Index) kann für das Rheinische Revier mangels Daten zu diesem Zeitpunkt nicht dargestellt werden.

Ebenso ist es noch nicht möglich, den summierten Flächenbedarf für die geplanten Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier sowie dort bereits bestehender Rechenzentren zu quantifizieren. Abb. 3 zeigt jedoch die in 2023 belegten Flächen und künftigen Flächenbedarfe in der FRM-Region als mögliche Orientierung für einen späteren Vergleich mit den Flächenbedarfen des Digitalsektors im Rheinischen Revier.

⁷ Es ist jedoch herauszustellen, dass bislang keines der Rechenzentren mit einem „Blauen Engel“ zertifiziert wurde (<https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/rechenzentren>). In der Metropolregion Rhein-Main wurde lediglich das Rechenzentrum der Helmholtz-Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt mit dem „Blauen Engel“ zertifiziert (https://www.gsi.de/work/it/data_center).

⁸ Vgl.: Gröger et al. (2023) verweist in der UBA-Studie zu dem Prädikat „Blauer Engel“ auf die Normen für umweltgerechte Rechenzentren: „... Der Blaue Engel DE-UZ 161 und DE-UZ 214 setzen Mindestanforderungen für energieeffizienten und klimaschonenden Betrieb von Rechenzentren. Sie legen unter anderem Anforderungen an den Power Usage Effectiveness (PUE) und die Effizienz des Kühlsystems fest. Der EU Code of Conduct empfiehlt verpflichtende Maßnahmen zur Optimierung des Betriebs, wie die Abschaltung ungenutzter Geräte und die Optimierung der Klimaanlage. Es werden außerdem Empfehlungen zur Beschaffung von IT-Hardware, zur Implementierung von Energiemanagement-Systemen und zur Nutzung erneuerbarer Energien gegeben. Die Berichterstattung über Energieverbrauch und Umweltwirkungen ist ein weiterer wichtiger Aspekt.“

Abbildung 3: Prognose: Exponentielles Wachstum der RZ-Leistung in FRM



Quelle: Hintemann et al. (2021); eigene Weiterberechnung des exponentiellen Trends (ab 2021 Prognose)

Die Entwicklung in der Region Frankfurt/Rhein-Main (FRM) ist nicht direkt auf das Rheinische Revier übertragbar. Während FRM durch eine hohe Siedlungsdichte und die starke Nachfrage der Finanzbranche nach Rechenzentrumsleistungen geprägt ist, weist das Rheinische Revier mit seinen ehemaligen Tagebauflächen eine völlig andere räumliche Ausgangslage auf. Zudem fehlt hier ein vergleichbarer, sektorspezifischer Nachfrageanker.

In FRM folgt das Wachstum des Digitalsektors weitgehend marktwirtschaftlicher Logik. Im Rheinischen Revier finden sich (noch) mehr politische Steuerungsprozesse, die Investitionen strategisch vorbereiten. Ziel ist es, durch gezielte Kommunikation von Standortvorteilen private Investitionen anzuregen und regionale Marktprozesse in Gang zu setzen.

Diese strategische Steuerung ist essenziell, da Hyperscale-Rechenzentren allein weder signifikante Beschäftigungseffekte noch substanzielle Gewerbesteuererinnahmen erwarten lassen – zumindest nicht in Relation zum öffentlichen Aufwand für Flächenbereitstellung, Erschließung und ökologische Kosten.

Als ergänzender Ansatz sieht das Konzept für das Rheinische Revier daher vor, in der Nähe der Rechenzentren spezialisierte Gewerbegebiete für digitale

Unternehmen („Digitalparks“⁹) zu entwickeln. Diese sollen indirekte Beschäftigungseffekte erzeugen und das kommunale Steueraufkommen stärken. Ein Gutachten für das MWIKE empfiehlt weiter, im Ansiedlungsprozess aktiv mögliche Vorteile mit den Betreibern auszuhandeln – etwa Garantiezahlungen, die Nutzung von Abwärme oder die Einbindung in gesellschaftliche Projekte (Baker Tilly 2023).

Insgesamt zeigt der Blick auf FRM, dass die Ansiedlung von Rechenzentren im Rheinischen Revier eng begleitet werden muss – insbesondere im Hinblick auf lokale Umweltkosten und realistische Wachstumserwartungen.“

Standortentwicklung der Rechenzentren in Europa

JLL (2024) ordnen die Standorte von Rechenzentren in Europa in ihrem aktuellen Marktüberblick nach dem jeweiligen Energiebedarf ein. Demzufolge ist London mit über 900 MW der größte Standort in Europa, gefolgt von Frankfurt (724 MW). Auf die als FLAP-D-Märkte bezeichneten größten Standorte (Frankfurt, London, Amsterdam, Paris, Dublin) folgt Berlin mit einem Energiebedarf von etwa 100 MW. Das Rheinische Revier würde mit einem geplanten Bedarf von 200-400 MW, d.h. etwa in der Größenordnung von Dublin und Paris, zu den großen Standorten in Europa aufschließen.

Die oben erwähnten etablierten Standorte für Rechenzentren haben, ähnlich wie für FRM im Detail beschrieben, mittlerweile mit den negativen Folgen der Ballungseffekte zu kämpfen: In Amsterdam wurde 2019 aufgrund des Platzmangels und der Belastung des Stromnetzes der Bau neuer Rechenzentren gestoppt. Auch in Irland ist es zu Einschränkungen gekommen. Wegen der Belastung des Stromnetzes werden in Dublin bis 2028 keine Netzanschlüsse mehr für Rechenzentren genehmigt. Laut Prognosen steigt der Energiebedarf für Rechenzentren in Frankfurt auf über 1.700 MW im Jahr 2027, wodurch Risiken für Engpässe steigen. Laut Presseberichten plant allein Amazon Großinvestitionen in Höhe von 10 Mrd. Euro in Deutschland, die hauptsächlich in den Ausbau des Cloud-Geschäfts mit Rechenzentren im Rhein-Main-Gebiet fließen sollen (Tagesschau 2024). Im Rheinischen Revier ist von solchen Flächen- und

⁹ Der Begriff „Digitalpark“ wird nicht eindeutig verwendet. In Frankfurt wird dieser Begriff vielmehr für ein Gewerbegebiet ausschließlich für Rechenzentren verwendet. Zu nennen ist der „Digitalpark Fechenheim“. 11 Rechenzentren operieren auf diesem Gelände (Teutsch 2023)

Energieengpässen in der näheren Zukunft nicht auszugehen. Dies ist möglicherweise einer der Gründe für die jüngsten Ansiedlungsentscheidungen für die Region.

Verschiedene Studien des Borderstep Instituts (Hintemann et al. 2023, Hintemann und Clausen 2018) gehen der Marktentwicklung für Rechenzentren in Deutschland anhand verschiedener Wirkebenen nach (Wertschöpfung, IT-Anschlussleistung, Energiebedarf, Emissionen, Abwärme, s.u.). Die Studie aus dem Jahr 2018 schätzt, dass die Rechenzentren in Deutschland über 200.000 Arbeitsplätze sichern. Grundsätzlich ist ein Trend zu größeren Rechenzentren zu beobachten: Während 2010 der weit überwiegende Teil der Rechenleistung durch Rechenzentren mit einer Leistung von 40 MW erbracht wurde, konzentrierte sich 2022 knapp die Hälfte (45 Prozent) der Kapazitäten auf Rechenzentren mit einer IT-Anschlussleistung von über 5 MW. Die geplanten Ansiedlungen im Rheinischen Revier spiegeln den Trend zu Großanlagen.

Zwischenfazit

Der Bedarf nach Rechenzentren, insbesondere nach Cloud- und KI-fähigen sehr großen Rechenzentren („Hyperscale-Rechenzentren“) nimmt zu. In den Regionen, in denen sich bisher die Rechenzentren konzentrieren, nimmt der verfügbare Raum ab, sodass andere geeignete Regionen, wie das Rheinische Revier durch die Betreiber als mögliche Ansiedlungsziele in den Blick genommen werden. Die geplante Microsoft-Ansiedlung in Bedburg und Bergheim verdeutlicht das. Es ist wichtig, potenzielle Wertschöpfungseffekte und Umweltauswirkungen vorab abzuschätzen, zu beobachten und die entsprechenden Schlüsse daraus zu ziehen. Dabei hilft es, auf Vergleichsregionen zu blicken, auch wenn diese nicht in allen Aspekten vergleichbar sind. In den folgenden Kapiteln wird die Grundlage der fünf relevanten Wirkebenen geliefert, nach denen die positiven und negativen Auswirkungen der Rechenzentren beobachtet werden können. Es wird dementsprechend die Grundlage für ein Monitoring aufgesetzt. Dieses Monitoring nimmt die Wertschöpfungseffekte (inkl. der Arbeitsplatzeffekte) und die Umweltauswirkungen (hinsichtlich Energie und Wasser, wie auch dem Flächenverbrauch) in den Blick. Ziel ist es, ein über längere Beobachtungszeiträume vergleichbares Monitoring mit konkreten Indikatoren zu entwickeln.

Kapitel 2: Wirkebene Produktivität/Wertschöpfung, Innovationen und Gründungen

Bei der Frage nach den regionalen Auswirkungen der Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren sind insbesondere die zu erwartenden Wertschöpfungseffekte und Produktivitätseffekte von Interesse. Die Wertschöpfungseffekte messen den gesamten volks- bzw. regionalwirtschaftlichen Wachstumsimpuls. Sie werden im Rahmen einer Input-Output-Analyse bestimmt und setzen sich aus direkten, indirekten und induzierten Effekten der Hyperscale-Rechenzentren auf die Wertschöpfung in Rheinischen Revier zusammen (siehe Glossar), welche im kommenden Kapitel detailliert dargestellt werden. Demgegenüber geben die Produktivitätseffekte einen Hinweis darauf, ob dieser Wachstumseffekt mit einer Ausweitung der Beschäftigung und/oder einer erhöhten Wertschöpfung bzw. einem höheren Einkommen je Beschäftigten (Produktivität) einhergeht. Beide Indikatoren zeigen unterschiedliche Aspekte des zu erwartenden Wachstumsimpulses durch Hyperscale-Rechenzentren auf. Sowohl ein Wertschöpfungs- als auch ein Produktivitätswachstum sind Ausdruck und wichtige Determinanten einer gestiegenen Wettbewerbsfähigkeit.

Weiterhin zeigt sich, dass in Folge der Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren auch ein Impuls für die Entwicklung neuer Technologien mit einem hohen Bedarf an Rechen- und Speicherkapazität in der Wirtschaft entsteht. In diesem Abschnitt wird weiter gefragt, welche Wirkungen diese verbesserte Infrastruktur auf regionale Innovationsimpulse haben kann und von welchen Faktoren abhängt, ob diese Impulse tatsächlich zu einer entsprechenden positiven Entwicklung führen. In den Blick genommen werden dabei Wirkungen auf Unternehmensorganisation, Innovationen und Unternehmensgründungen.

2.1 Einschätzung auf Basis vorhandener Untersuchungen

Ausgangssituation

Das hier betrachtete Infrastrukturvorhaben, welches die geplante Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren durch Microsoft und die zwei damit verknüpften Digitalparks innerhalb des Rhein-Erft-Kreises und des Rhein-Kreises Neuss umfasst, ist Ergebnis eines jahrelangen Abstimmungsprozesses zwischen der Landesregierung, den regionalen Akteur:innen und Microsoft, der im

Jahr 2024 mit der Verkündung von Microsoft über die Investition seinen Abschluss gefunden hat (vgl. Abschnitt 1). Nach eigener Ankündigung plant Microsoft aktuell Investitionen in Höhe von etwa 3,2 Mrd. Euro, um die eigene Cloud- und KI-Kapazität in Deutschland zu steigern. Ein Großteil dieser Investitionen soll auf die Errichtung von Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier entfallen (Microsoft 2024b). Die regionalen Auswirkungen dieser Investition lassen sich auf zwei Faktoren zurückführen, die im Anschluss diskutiert werden. Erstens gehen von der geplanten Investition in die beiden Hyperscale-Rechenzentren Wertschöpfungsimpulse in das Rheinische Revier und nach NRW aus. Zweitens können insbesondere durch die Entwicklung der beiden Digitalparks und damit einhergehend günstige Rahmenbedingungen für bestimmte IT-Anwendungen weitere Wachstumsimpulse in die Region wirken.

Eine Basis für die Abschätzung von Wirkungen der Investitionen auf Wertschöpfung und Produktivität bildet die durch das Wirtschaftsministerium NRW beauftragte Machbarkeitsstudie, die im Jahr 2021 veröffentlicht wurde. In der Machbarkeitsstudie wurden Annahmen über Größenordnungen von Investitionen in ein Rechenzentrum und einen Digitalpark getroffen. Naturgemäß entsprechen die der Machbarkeitsstudie zugrunde liegenden Annahmen nicht eins zu eins dem tatsächlichen Geschehen, das mit der Investitionsankündigung von Microsoft nun abzusehen ist. Dennoch kann die Machbarkeitsstudie unter Berücksichtigung der zusätzlichen Informationen, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt verfügbar sind, eine geeignete Basis dafür bieten, die Auswirkungen der Infrastrukturvorhaben abzuschätzen.

Wertschöpfungseffekte durch die Hyperscale-Rechenzentren und den Digitalparks im Vergleich mit anderen Hyperscaler-Standorten

Die oben genannte Machbarkeitsstudie (DE CIX Management et al. 2021) hat für die Errichtung großer Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier volkswirtschaftlich positive Effekte prognostiziert. Grundannahme der Studie war, dass im Rheinischen Revier Investitionen in Höhe von insgesamt ca. 1,9 Mrd. Euro zur Errichtung der Hyperscale-Rechenzentren erfolgen würden.

Ein wichtiger Hinweis auf zu erwartende Wachstums- bzw. Wertschöpfungseffekte durch die geplante Ansiedlung der Hyperscale-Rechenzentren ergibt sich aus dem Vergleich der erwarteten wirtschaftlichen Effekte der geplanten Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier mit anderen Hyperscale-Re-

chenzentren-Standorten. Im Folgenden wird ein Vergleich zwischen den geplanten Effekten durch die Hyperscale-Rechenzentren und einem Standort im US-Bundesstaat Virginia und einem Hyperscale-Rechenzentrum in Dublin (Irland) vorgenommen (vgl. Tab. 1). Beide anderen Standorte unterscheiden sich strukturell deutlich vom Rheinischen Revier in der Hinsicht, dass dort schon eine große Anzahl von Rechenzentren existiert, deren Auswirkungen in der Gesamtheit deutlich über die Investitionen im Rheinischen Revier hinausgehen. Während der Standort in und um Ashburn (Loudoun County in Virginia, USA) mit aktuell 133 Rechenzentren¹⁰ der weltweit wichtigste Rechenzentrumsstandort ist und dort die weltweiten Hauptquartiere von Internetunternehmen angesiedelt sind (beispielsweise Verizon Business oder AOL), handelt es sich bei der Region um Dublin um einen der europaweit in Hinblick auf die Ansiedlung von Rechenzentren wichtigsten Standorte. Die Website „Data Center Map“ verzeichnet für die Region Dublin 69 Rechenzentren.¹¹

Näher betrachtet werden hier aber jeweils an beiden Standorten die Impulse, die von Datenzentren der Firma Google ausgehen, für die Untersuchungen vorliegen. Dabei handelt es sich um zwei Datenzentren für Loudoun County und ein Rechenzentrum in Dublin. Diese Auswirkungen sind insofern grundsätzlich vergleichbar mit den geplanten Ansiedlungen im Rheinischen Revier, als die jeweilige Vorleistungsverflechtung und nicht das Vorhandensein anderer Rechenzentren den Impuls bestimmt, der von den Investitionsvorhaben ausgeht. An beiden Standorten sind die jeweiligen Hyperscale-Rechenzentren schon länger im Betrieb (in Virginia wurden bis 2019 zwei Rechenzentren erstellt und bis 2021 erweitert, in Dublin existiert eines seit 2012). Beide Studien wurden mit der gleichen Methode (einer Input-Output-Analyse, siehe Glossar) wie die Machbarkeitsstudie erstellt, was eine gute Vergleichbarkeit ermöglicht.

¹⁰ <https://www.datacentermap.com/usa/virginia/ashburn/>, Abruf vom 22.11.2024.

¹¹ <https://www.datacentermap.com/ireland/dublin/>, Abruf vom 22.11.2024.

Tabelle 1: Geschätzte Effekte verschiedener Investitionsvorhaben für Hyperscale-Rechenzentren

Rechenzentren	Rheinisches Revier, Machbarkeitsstudie	Loudoun County, Virginia (Google & Deloitte)	Loudoun County, Virginia (Oxford Economics)	Eastern and Midland Region, Irland
Investitionshöhe	1,9 Mrd. Euro	1,8 Mrd. \$	1,2 Mrd. \$	570 Mio. \$
Details	RZ: 1,3 Mrd. Euro, DP: 600 Mio. Euro	2 RZ bis 2019, Erweiterungen bis 2021	2 RZ bis 2019	1 RZ in Dublin seit 2012
Gesamteffekt ¹	875 Mio. Euro (DEU), 734 Mio. Euro (NRW)	1,08 Mrd. \$ (VA) ²	270 Mio. \$ (VA), 214 Mio. \$ (Loudoun County) (Kapitalinvestitionen und Betrieb)	153,1 Mio. \$ (IRL), 121,3 Mio. \$ (EM)
Direkter Effekt ¹	567 Mio. Euro (RZ: 410 Mio. Euro, DP: 157 Mio. Euro)	800 Mio. \$ (VA)		76,1 Mio. \$ (EM)
Indirekte Effekte ¹	310 Mio. Euro (DEU), 167,4 Mio. Euro (NRW)	180 Mio. \$ (VA)		31,4 Mio. \$ (EM)
Induzierte Effekte ¹		100 Mio. \$ (VA)		13,8 Mio. \$ (EM)

Quelle: Google & Deloitte (2023), Oxford Economics (2022a), Oxford Economics (2022b), DE CIX Management et al. (2021). RZ: Rechenzentrum, DP: Digitalpark, EM: Eastern and Midland Region, VA: Virginia. – ¹Zur Erläuterung der unterschiedlichen Effekte siehe Glossar. – ²VA = Value Added (Bruttowertschöpfung) K, S, D: vgl. Kap. 2.3

In der Machbarkeitsstudie für das Rheinische Revier wird davon ausgegangen, dass von Investitionen in Höhe von insgesamt 1,9 Mrd. Euro ca. 1,3 Mrd. Euro auf die Errichtung des Hyperscale-Rechenzentrums und 600 Mio. Euro auf einen Digitalpark entfallen. Beim Digitalpark wurden die direkten und indirekten Effekte berücksichtigt, die sich innerhalb der Input-Output-Verflechtung¹² zeigen und mit dem Bau und Betrieb sowie den Aktivitäten der Unternehmen der Digitalwirtschaft verbunden sind, die sich im Digitalpark ansiedeln sollen. Nicht berücksichtigt werden zusätzlichen Effekte, wie etwa die Ansiedlung weiterer

¹² Zur Erläuterung der hier verwendeten Begriffe sei auf das Glossar verwiesen.

Unternehmen aufgrund einer gestiegenen Anziehungskraft des Rheinischen Reviers für die Digitalwirtschaft. Für das Rheinische Revier geht die Machbarkeitsstudie davon aus, dass eine Rechenzentrumsinvestition in Höhe von 1,9 Mrd. Euro neben temporären Wertschöpfungseffekten durch die Baumaßnahmen in der Errichtungsphase zu einem dauerhaften Wertschöpfungsimpuls für Nordrhein-Westfalen in Höhe von 700 Mio. Euro pro Jahr führen wird. Für Deutschland sind es insgesamt 900 Mio. Euro, davon über 400 Mio. Euro im Rechenzentrum selbst, etwa 160 Mio. Euro in dem in der Nähe angesiedelten Digitalpark sowie weitere indirekte und induzierte Effekte durch Vorleistungsnachfrage und Konsum der Beschäftigten in Höhe von 167,4 Mio. Euro in NRW und 310 Mio. Euro deutschlandweit.

Um die Ergebnisse dieser Berechnungen einordnen zu können und auf dieser Basis zu einer Abschätzung der Wirkungen unter dem gegenwärtigem Planungsstand zu kommen, wurden Studien für internationale Vergleichsstandorte betrachtet. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass sich die jeweiligen Abschätzungen auf Impulse in unterschiedlichen räumlichen Abgrenzungen beziehen, dass die Rahmenbedingungen (etwa in Hinblick auf das Umfeld) sich doch teilweise deutlich unterscheiden und dass auch die Annahmen in den Untersuchungen gewisse Unterschiede aufweisen. Dennoch ist der Vergleich hilfreich bei der Einordnung der erwarteten Effekte der Ansiedlung der Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier.

Unter den möglichen internationalen Vergleichsstandorten ist insbesondere der US-Bundesstaat Virginia relevant, der sich innerhalb weniger Jahrzehnte zur weltweit stärksten Agglomeration von Datenzentren entwickelt hat (Blum 2012, Mangum Economics 2020). Hierbei spielte die Nähe zu den Behörden in Washington D.C. und zur Rüstungsindustrie in der Umgebung der Hauptstadt eine wesentliche Rolle. Zudem waren Glasfaser-Internetverbindungen und kostengünstige und zuverlässige Energieversorgung verfügbar und es herrschten gute klimatische Bedingungen (was für die Kühlung der Rechenzentren von Bedeutung ist) vor.

Zu Beginn des Wachstums des Cloud-Computing verfügte Virginia – genau genommen die Gemeinde Ashburn in Loudoun County, die sich zu dem weltweit wichtigsten Hub für Datenzentren entwickelt hat – somit bereits über sehr gute Rahmenbedingungen, so dass im vergangenen Jahrzehnt viele Technologieunternehmen ihre Rechenzentren in dieser Region ansiedelten. 2016

löste Nord-Virginia die Region New York als größte Ansiedlungsregion für Rechenzentren in den Vereinigten Staaten ab. Laut Berechnungen von Google & Deloitte (2023) haben die beiden betrachteten Rechenzentren in Loudoun, Virginia im Zeitraum von 2017-2022 pro Jahr die gesamtwirtschaftliche Leistung in der Region, um insgesamt etwa 1,08 Mrd. US-\$ erhöht. Von diesen Wertschöpfungseffekten entfallen 800 Mio. \$ pro Jahr direkt auf die Rechenzentren, 180 Mio. auf Zulieferindustrien und 100 Mio. auf induzierte volkswirtschaftliche Effekte. Eine zweite Studie, die sich auf den gleichen Rechenzentrums-Standort bezieht (Oxford Economics 2022) kommt auf erheblich geringere Werte (270 Mio. Euro bezogen auf eine Investitionssumme von 1,2 Mrd. Euro). Zwei Ursachen für die erheblichen Unterschiede können identifiziert werden: Zum einen unterscheidet sich der Zeitraum der Untersuchung. Zum anderen wurden in der Studie von Google & Deloitte die Koeffizienten¹³ aus der Input-Output-Analyse auf Basis unternehmensinterner Informationen zur Lieferkettenverflechtung angepasst, die sich von den Koeffizienten unterscheiden, die sich aus öffentlich verfügbaren Input-Output-Tabellen ergeben.

Ein weiterer wichtiger Standort für Rechenzentren ist Dublin in Irland. Dort haben sich durch besonders günstige Rahmenbedingungen zahlreiche Unternehmen der IT-Branche angesiedelt, die auch von der fortschrittlichen IT-Infrastruktur und durch das Vorhandensein des Hyperscalers profitieren (Grant Thornton 2018). Günstige Rahmenbedingungen umfassen unter anderem günstige Steuerbedingungen innerhalb der EU, einen Arbeitsmarkt mit hoch qualifizierten Arbeitnehmer:innen im IT-Sektor, aber auch eine gezielte Förderung von Gründungen durch die Regierung sowie die für angloamerikanische Unternehmen relevante Tatsache, dass Irland nach dem Brexit das einzige Land ist, in dem Englisch als Muttersprache gesprochen wird. Die ursprüngliche Investitionshöhe für das betrachtete Vorhaben liegt dort bei 570 Mio. Euro (Oxford Economics 2022a).

¹³ Die Koeffizienten für die Input-Output-Analyse errechnen sich für jeden einzelnen Produktionsbereich als Anteil der in der jeweiligen Produktion eingesetzten Vorleistungen an der gesamten sektoralen Produktion. Aus dieser Matrix der Vorleistungskoeffizienten wird eine Matrix von inversen Koeffizienten (die sogenannte Leontief-Inverse) berechnet, die den Kern eines Input-Output-Modells bildet. Werden einzelne Vorleistungskoeffizienten verändert, muss die Matrix der inversen Koeffizienten neu berechnet werden, da sonst das Modell inkonsistent wird.

Für Irland ergibt sich neben der einmaligen Investition ein direkter Effekt durch die ökonomische Aktivität des Rechenzentrums und darüber hinaus ein indirekter Effekt über die Vorleistungsverflechtungen¹⁴, also die Struktur der Beziehung zwischen den vorleistenden Unternehmen und den Rechenzentren-Betreiber, sowie eine induzierte Wirkung durch die Verausgabung der Löhne durch die zusätzlich eingestellten Arbeitnehmer:innen. Die Summe dieser Effekte, die jedes Jahr wieder resultieren, wurden für das Jahr 2020 auf 153,1 Mio. \$ bezogen auf das ganze Land geschätzt (nach Schätzungen von Oxford Economics 2022a).

Im Vergleich der Impulse zeigt sich, dass der geschätzte Wertschöpfungsimpuls der Hyperscale-Rechenzentren für NRW im Bereich der anderen Studien liegt. So beträgt der im Rahmen der Machbarkeitsstudie geschätzte jährliche Gesamtimpuls für das Rheinische Revier in etwa 40 Prozent der Investitionssumme. Für die Summe aus direktem, indirektem und induziertem Effekt ergibt sich ein Wert von 734 Mio. Euro, was 40 Prozent der angenommenen Investitionssumme von 1,9 Mrd. Euro entspricht. Der Gesamtimpuls besteht aus den direkten Effekten durch die Rechenzentrums-Ansiedlung, der in der Machbarkeitsstudie angenommenen Ansiedlung eines Digitalparks sowie aus den indirekten und induzierten Effekten durch Vorleistungsnachfrage und den Konsum der Beschäftigten. Aus der Studie von Google und Deloitte 2023 ergibt sich für Virginia ein Wert von 60 Prozent, während aus der Studie von Oxford Economics (2022) für Virginia ein Wert von 23 Prozent resultiert (basierend auf den absoluten Zahlen in Tabelle 5). In Irland liegt der jährliche Effekt bezogen auf die Investitionssumme bei 27 Prozent. Die nicht unerheblichen Abweichungen der Schätzungen hängen vor allem mit zwei Faktoren zusammen: So nutzen die Studien unterschiedliche regionale Abgrenzungen. Je größer die betrachtete Region ist, desto größer ist der erwartete Effekt. Auch eine intensivere Vorleistungsverflechtung (etwa weil viele Bauleistungen aus der Region bezogen werden) führt zu einem größeren Effekt.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen kann auf Basis der angenommenen Vorleistungsverflechtung eine sehr grobe Abschätzung des Impulses durch die geplanten Hyperscale-Rechenzentren nach dem derzeitigen Stand der Planungen vorgenommen werden (vgl. Tab. 2). Unter der Annahme, dass von den derzeit geplanten 3,2 Mrd. Euro insgesamt 2,5 Mrd. Euro in NRW investiert

¹⁴ Nähere Erläuterungen zum Begriff finden sich im Glossar.

werden, ergibt sich in einer groben Abschätzung aus den geplanten Investitionsvorhaben ein jährlicher Impuls in Höhe von knapp 990 Mio. Euro, der sich aus einem direkten Impuls in Höhe von 769 Mio. Euro und einem indirekten und induzierten Impuls in Höhe von 220 Mio. Euro bezogen auf das Land NRW zusammen setzt. Für die Abschätzungen der Programmwirkungen wurden die Koeffizienten der Machbarkeitsstudie mit aktuellen Informationen zur Investitionssumme verknüpft.

Für die beiden nach derzeitigem Stand geplanten Digitalparks im Rhein-Kreis Neuss und im Rhein-Erft-Kreis existiert keine methodisch vergleichbare Rechenbasis. Der Masterplan für diese beiden Digitalparks (Drees & Sommer, NMWP 2023) schätzt jedoch die Kaufkraftgewinne durch die Digitalparks auf 82,6 Mio. Euro im Rhein-Kreis Neuss, von denen ca. 45 Mio. Euro direkt im Kreis verbleiben. Die Effekte für den Rhein-Erft-Kreis werden auf 84 Mio. Euro geschätzt, von denen geschätzt 45 Mio. Euro im Kreis verbleiben. Die einmaligen Investitionsimpulse werden in beiden Fällen auf je ca. 500 Mio. Euro geschätzt. Eine quantitative Abschätzung von Sekundäreffekten (auf Handwerksbetriebe, Reinigungs- und Sicherheitsunternehmen) wird für die beiden Digitalparks nicht vorgenommen. Daher umfassen diese Angaben nicht alle Aspekte, die bei der Abschätzung der Impulse durch die Hyperscale-Rechenzentren berücksichtigt wurden. Auf eine summierte Abschätzung der direkten, indirekten und induzierten Effekte durch die beiden geplanten Digitalparks wurde aus diesem Grund verzichtet.

Tabelle 2: Geschätzte Effekte der Rechenzentren und der Digitalparks im Rheinischen Revier gemäß aktuellem Planungsstand im Vergleich

Rechenzentren	Rheinisches Revier, eigene Berechnungen, Masterplan	Loudoun County, Virginia (Google & Deloitte)	Loudoun County, Virginia (Oxford Economics)	Eastern and Midland Region, Irland
Investitionshöhe	2,5 Mrd. Euro	1,8 Mrd. \$	1,2 Mrd. \$	570 Mio. \$
Details	2 RZ (zum Stand der Studie)	2 RZ bis 2019, Erweiterungen bis 2021	2 RZ bis 2019	1 RZ in Dublin seit 2012
Gesamteffekt	990 Mio. Euro (RZ)	1,08 Mrd. \$	270 Mio. \$ (VA), 214 Mio. \$ (Loudoun County) (Kapitalinvestitionen und Betrieb)	153,1 Mio. \$ (IRL), 121,3 Mio. \$ (EM)
Direkter Effekt	RZ: 769 Mio. Euro, DP: 166,6 Mio. Euro (82,6 Mio. Euro Rhein-Kreis Neuss, 84 Mio. Euro Rhein-Erft-Kreis)	800 Mio. \$		76,1 Mio. \$ (EM)
Indirekte Effekte	220 Mio. Euro (RZ, NRW)	180 Mio. \$		31,4 Mio. \$ (EM)
Induzierte Effekte		100 Mio. \$		13,8 Mio. \$ (EM)

Quellen: Eigene Berechnungen, Drees & Sommer, NMWP (2023), Google & Deloitte (2023), Oxford Economics (2022a), Oxford Economics (2022b), DE CIX Management et al. (2021). RZ: Rechenzentrum, DP: Digitalpark, EM: Eastern and Midland Region, VA: Virginia.

Insgesamt erscheinen vor diesem Hintergrund die Schätzungen für das Rheinische Revier unter den gegebenen Annahmen plausibel. Unter der plausiblen Annahme, dass von der geplanten Investitionssumme von Microsoft in Höhe

von 3,2 Mrd. Euro 2,5 Mrd. Euro für Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier verausgabt werden, ergibt sich ein jährlicher Impuls aus direktem, indirektem und induziertem Effekt in Höhe von 990 Mio. Euro. Auf eine Abschätzung des Gesamteffekts durch die beiden geplanten Digitalparks wurde hier aufgrund der noch unvollständigen Informationen zu den Vorhaben verzichtet. Gleichzeitig ist zu bedenken, dass die erfolgreiche Ansiedlung von Unternehmen der Digitalwirtschaft im Digitalpark kein Selbstläufer ist. Dabei zeigt sich, dass ein vor allem qualitativer Wachstumsimpuls für das Rheinische Revier insbesondere in Zusammenhang mit der Ansiedlung weiterer Unternehmen einhergeht, welche die Vorteile der Hyperscale-Rechenzentren nutzen. Dies zeigt sich gerade auch in den beiden diskutierten Standorten in Virginia und Irland. Dort ist der Beitrag zur Wertschöpfung durch bereits in der Region ansässige oder neu angesiedelte Unternehmen von großer Bedeutung, die neben anderen günstigen Rahmenbedingungen die Vorteile der räumlichen Nähe zu den Hyperscale-Rechenzentren nutzen (s. beispielsweise Grant Thornton 2018: 21). In diesem Zusammenhang kommt den geplanten Digitalparks eine zentrale Rolle zu. Im Weiteren werden daher die Bedingungen für den Erfolg der Digitalparks diskutiert.

Was wissen wir über die Bedeutung der Hyperscale-Rechenzentren und Latenzzeiten für die Wettbewerbsfähigkeit und Anziehungskraft für Unternehmen?

Grundsätzlich existiert ein direkter Zusammenhang zwischen Latenzzeit und der geografischen Entfernung zum Server. Latenz ist die Verzögerung bei der Netzkommunikation bzw. die Zeit, die für die Übertragung von Daten über das Netz benötigt wird. Je näher ein Unternehmen an einem Rechenzentrum ist, desto geringer ist generell die Latenzzeit (Marco Zacchello 2023, Jens Berger 2021). Zu berücksichtigen ist dabei, dass es sich bei den Datencentern um verteilte Systeme handelt. Daher ist nicht nur die Distanz zum Rechenzentrum bedeutsam, sondern auch die Performance und Verlässlichkeit des Netzwerks an sich.

Die vorhandenen Studien weisen darauf hin, dass es bei höheren Latenzzeiten zur Verlangsamung und Verzögerung von Geschäftsprozessen und somit zu einer Reduktion der Produktivität von Mitarbeitenden kommen kann. Eine langsamere Datenübertragung kann mit einer stockenden Kommunikation einher-

gehen und potenziell Unzufriedenheit bei Kunden auslösen. Somit stellt Geschwindigkeit bei IT-Anwendungen einen potenziellen Wettbewerbsvorteil für die jeweiligen Unternehmen dar (Digital Realty o. J., acceldata 2025).

Die Auswirkungen der Latenzzeit auf die Unternehmensperformance unterscheiden sich je nach Branche und genutzter Technologie. Besonders attraktiv ist die Nähe zu Hyperscale-Rechenzentren und die Nutzung des Vorteils durch einen schnellen Zugriff auf die Kapazitäten von Hyperscale-Rechenzentren für Unternehmen, bei denen im Rahmen der IT-Anwendungen eine minimale Verzögerung zwischen Anfrage und Antwort aus der Rechenzentrum-Infrastruktur erforderlich ist (Neos-Networks 2024). Diese Art von Services wird vermehrt durch Unternehmen angefragt (Tanbits 2024). Tab. 3 zeigt eine Liste mit Dienstleistungen und Technologien, bei denen die Latenzzeit eine wichtige Rolle spielt. Besonders Latenzzeit-responsive Anwendungen finden sich unter anderem im Bereich der Finanzdienstleistungen (etwa Real-Time Anwendungen mit hohen Datenanforderungen), des Online-Gaming und der Telekommunikation mit hohen Anforderungen an die Real-time-Kommunikation (Mix 2023, Neos Networks 2024, Tanbits 2024). Auch Bereiche wie das Gesundheitswesen, der autonomen Fahrzeuge, sowie der Industrieautomation und Augmented Reality oder Logistik haben hohe Anforderungen an eine hohe Geschwindigkeit und geringe Latenz von IT-Anwendungen (Mix 2023, Neos Networks 2024, Rejeb und Keogh 2021).

Aus der ausgewerteten Literatur lassen sich Rückschlüsse darauf ziehen, wie stark die genannten Felder im Rheinischen Revier ansässig sind. Zunächst ist zu bedenken, dass die genannten Bereiche nur teilweise konkreten Wirtschaftszweigen zugeordnet werden können. Darüber hinaus sind in den entsprechenden Bereichen nicht alle Unternehmen auf geringe Latenzzeiten angewiesen und viele der genannten Anwendungen sind erst in der Entwicklung. Vor diesem Hintergrund können für das Rheinische Revier folgende Beobachtungen angestellt werden:

- Wichtige Dienstleistungsbereiche wie Finanzdienstleistungen (Frankfurt) oder Logistik (vermehrt in Ballungszentren) sind im Rheinischen Revier eher unterproportional vertreten. Auch die Anzahl international vorzeigbarer Leuchtturmunternehmen im Rheinischen Revier ist aktuell noch ausbaufähig. Eine Ausnahme bildet die Bayer AG in den Chemieparcs Dormagen und Hürth-Knapsack.

- Für den Rhein-Kreis Neuss und den Rhein-Erft-Kreis gibt der Masterplan im Rahmen einer Analyse der Wirtschaftsstruktur Hinweise für die Potenziale der Region, die aus den geplanten Hyperscaler-Infrastrukturen und die Digitalparks entstehen (Drees & Sommer, NMWP 2023). Die genannte Studie zeigt, dass die Wirtschaftsstruktur in der Region insgesamt stark durch traditionelle Industrien in Bereichen wie Chemie, Metall oder Maschinen- und Fahrzeugtechnik geprägt ist. Auch wenn in diesen Branchen traditionell eine geringe Latenzzeit keine große Rolle spielt, so kann dies in Hinblick auf neue Anwendungen durchaus auch anders sein. Somit können von den geplanten Digitalparks und Hyperscalern in diese Industrien hinein Innovationsimpulse ausgehen. Gleichzeitig spielen Branchen, für die geringe Latenzzeiten eine große Rolle spielen (insbesondere auch im Dienstleistungsbereich), bislang eine begrenzte Rolle, nehmen in ihrer Bedeutung aber zu. Die geplante Ansiedlung hat das Potenzial, diese Entwicklung zu beschleunigen.
- Gleichzeitig ergeben sich durch die Nähe zur RWTH Aachen und zum Forschungszentrum Jülich günstige Rahmenbedingungen für innovative neue Unternehmen aus den jeweiligen Forschungsfeldern der Wissenschaft heraus. Dies betrifft etwa die Industrieautomatisierung, das autonome Fahren und den Bereich Aviation. Somit profitiert insbesondere die Hochschul- und Wissenschaftslandschaft, die vermehrt in den äußeren Bereichen des Rheinischen Reviers angesiedelt ist (DE CIX Management et al. 2021: 47) und die davon ausgehenden Impulse in die regionale Wirtschaft. Ein Beispiel hierfür ist das Aldenhoven Testing Centre (ATC), welches umfassende Testeinrichtungen für vernetzte Mobilität (V2X), autonomes Fahren und andere innovative Fahrzeugtechnologien bietet. Es wird gemeinsam von der RWTH Aachen und dem Kreis Düren betrieben.
- Unternehmen aus den genannten Branchen und Technologiefeldern profitieren auch von den Hyperscale-Rechenzentren, wenn sie im weiteren Umfeld etwa in Düsseldorf oder im Ruhrgebiet angesiedelt sind.

Somit zeigt sich auf Basis des bislang eher überschaubaren Literaturstands, dass die zukünftigen Vorteile der geplanten Ansiedlung der Dateninfrastrukturen für die Wirtschaftsstruktur im Vergleich zu anderen Standorten im Inland (Frankfurt) oder Ausland (etwa um Dublin) schwerpunktmäßig einerseits innovative junge Unternehmen und andererseits Unternehmen betreffen werden, die sich aufgrund der günstigen Rahmenbedingungen im Rheinischen Revier

ansiedeln werden. Andererseits verbessern sich die Rahmenbedingungen von bereits etablierten Unternehmen in der Region.

Da in den entsprechenden Bereichen nicht alle Unternehmen auf geringe Latenzzeiten angewiesen sind und sich viele der genannten Anwendungen erst entwickeln, können derzeit noch keine seriösen Aussagen über mögliche indirekte Wirkungen des Hyperscale-Rechenzentrums durch die Ansiedlung neuer Unternehmen auf die Wertschöpfung getroffen werden. Es ist aber zu vermuten, dass die Geschwindigkeit des Datenzugriffs sich zu einem zentralen Faktor im Wettbewerb bei vielen neuen und innovativen IT-Anwendungen entwickeln wird. Die Rechenzentren dürften dabei das unmittelbare Umfeld und auch über das Rheinische Revier hinaus, einen Wettbewerbsvorteil für Unternehmen im weiteren Umfeld bieten und somit auch die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen in NRW insgesamt erhöhen.

Tabelle 3: Wichtige Bereiche, in denen niedrige Latenzzeiten eine Rolle spielen

Klassische Dienstleistungsbereiche
Finanzdienstleistungen
Telekommunikation
Gesundheitswesen
Logistik
Emergency Response Systems
Online Dienstleistungen
E-Commerce
Online advertising
Online Gaming
Cloud Computing
Weitere Anwendungsfelder
Anwendungen in der Biopharma-Branche (etwa bei der Genomsequenzierung und -analyse)
Industrielle Automatisierung und Internet of Things
Autonomes Fahren
Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR)
Grid Communication

Quellen: Neos Networks (2024), Tanbits (2024), Mix (2023), Rejeb und Keogh (2021), U.S. Department of Energy, Office of Electricity (2024), Huawei (2017)

Weitere Aspekte der Ansiedlung von Unternehmen im Digitalpark oder im Rheinischen Revier

Unternehmen – auch solche, bei denen geringe Latenzzeit wesentlich ist – treffen ihre Standortentscheidung auf Basis einer Vielzahl von Faktoren. Dabei sind auch die Unterschiede zu vergleichbaren Angeboten in anderen Technologie- und Digitalparks relevant. Aufgrund der oben diskutierten Aspekte erscheint es eher unwahrscheinlich, dass die geringere Latenzzeit für sich genommen einen ausreichenden Anreiz darstellt, um in größerer Zahl Unternehmen der Digitalwirtschaft in die unmittelbare Nähe des geplanten Hyperscale-Rechenzentrums anzuziehen.

Hinweise auf die Faktoren, die neben der Verfügbarkeit einer exzellenten IT-Infrastruktur für den Erfolg des Digitalparks relevant sind, gibt der Literaturüberblick zu kritischen Erfolgsfaktoren für Technologieparks von Cremonini Entringer und Lacopo da Silva (2020) (vgl. auch Tab. 4).

Tabelle 4: Erfolgsfaktoren für Technologieparks

1. Governance und Management (u.a. Strategie, Zeitplanung, Commitment des Managements)
2. Infrastruktur und Standort (u.a. neben IT-Infrastruktur auch physische und Transportinfrastruktur, Soziale Infrastruktur, Voraussetzungen für Technologietransfer)
3. Geeignetes Umfeld für Innovationen und Gründungsgeist (u.a. Förderpolitik, Innovationskultur, vorhandene Unternehmen, die andere anziehen; Sichtbarkeit, Attraktivität für Unternehmensansiedlungen und Gründungen)
4. Anreizmechanismen und Hochschulzugang (u.a. finanzielle Anreize; Zugang zu Hochschulen, FuE-Personal)
5. Unterstützungsleistungen für Unternehmen (u.a. Dienstleistungen für Gründungsvorhaben; Unterstützung für Unternehmensvernetzung; Training Programme; Beratungsleistungen für Geschäftspläne, Marketing, andere Unternehmensfunktionen)
6. Kultur (u.a. Umfeld, das Innovationen und Vernetzung fördert; Vertrauen; Marktorientierung)
7. Einfluss von Stakeholdern und gemeinsame Ressourcen (u.a. Unterstützung durch wichtige ökonomische Akteure; politische Institutionen; Forschungsorganisationen; Kooperationsnetzwerke; gemeinsam genutzte Ressourcen)
8. Unterstützung durch die Administration (u.a. finanzielle Förderung, vor allem in der Anfangsphase; Unterstützung durch die Administration bei der Ansiedlung von Unternehmen)
9. Ausgestaltung des Parks (u.a. Fokussierung – Zielsetzungen; Verhältnis zu Hochschulen; Kompetenz im Team realistische Einschätzungen)

Quelle: Cremonini Entringer und Lacopo da Silva (2020).

Da Technologieparks als übergeordnete Kategorie viele Ähnlichkeiten zu Digitalparks aufweisen, lassen sich die Faktoren (bis auf die stärkere Betonung der digitalen Infrastruktur in Digitalparks) übertragen. Beiden ist auch gemeinsam, dass es einen intensiven internationalen Wettbewerb um die Ansiedlung von Hightech-Unternehmen an verschiedenen Standorten gibt. Diese Aufstellung zeigt, dass der Erfolg der Digitalparks und damit auch die Realisierung der damit verbundenen Effekte im Rheinischen Revier von sehr viel mehr Faktoren abhängt als die direkten und indirekten Impulse, die von den Hyperscale-Rechenzentren ausgehen, und eine enge Vernetzung der verschiedenen

Akteur:innen (ob staatlich, von Unternehmen oder aus der Wissenschaft) erfordern. In der unteren Auswertung der Interviews zu diesem Kapitel wird ebenfalls die Bedeutung der geplanten Ansiedlung von Microsoft für die Verbesserung der Rahmenbedingungen der Digitalparks angesprochen.

Auswirkungen von Hyperscaler-Standorten auf KMU und KMU-Netzwerke

Durch eine Verbesserung der IT-Infrastruktur könnte die Wettbewerbs- und Marktposition der KMU im Rheinischen Revier verbessert werden – etwa durch eine effizientere Verarbeitung betrieblicher Daten und Geschäftsinformationen. Die geplante Errichtung von Hyperscale-Rechenzentren und Digitalparks im Rheinischen Revier bietet die Voraussetzung dafür, dass die Nutzung entsprechender IT-Infrastruktur in KMU und KMU-Netzwerken angeregt wird, was die im Wirtschafts- und Strukturprogramm für das Rheinische Revier (WSP, Zukunftsagentur Rheinisches Revier (Hrsg.) 2022) angedachten Aktivitäten unterstützt. Folgerichtig sind Hyperscale-Rechenzentren und Digitalparks etwa über die Umsetzung von Industrie 4.0- und Smart Factory-Anwendungen und innovative auf Digitalisierung beruhenden Geschäftsmodellen bereits im Wirtschafts- und Strukturprogramm 1.1 (WSP) aus dem Jahr 2021 angelegt (WSP, Zukunftsagentur Rheinisches Revier (Hrsg.) 2022: 59-60).

Zu berücksichtigen ist in Hinblick auf die Frage, welche Auswirkungen die Hyperscale-Rechenzentren auf KMU und KMU-Netzwerke besitzen, dass kleine und mittelständische Unternehmen sehr unterschiedlich sind. Daher besitzen sie auch sehr unterschiedliche Anforderungen in Hinblick auf die unternehmensexterne IT-Infrastruktur und die erforderliche Zugriffsgeschwindigkeit auf Daten.

So gut wie alle mittelständischen Unternehmen haben jedoch gemeinsam, dass sie eine moderne IT-Infrastruktur benötigen, um ihre Geschäftsprozesse zu optimieren. Die besonderen Bedingungen im Umkreis von Hyperscale-Rechenzentren sind nur für einen kleinen Teil der KMU relevant (vgl. Tab. 3). Gleichzeitig sind diese Unternehmen – ob Start-ups oder bereits länger existierende Unternehmen – in der Regel sehr innovativ und tragen tendenziell überdurchschnittlich zum Wachstum bei. Gerade für diese innovativen KMU können die geplanten Hyperscale-Rechenzentren eine wichtige Infrastruktur bilden, die deren Ansiedlung und Wettbewerbsfähigkeit im Rheinischen Revier begünstigt.

Die Vernetzung zwischen Unternehmen kann in vielerlei Hinsicht eine Rolle im Wettbewerb spielen. Dies betrifft die Beziehung zwischen Zulieferern und Kunden, aber etwa auch Kooperation in Hinblick auf Fachkräfte oder vorwettbewerbliche Zusammenarbeit in Innovationsfragen. Dies findet teilweise innerhalb von Clusterorganisationen statt, die staatlich gefördert die Unternehmen einer Branche unterstützen (vgl. u.a. Kiese 2012).

Die IT-Infrastruktur ist für die Vernetzung von Bedeutung, wenn der Datenaustausch innerhalb des Netzwerks im Vordergrund steht. In der Literatur wurde das beispielsweise im Fall von Zulieferer-Kunden-Beziehungen gezeigt, wenn entlang der Wertschöpfungskette eine engere IT-gestützte Kooperation erforderlich ist (Partanen et al., 2020).

Auch die IT-gestützten Kooperationen erfordern nicht in allen Fällen eine niedrige Latenzzeit. Es ist davon auszugehen, dass insbesondere bei Kooperationen zwischen Unternehmen, die in den in Tab. 3 genannten Branchen und Technologiefeldern aktiv sind (i.d.R. mit großen Datenmengen und der Anforderung für kurze Reaktionszeiten), eine kurze Latenzzeit erfolgsrelevant ist – mit künftig voraussichtlich zunehmender Tendenz.

Auswirkungen von IT-Infrastrukturinvestitionen auf Unternehmensorganisation, Innovationen und Unternehmensgründungen

Aus Sicht der Unternehmen ist das Vorhandensein einer geringen Latenzzeit in der Regel nicht vom Zustand der gesamten IT-Infrastruktur zu trennen. Verschiedene Studien, die sich mit den Einflussfaktoren von IT und IT-Infrastruktur auf die Unternehmensorganisation befassen, kommen zu dem Ergebnis, dass eine stärkere Nutzung von IT und digitaler Infrastruktur in mehreren Dimensionen eine positive Auswirkung auf die Unternehmensperformance haben:

- *Unternehmensinterne Organisationsprozesse:* So werden sowohl unternehmensinterne Organisationsprozesse positiv beeinflusst als auch den Austausch von Informationen erleichtert und somit zu einer Verbesserung des Unternehmensergebnisses beitragen kann.
- *Innovationsfähigkeit von Unternehmen:* Cassia et al. (2024) zeigen auf Basis einer Befragung von 90 multinationalen Unternehmen mit Sitz in der Region Sao Paolo, dass sich Initiativen zum Ausbau der IT-Infrastruktur, die das Ziel verfolgen, den Wissensaustausch zwischen Unternehmen zu fördern, einen positiven Einfluss auf die technologische Innovationsfähigkeit der betroffenen Firmen haben.

- *Lieferketteneffizienz*: Hou (2020), zeigt durch Unternehmensbefragungen am Beispiel der Elektronikindustrie in Taiwan auf, dass eine verstärkte IT-Nutzung u.a. zu einer verbesserten Lieferketteneffizienz innerhalb von Wirtschaftsklustern führen kann.
- *IKT-Infrastruktur und Beschäftigung*: Santos et al. (2023) zeigen auf, dass im Zeitraum von 1995 bis 2019 im Vergleich der EU-Mitgliedsstaaten eine Verstärkung der landesweiten Investitionen in die IKT-Infrastruktur um 100.000 Euro mit einem Beschäftigungsanstieg in Höhe von durchschnittlich 3,3 Jobs korrelierte. Allerdings nimmt der Beschäftigungseffekt der IKT-Investitionen im Zeitverlauf ab, parallel zur Zunahme höher qualifizierter Tätigkeiten.

Neben der unternehmensexternen Infrastruktur spielt aber auch die interne IT-Infrastruktur eine Rolle im Hinblick auf Wettbewerbsfähigkeit und Innovationsaktivitäten der Unternehmen. Qin et al. (2021) stellen eine positive Korrelation zwischen Investitionen in die firmeninterne IT-Infrastruktur und Produktinnovationen in Industrieunternehmen und IT-Dienstleistern in den Niederlanden fest.

Zusammenhang zwischen Hyperscale-Rechenzentren und Innovationen bzw. Gründungsaktivitäten

Neben Wettbewerbsfähigkeit und Innovationen ist die IT-Infrastruktur auch positiv mit anderen Indikatoren wie Unternehmensgründungen korreliert. Bennett (2019) stellt fest, dass sich im Zeitraum von 1990 bis 2015 speziell private Infrastrukturinvestitionen in den Bundesstaaten der USA positiv auf die Zahl der Unternehmensgründungen und Patentanmeldungen auswirkten. Gleichzeitig zeigt die geplante Etablierung von Digitalparks im Umfeld des Hyperscale-Rechenzentrumstandorts in Frankfurt, dass auch dort die Hoffnung besteht, durch die Nähe zum Rechenzentrum Unternehmen anzuziehen, die die Vorteile der digitalen Infrastruktur nutzen. Geplant bzw. im Aufbau sind Digitalpark-Standorte in Fechenheim, Hattersheim, Niederrad, Ostend und Sossenheim (Digital Realty 2023).

Die einzige Studie, die sich breiter mit Auswirkungen der Rechenzentren auf regionale Innovationsaktivitäten und den Wissenstransfer zwischen innovativen Unternehmen auseinandersetzt, ist eine Studie für Datenzentren in Irland (Grant Thornton 2018). Diese beobachtet qualitativ verschiedene Spillover-Effekte der Rechenzentrums-Infrastruktur auf den Standort, die mit intensivierten Innovationsaktivitäten einhergehen:

- Die Rechenzentrums-Infrastruktur hat zur Entwicklung des digitalen Ökosystems beigetragen. Neben den innerhalb derer Wertschöpfungskette mit den Rechenzentren verbundenen Unternehmen wurden auch Unternehmen, die jeweils eine hohe Daten-Intensität aufweisen wie Teile des IKT-Sektors, der Finanzdienstleistungen und des Biopharma-Sektors angezogen.
- Die Entwicklung von geografischen Clustern um die Rechenzentren, die durch das Vorhandensein potenzieller Kunden, Zulieferer und Ressourcen wie einem spezialisierten Arbeitsmarkt für Fachkräfte in dem Bereich entstehen. Die entstehende Vernetzung hat zu intensivem Wissensaustausch und damit verbundenen Innovationsaktivitäten beigetragen. Die Autoren der Studie identifizieren vergleichbare Effekte auch an anderen Standorten für Rechenzentren wie Frankfurt, London, Amsterdam oder Loudoun Country Virginia, und eben auch in Irland.
- Weiterhin beobachten die Autoren der Studie eine enge Verbindung der Rechenzentren mit Hochschulen über die Nachfrage nach qualifizierten Arbeitskräften. Dabei stehen insbesondere die Studierenden im Bereich der MINT-Fächer (Mathematik, Ingenieurwissenschaften, Naturwissenschaften und Technik) im Mittelpunkt. Diese qualitative Einschätzung wird jedoch nicht durch quantitative Größen hinterlegt. Eine Einschätzung, inwieweit diese Nachfrage nach qualifizierten Mitarbeiter:innen gleichzeitig negative Effekte auf die Nachfrage nach weniger qualifizierten Arbeitskräften hat, ist auf der Basis der vorliegenden Untersuchung nicht möglich.
- Weiterhin entstanden nach Angaben der Studie Spillover-Effekte etwa über die Mobilität der Arbeitskräfte und die in der Etablierung der Rechenzentren gesammelten Erfahrungen, die auch anderen Branchen zugutekamen, die mehr zu den innovativen Anwendern von IKT-Anwendungen zählen wie etwa aus der Pharma-, der Medizintechnik-Industrie oder dem Agrarbereich.

Die Literatur zu den Digital- und Technologieparks liefert einen Hinweis auf die Bedeutung der Hyperscale-Rechenzentren als IT-Infrastruktur für das Innovationsgeschehen und die Gründungs- und Ansiedlungsaktivitäten. Dabei zeigt sich, dass diese einen von mehreren Faktoren darstellt, die in ihrem Zusam-

menwirken eine Region und einen Standort attraktiv für innovative Unternehmen und Gründungsvorhaben machen (vgl. hierzu die Diskussion in Abschnitt 4.2.1). Dazu gehören aber auch parallele staatliche Förderaktivitäten für Innovationen, die bereits erfolgte Ansiedlung von weiteren Unternehmen aus relevanten Branchen und eine hohe Sichtbarkeit der Region für Unternehmen der Digitalbranche, sowie eine enge Vernetzung mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen im Bereich digitaler Technologien. Diejenigen Unternehmen, die von den Rahmenbedingungen angezogen werden, sind sowohl datenintensive Neugründungen als auch Standorte von Großunternehmen, die auf eine kurze Latenzzeit angewiesen sind. Im Mittelpunkt stehen dabei insbesondere Unternehmen der Informations- und Kommunikationstechnologiebranche, der Pharmazeutischen Industrie, der Finanzdienstleistungen und der Softwareentwicklung. Aber auch Unternehmen aus anderen Feldern, die etwa neue automatisierte Industrielösungen oder Lösungen im Bereich Autonomes Fahren entwickeln, können von diesen Rahmenbedingungen angezogen werden.

Produktivitätseffekte

Die gestiegene Wertschöpfung geht dann mit einer Produktivitätssteigerung einher, wenn durch eine hohe Kapitalintensität, hoch qualifizierte Arbeitskräfte und den technischen Fortschritt die Wertschöpfung je Arbeitnehmer zunimmt, was auch einen Wohlstandseffekt für das Rheinische Revier und Nordrhein-Westfalen bedeuten könnte. Aus mehreren Gründen ist in der Gesamtbilanz mit positiven Produktivitätseffekten zu rechnen. So weisen Hyperscale-Rechenzentren eine sehr hohe Kapitalintensität auf, was im Umkehrschluss zu einer hohen Arbeitsproduktivität führt. Das ist darin begründet, dass in den Rechenzentren der Kapitalstock pro Arbeitnehmerin und -nehmer sehr hoch ist. Darüber hinaus entsteht insbesondere durch die Ansiedlung von Unternehmen der Digitalwirtschaft – vorausgesetzt, die Folgeansiedlungen der Digitalwirtschaft werden realisiert – eine Vielzahl hoch qualifizierter Arbeitsplätze. Es ist davon auszugehen, dass auch dieser Effekt eine deutliche Produktivitätssteigerung zur Folge haben wird.

2.2 Welche Ausgangslage und Perspektiven kennzeichnen die Region nach Einschätzung von Expert:innen? (Ergebnisse der Interviews)

Expert:innen sind uneinig über gegenwärtigen Zustand der Digitalwirtschaft

Durch die geplante Ansiedlung der Hyperscale-Rechenzentren wird sich ein Auftrieb für die Digitalwirtschaft in der Region erhofft. Die Einschätzungen zum momentanen Bestand der Digitalwirtschaft im Rheinischen Revier sind geteilt: Während einige Gesprächspartner den Sektor Digitalwirtschaft als gut entwickelt ansehen, kritisieren andere die geringe Präsenz von Unternehmen mit digitalen Geschäftsmodellen im Rheinischen Revier. Unter dem Begriff Digitalwirtschaft wird für die Zwecke dieser Studie alle Unternehmen verstanden, die digitale Technologien entwickeln, nutzen oder bereitstellen. Dazu gehören Unternehmen, die in ihren Geschäftsmodellen digitale Produkte und Dienstleistungen anbieten, wie Software, Apps, digitale Plattformen oder Online-Dienste (siehe Glossar). Insbesondere Kommunen und Kreise in der Nähe der Städte Aachen und Köln sehen die Digitalwirtschaft schon sehr gut aufgestellt. Akteur:innen aus ländlicheren Kommunen wie Bergheim empfinden die Entwicklung der Digitalwirtschaft hingegen als unzureichend. Torsten Stamm aus Bedburg beschreibt es so: „Es gibt nur vereinzelt Unternehmen aus der Digitalwirtschaft, aber keine besonders ausgeprägte Präsenz oder eine nennenswerte Verbreitung in diesem Bereich.“

Rechenzentrums-Branche begrüßt Ansiedlung

Das geplante Vorhaben der Errichtung der Hyperscale-Rechenzentren von Microsoft im Rheinischen Revier wird von anderen Rechenzentrumsbetreibern aus wirtschaftlichen und technologischen Gründen mit großem Interesse beobachtet. Die Kommunen im Rhein-Kreis Neuss und Rhein-Erft-Kreis erhalten zunehmend Flächenanfragen von Rechenzentrumsbetreibern, die auf der Suche nach geeigneten Standorten für ihre eigenen Rechenzentren sind. Zudem, berichtet Kilian Wagner (Bitkom), existieren diverse Anziehungseffekte zwischen Rechenzentren, wodurch Folgeansiedlungen von weiteren Rechenzentren begünstigt werden. Dies sei auch in Frankfurt der Fall gewesen.

Auch bestehende Rechenzentrumsbetreiber in der näheren Umgebung des Rheinischen Reviers wie das neue nachhaltige Rechenzentrum in Köln von

NetCologne verfolgen den Prozess. Dr. Eva-Maria Ritter von NetCologne sieht die geplanten Microsoft-Hyperscaler als Ergänzung zu dem neuen Rechenzentrum in Köln, da sie eher auf die Bedürfnisse größerer Kunden ausgerichtet sein werde, während NetCologne auf mittelständische Kunden abziele. Das Rechenzentrum im Forschungszentrum Jülich (FZJ) sieht sich ebenfalls als Ergänzung. Mit seiner Expertise in Bereichen wie KI, Simulation und datengetriebener Modellierung möchte das FZJ die lokale Wirtschaft und Industrie unterstützen.

Die geplante Ansiedlung von Microsoft stärke aus Sicht der meisten befragten Akteur:innen die digitale Infrastruktur der Region und schaffe perspektivisch neue Arbeitsplätze (siehe Wirkebene Löhne und Beschäftigung). Für eine flächendeckende Digitalisierung seien neben den Großrechenzentren auch dezentrale Edge-Computing-Lösungen wichtig. Edge Computing beschreibt die dezentrale Verarbeitung von Daten nahe der Datenquelle, was im Gegensatz zu zentralen Cloud-Rechenzentren eine geringere Latenz und somit schnellere Reaktionszeiten ermöglicht. Cloud und Edge Lösungen können als komplementär angesehen werden, wie auch die GIMI-Studie aufzeigt¹⁵ Die Konnektivität spielt dabei eine entscheidende Rolle – hier gebe es in der Region Nordrhein-Westfalen noch Potenzial für Verbesserungen im Vergleich zu Vorreitern wie Berlin oder Amsterdam. Denn trotz der geografischen Nähe stünden die Betreiber der Internetknoten nicht in einem engen Austausch, sagt Christian Dieckhoff (BCIX). In Berlin und Brandenburg sei die digitale Community sehr viel enger miteinander vernetzt und häufiger im Kontakt.

Große Zuversicht in die Anziehungskraft für zukünftige Unternehmensansiedlungen

Die ökonomische Relevanz bzw. die wirtschaftliche Bedeutung der geplanten Ansiedlung der Hyperscale-Rechenzentren wird durch die Interviewten häufig von den neu ansiedelnden Unternehmen abhängig gemacht. Dabei sei es wichtig, nicht nur auf Start-ups zu setzen, so Roland Broch vom eco e.V., sondern auch größere Unternehmen in die Region zu holen. Dafür brauche es geeignete Flächen und Räumlichkeiten, wie Büros für Gründer, Co-Working-

¹⁵ Die Studie „Geschäftspotenziale und Geschäftsmodelle für Edge-Investitionen“ von GIMI RESEARCH untersucht die Bedeutung von Edge-Computing und dessen Abgrenzung zu traditionellen Cloud-Lösungen. Sie hebt hervor, wie Edge-Computing durch geringere Latenzzeiten und erhöhte Sicherheit neue Geschäftsmöglichkeiten schafft. Und geht dabei konkret auf die Potenziale des Rheinische Reviers ein.

Spaces und Seminarräume. Solche Angebote würden dazu beitragen können, Talente zusammenzubringen und den Austausch und die Weiterentwicklung digitaler Dienste zu fördern. Es wird aber auch angemerkt, dass sich Unternehmen ansiedeln könnten, die trotz ihrer Aktivität in der Region keine großen Büroflächen benötigen. Gerade Firmen, deren Mitarbeitende überwiegend remote arbeiten, seien nicht auf umfangreiche Büroparks angewiesen. Für diese Unternehmen braucht es andere Angebote, um eine Ansiedlung attraktiv zu machen. Torsten Heerz vom Rhein-Erft-Kreis sagt: „Wir sitzen mit allen Kommunen zusammen an der Frage, wie wir Gewerbeparks entwickeln können, die eine spezielle Ausrichtung und die speziellen Bedürfnisse von der Digitalwirtschaft in jeglicher Ausprägung erfüllen. Da haben wir uns auf den Weg gemacht, aber es ist eine große Aufgabe.“

Aus Sicht von Christian Trapp (dalli group) sind neben der Digitalwirtschaft auch komplementäre Industrien aus den Bereichen Energiegewinnung, -versorgung, -speicherung und -management vielversprechende Anwärter für Folgeansiedlungen, insbesondere für neue Unternehmen mit innovativen Ansätzen und Technologien. Die Energiewirtschaft baut auf der Expertise der Region auf. Besonders im Kontext von Rechenzentren könnten neue Technologien und Dienstleistungen entwickelt werden, um deren Betrieb ökologisch und effizient zu gestalten. Andere Akteur:innen haben ebenfalls Ideen zu möglichen komplementären Industriezweigen. Jochen Pollotzek (NRW.Global Business) ist der Meinung, dass die Rahmenbedingungen in den Digitalparks nicht nur auf die Schaffung von Arbeitsplätzen für KI-Profis und Cloud-Computing-Expert:innen abzielen sollten, sondern auch auf industrielle Arbeitsplätze. Daher sind Themen wie Batterierecycling, Elektrolyseure und die gesamte Wasserstoff-Wertschöpfungskette für ihn ebenfalls von großer Bedeutung, da sie industrielle Aspekte abdecken. Dirk Brügge aus dem Rhein-Kreis Neuss kann sich vorstellen, dass das Rheinische Revier ein Standort für die Halbleiterindustrie wird. Auch Kilian Wagner (Bitkom) sieht in den zukünftigen Ansiedlungen viele Möglichkeiten für Unternehmen. „Neben Rechenzentren könnten auch andere Wertschöpfungsketten der Digitalisierung, wie die Chipherstellung, ähnlich wie in Magdeburg, entstehen. Es könnte ein Ökosystem entstehen, das die Digitalisierung von vorne bis hinten entwickelt. Allerdings ist es derzeit noch schwer vorherzusagen, wie sich dies gestalten wird.“

Bestandsunternehmen sehen kaum wirtschaftliche Anknüpfungspunkte bei Hyperscale-Rechenzentren

Das Rheinische Revier ist geprägt durch eine vielfältige Wirtschaftsstruktur mit traditionellen Industriebranchen wie Chemie, Aluminium, Papier und Lebensmittel. Diese Unternehmen sind wichtige Arbeitgeber und Steuerzahler für die Region. Insgesamt sehen die Akteur:innen wenig direkte ökonomische Relevanz in der geplanten Ansiedlung der Hyperscale-Rechenzentren für ansässige Unternehmen. Christian Trapp von der dalli group sagt: „Für uns als Industrieunternehmen ist es mittlerweile fast egal, woher die Services kommen, solange sie aus Europa oder besser noch aus Deutschland stammen. Es ist für uns als Unternehmen in der Region Aachen nicht entscheidend, ob ein Rechenzentrum in Bedburg, Köln, Frankfurt oder Hamburg sitzt – das spielt keine große Rolle. Dennoch ist es ein gutes Gefühl zu wissen, dass die Tech-Branche in der Region investiert.“ Bestandsunternehmen könnten durch die Standortstärkungen, die durch den geplanten Infrastrukturausbau entstehen und den Imagegewinn für die Region, welche die Ankündigung von Microsoft gebracht hat, profitieren.

Ein Rechenzentrumsstandort in der EU bietet Unternehmen den Vorteil, dass ihre Daten unter den Schutz der DSGVO fallen. Auch Unternehmen mit Rechenzentren außerhalb der EU, die digitale Dienste in Deutschland anbieten, müssen die DSGVO-Vorgaben beachten. Da diese hohe Standards für den Datenschutz setzen, sind Unternehmen so rechtlich besser abgesichert. Die Datenspeicherung innerhalb der EU minimiert zudem Unsicherheiten, die durch unterschiedliche Datenschutzgesetze in Drittstaaten wie den USA entstehen können, was das Risiko rechtlicher Probleme bei internationalen Datenübertragungen verringert. Eine Ansiedlung von Rechenzentren in Deutschland unterstützt Unternehmen somit bei der DSGVO-konformen Datenspeicherung.

Gleichzeitig bietet die durch die Rechenzentren vorwärtsgetriebene Digitalisierung auch Chancen für die Bestandsunternehmen, etwa durch den Einsatz von Künstlicher Intelligenz, welche zur Effizienzgewinnen und Prozessoptimierung beitragen kann. Die befragten Unternehmen gehen auch davon aus, dass ihr Datenbedarf steigen wird, können dies aber noch nicht genauer quantifizieren. Insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen haben oft Schwierigkeiten, diese Potenziale der Digitalisierung zu erschließen. Hier sehen insbesondere

die befragten Akteur:innen der Handelskammern und Unternehmen in der Region eine wichtige politische Aufgabe darin, die Digitalisierung der Bestandsunternehmen zu unterstützen und die Wettbewerbsfähigkeit der traditionellen Industrien zu stärken. Ein bestehendes Instrument diesbezüglich sind die Zukunftsgutscheine. KMUs mit bis zu 249 Beschäftigten im Rheinischen Revier (unter anderem KMUs aus den befragten Kommunen Rhein-Kreis Neuss und dem Rhein-Erft-Kreis) erhalten externe Beratung und können Förderung für Personalkosten, Qualifizierungsmaßnahmen und Investitionskosten erhalten. Für den Kreis Euskirchen ist das Förderinstrument Zukunftsgutscheine nur eingeschränkt anwendbar (s. Richtlinie „Zukunftsgutscheine“ des Landes Nordrhein-Westfalen). Ein anderes Problem, welches die Handelskammer beklagen, dass es schwierig geworden ist, Unternehmen für Förderungsmöglichkeiten zu begeistern. Denn der bürokratische Aufwand wirkt häufig für unerfahrene oder kleinere Unternehmen abschreckend. „Viele Unternehmer haben keine Lust mehr aufgrund der Komplexität der Anträge und ständigen Änderungen bei Förderprogrammen, sich mit mir über Förderung zu unterhalten und das ist kein gutes Zeichen“, sagt Nicolai Dwinger von der IHK Mittlerer Niederrhein.

Insgesamt sei es notwendig, die Transformation der Wirtschaft in der Region so zu gestalten, dass die Stärken der Bestandsunternehmen erhalten bleiben und gleichzeitig neue, zukunftsfähige Branchen wie die Digitalwirtschaft zu schaffen. Dafür sind Investitionen in die digitale Infrastruktur wie Glasfaserleitungen und Cybersicherheit notwendig, welche durch die geplante Ansiedlung der Hyperscale-Rechenzentren forciert werden. Fachkräftegewinnung und -bindung sowie die Vernetzung von Tradition und Innovation seien zentral. Auch sollte laut mehrerer Expert:innen über Möglichkeiten der Vernetzung von Digitalwirtschaft und traditioneller Industrie nachgedacht werden. Denn für die Bestandsunternehmen sei oftmals noch nicht ersichtlich, was ein Hyperscale-Rechenzentrum für sie bietet und wie sie die Möglichkeiten konkret für sich nutzen können.

Potenziale für neue Wertschöpfung seien vorhanden und müssen schnell vorangebracht werden

Microsoft plant, Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier zu errichten, was als positive Entwicklung für die Region angesehen wird. Dies soll nicht nur direkte Arbeitsplätze mit sich bringen, sondern auch zur lokalen Wertschöpfung und zum Wachstum in der Digitalwirtschaft beitragen. Allerdings gibt

es auch Bedenken, dass Microsoft vor allem als globaler Konzern agiert und nur wenige lokale Arbeitsplätze schafft. Die erwarteten zusätzlichen Steuereinnahmen durch Microsoft werden häufig von den befragten Akteur:innen aus Wirtschaftsunternehmen, Handelskammern und Internetknoten als gering eingeschätzt.

Zudem wird diskutiert, wie man die Ansiedlung von Microsoft für eine breitere digitale Wertschöpfung in der Region nutzen kann, etwa durch die Ansiedelung weiterer IT-Unternehmen in Digitalparks. Den Akteur:innen ist bewusst, dass die Hyperscale-Rechenzentren an sich in der Regel nur wenige Arbeitsplätze im Verhältnis zur genutzten Fläche schaffen. Christian Dieckhoff vom BCIX schätzt, dass ein Hyperscale-Rechenzentrum im Durchschnitt 50 Stellen schafft. Diese Aussage stimmt mit den Schätzungen der Machbarkeitsstudie überein. Auf der Website von Microsoft (Microsoft 2024d) wird mit 50 Arbeitsplätzen pro Gebäude gerechnet.

Für die Wertschöpfung seien daher die erwarteten Folgeeffekte entscheidend. Besonders relevant seien hierbei die Effekte der Ansiedlung zusätzlicher Unternehmen aus der Digitalwirtschaft in der direkten Umgebung der Hyperscale-Rechenzentren. Deshalb werden der Rhein-Kreis Neuss und der Rhein-Erft-Kreis im Kreuz der beiden großen überregionalen Datentrassen (Amsterdam-Frankfurt, Paris-Stockholm) gezielt Digitalparks geschaffen, die Unternehmen der Digitalwirtschaft attraktive Bedingungen bieten sollen. Dabei geht es nicht nur um die Bereitstellung von Infrastruktur, sondern auch darum, Synergien zwischen traditioneller Industrie und digitalen Unternehmen zu fördern. Timothy Fitschen von der Bundesagentur für Arbeit sagt: „Das ist ganz klar, wenn dort bis zu zweieinhalbtausend Arbeitsplätze pro Digitalpark erwartet werden, müssen da natürlich Unternehmen hinkommen.“ Er erwartet eine Veränderung in der Wertschöpfung, die sich vom produzierenden Gewerbe zunehmend in Richtung Dienstleistungen verlagern werde – insbesondere in den Bereich digitaler Dienstleistungen.

Das Rheinische Revier soll dabei kein reiner Rechenzentrumsstandort werden. Das wäre sehr einfach, so Jochen Pollotzek (NRW.Global Business). Denn die Nachfrage sei hoch, besonders weil der Standort Frankfurt ausgelastet und sehr teuer geworden ist. Die Aufgabe wäre aber, einen Digitalpark zu schaffen, der digitale Geschäftsmodelle anzieht, die Arbeitsplätze in der Region schaffen. Im Bereich der digitalen Technologien konzentriert sich NRW.Global Business bei der Standortvermarktung auf drei zentrale Trendthemen: Künstliche

Intelligenz (AI), Cloud Computing und Cyber Security. Die zeitliche Perspektive spiele beim Aufbau der Digitalparks eine wichtige Rolle, sagt Jochen Pollotzek (NRW.Global Business): „Sind wir schnell genug, um diese Digitalparks überhaupt zu entwickeln? Frimmersdorf, tolles Projekt, aber dauert alles noch ganz schön lange. Also ich glaube, da können wir vor [20]27 noch kein Unternehmen ansiedeln.“

Unsicherheiten über die richtige Vorgehensweise bezüglich der Digitalwirtschaft schwingt in mehreren Interviews mit. Dies sei einerseits mangelnden Erfahrungswerten im Vergleich mit bestehenden Digitalregionen wie Frankfurt und Amsterdam geschuldet. Zudem würden aus der Sicht eines befragten Unternehmers die Investitionsentscheidungen final von den Unternehmen nach belastbaren Standortfaktoren getroffen. Diese müssten relevant und konkret sein, um bei der Wahl eines Standorts eine Rolle zu spielen. Weiche Standortfaktoren seien dagegen für Arbeitnehmer wichtiger. Auch bei dem Konzept Digitalpark bestehen noch Unsicherheiten. Jochen Pollotzek (NRW.Global Business) sieht hier zwar großes Potenzial, aber er habe bisher noch nicht ausreichend Beispiele für einen klassischen Digitalpark gesehen, der auf einer Fläche von 10 Hektar geplant sei und 2.500 Arbeitsplätze schaffe. Daher bestehe Unsicherheit, ob und wie ein solches Vorhaben umgesetzt werden könne.

Jedoch, so Jochen Pollotzek (NRW.Global Business), bringe die Microsoft-Ansiedlung, einen weiteren großen Schub, der die nötige Aufmerksamkeit schaffe und künftige Investitionsentscheidungen beeinflussen könne. Er sehe Microsoft, welches ein sehr bekanntes und allgemein positiv besetztes Unternehmen sei, als Standortbotschafter. Nicolai Dwinger (IHK Mittlerer Niederrhein) spricht hier vom sogenannte „Starbucks-Effekt“. In Großstädten gelten Standorte, an denen Starbucks eröffnet, oft als besonders attraktiv. Ähnlich verhält es sich bei großen Technologieunternehmen wie Microsoft: Wenn Microsoft einen Standort wählt, signalisiert dies ebenfalls, der Standort sei stark und vielversprechend. Expert:innen geben aber zu bedenken, dass auch bei dem geplanten Vorhaben von Microsoft noch vieles für die Akteur:innen in der Region unklar ist. So sei noch fraglich, wie man voneinander und füreinander profitieren könne. Das Interesse sei geweckt, aber alle hören zu und warten, dass Microsoft konkrete Angebote verkündet oder ins Gespräch kommen möchte.

Konnektivität und Latenzen sind wichtig, Latenzen aber nicht für alle

Das Fundament für den Aufbau einer starken Digitalwirtschaft ist bereits vorhanden, und die geplanten Hyperscale-Rechenzentren schaffen eine weitere Grundlage für zukünftige Entwicklungen. Es sei wichtig, so die Meinung vieler Akteur:innen, in NRW eine florierende Digitalwirtschaft aufzubauen, die auch unabhängig von den Microsoft-Rechenzentren funktioniert. Die Konnektivität zwischen den digitalen Akteur:innen – sei es durch technologische Infrastrukturen oder Netzwerke, Cluster sowie strategische Partnerschaften – sei von zentraler Bedeutung für den Erfolg der Region, so Christian Dieckhoff vom BCIX. Der zwischenmenschliche und technologische Austausch und Wissenstransfer seien entscheidend für die wirtschaftliche Entwicklung und den Fortschritt. Das Wissen darüber, was andere können, trage dazu bei, dass Dinge vor Ort bleiben und sich weiterentwickeln können.

In Rechenzentren und Netzwerken bedeutet Konnektivität, dass Server und Netzwerke miteinander verbunden sind, um Daten effizient zu transportieren und Dienste bereitzustellen. Hohe Konnektivität ist besonders wichtig, um eine schnelle und zuverlässige Datenübertragung zu gewährleisten. Dies wird oft durch sogenannte Cross-Connects und Verbindungen zu Internet-Austauschknoten erreicht, die den Austausch zwischen verschiedenen Netzwerken erleichtern. Aus Christian Dieckhoffs (BCIX) Sicht dürfe Konnektivität nicht viel kosten, um attraktiv zu sein. Andernfalls könne die geografische Nähe, die anfangs ein Vorteil war, durch falsche Rahmenbedingungen wirkungslos werden. In einem Rechenzentrum müssen Unternehmen oft teure Glasfaserverbindungen kaufen, um Daten direkt mit anderen Firmen wie Google oder Microsoft auszutauschen. Konkret heißt das: Es ist üblich, dass Unternehmen in Rechenzentren für Glasfaserverbindungen und andere direkte Netzwerkverbindungen zahlen. Diese Cross-Connects verbinden die Server eines Unternehmens physisch mit anderen Servern oder Netzwerken im Rechenzentrum, häufig zu Cloud-Providern wie Google Cloud, Microsoft Azure oder Amazon Web Services. Diese Verbindungen sind entscheidend, um schnelle, zuverlässige und private Datenübertragungen zu ermöglichen. Die Kosten können je nach Standort des Rechenzentrums stark variieren. An Orten mit hoher Konkurrenz und Verfügbarkeit, wie Frankfurt, sind die Preise oft niedriger, da hier viele Anbieter um Kunden konkurrieren. In anderen Regionen, besonders in den USA außerhalb der großen Metropolen, können die Preise jedoch deutlich höher sein. Der

hier von BCIX geäußerte Gedanke ist, dass je günstiger die Glasfaserverbindungen sind, desto attraktiver wird der Standort für Unternehmen. Die Kosten für solche Verbindungen können je nach Standort stark variieren, von etwa 120-150 Euro pro Monat in Frankfurt bis zu 800–900 Euro in den USA. „Ich nenne es mal liebevoll die Wegelagerei des digitalen Zeitalters.“, so Christian Dieckhoff. Ein Beispiel für eine kostengünstigere Lösung sei das Nikhef Housing in Amsterdam. Dort wurde ein öffentliches Kollokationszentrum aufgebaut betrieben von Nikhef, das als Konnektivitätshub dient. Unternehmen teilen sich dort Schränke und zahlen keine monatlichen Gebühren für Cross-Connects, was den Standort sehr attraktiv mache.¹⁶ Ggf. könnten künftige Investor:innen oder Betreiber von Digitalparks prüfen, inwieweit ein ähnliches Modell auch für einen Digitalpark im Rheinischen Revier umsetzbar ist und Vorteile bietet.

Zusätzlich zur Konnektivität ist Latenz ein weiteres Stichwort, das in der Diskussion zum Aufbau einer starken Digitalwirtschaft im Rheinischen Revier häufig genannt wird. Niedrige Latenzen werden für eine Vielzahl von digitalen Geschäftsmodellen nicht als höchste Priorität gesehen. Andreas Weiss (eco e.V.): „Wenn wir es aus technischer Sicht betrachten, ist es relativ egal, wo das Hyperscale-Rechenzentrum steht, sofern die Konnektivität vorhanden ist.“ Eine digitale Beratungsgesellschaft z.B. sei nicht auf niedrige Latenzen angewiesen. Hingegen seien geringe Latenzen für solche Unternehmen essenziell, deren Geschäftsmodelle (siehe Literatúrauswertung) auf verzögerungsfreie Echtzeitanwendungen beruhen. Der Grundgedanke sei, so Markus Wolff (IHK Aachen), dass die rapide technologische Entwicklung in Bereichen wie auto-

¹⁶ Nikhef Housing ist ein bedeutendes Kollokationszentrum im Amsterdam Science Park. Es dient als einer der größten Internet-Hubs in Europa und beherbergt über 200 Parteien, darunter große Internet Exchanges wie AMS-IX, NL-IX und ND-IX sowie Telekommunikationsanbieter, Carrier, Internetdiensteanbieter und DNS-Server. Darüber hinaus gibt es auch das Nikhef (Nationaal instituut voor subatomaire fysica), das niederländische nationale Institut für subatomare Physik, das sich am gleichen Standort befindet. Es ist eines der führenden Forschungszentren für die Erforschung von Elementarteilchen und deren Wechselwirkungen.

Im Nikhef-Rechenzentrum in Amsterdam werden in der Regel keine monatlichen Gebühren für Cross-Connects erhoben, was ein wesentlicher Vorteil ist. Diese Eigenschaft macht Nikhef besonders attraktiv für Unternehmen, die Verbindungen mit anderen Netzen oder Internet-Austauschpunkten wie dem AMS-IX herstellen wollen, ohne dass zusätzliche, wiederkehrende Kosten anfallen. Der Ansatz von Nikhef als Konnektivitätsknotenpunkt in Verbindung mit dieser Kostenstruktur macht die Einrichtung für Unternehmen erschwinglicher und zugänglicher als in vielen anderen Rechenzentren, in denen Cross-Connect-Gebühren Standard sind. Diese Politik spiegelt das Ziel von Nikhef wider, eine hohe Konnektivität zu unterstützen und eine kollaborative Netzwerkumgebung innerhalb des Amsterdamer Wissenschaftsparks, einem wichtigen Internet- und Forschungszentrum in Europa, zu fördern.

nomes Fahren, autonomes Fliegen und der Gesundheitsbranche, insbesondere bei Echtzeitanwendungen und bildgebenden Verfahren, eine leistungsfähige IT-Infrastruktur erforderlich mache. Diese Einheiten sollten bestmöglich miteinander vernetzt sein, um eine zuverlässige und schnelle Datenverarbeitung sicherzustellen. Hier, so Dr. Ruth Laengner (Kreisstadt Bergheim), ergebe sich eine Chance für Kommunen wie Bergheim, Bedburg und Elsdorf, Vorreiter für beispielsweise autonomes Fahren zu werden.

Jedoch bestehen auch noch viele Unsicherheiten, wie relevant niedrige Latenzen für Folgeansiedlungen tatsächlich werden. Die lokale Bedeutung eines Microsoft-Rechenzentrums sei schwer einzuschätzen, sagt Prof. Dr. Dr. Thomas Lippert (Forschungszentrum Jülich), da Nutzer oft nicht bemerken, wo sich das Rechenzentrum befindet, das ihre Anwendungen betreibt. Man sollte sich daher nicht ausschließlich auf die Attraktivität der Nähe zu Rechenzentren verlassen. Die Prognosen über die Auswirkungen auf die digitale Infrastruktur und auf die Wertschöpfung der Region divergieren. Für Unternehmensansiedlungen gehören schnelles Internet und gute Verkehrsanbindung zu den Grundvoraussetzungen, für einen attraktiven Standort, so Markus Wolff (IHK Aachen). Ein Unternehmensvertreter äußert aber Zweifel, dass die Datenzentren signifikante Effekte auf die Industrie haben werden. Mehrere Interviewpartner:innen vermuteten, dass nicht aus den Rechenzentren selbst, sondern nur über weitere Folgeansiedlungen Wachstumsimpulse entstehen.

Aus Sicht von Christian Trapp (dalli group) gibt es zusammenfassend zwei mögliche Entwicklungsszenarien: Entweder bleiben die Hyperscale-Rechenzentren isolierte Einheiten, die von einer kleinen Mannschaft betrieben werden, ohne große regionale Ausstrahlung. Mitarbeiter könnten international oder aus anderen Regionen kommen, aber es würde keine weiteren Impulse für die lokale Wirtschaft geben. Alternativ könnten sich durch die Ansiedlung von Hightech-Unternehmen IT-Fachkräfte angesiedelt werden, was ein Umfeld für weitere Unternehmen schaffen könnte. Dies könnte zu einem IT-Hub führen, ähnlich wie es in München über Jahre hinweg mit der Ansiedlung von Microsoft und anderen Firmen geschehen ist.

Zwischenfazit

Insgesamt zeigt die Literaturlauswertung, dass durch die geplanten Hyperscale-Rechenzentren sowohl positive Wertschöpfungs- als auch Produktivitätseffekte zu erwarten sind. Die Wertschöpfungseffekte erscheinen in der Machbarkeitsstudie für das Rheinische Revier im Vergleich mit anderen Studien realistisch. Der Annahme ist vorausgesetzt, dass es gelingt, den Digitalpark durch die Ansiedlung von Unternehmen zu befüllen. Diese Erwartungshaltung stimmt in den Aussagen aus den Interviews überein. Es ist dabei jedoch darauf hinzuweisen, dass die Machbarkeitsstudie von den regionalen Akteur:innen ebenfalls gelesen wurde und damit das Erwartungsbild der befragten Akteur:innen mit beeinflusst hat.

Die vorliegenden Studien weisen nicht darauf hin, dass in anderen Regionen ein Digitalpark unmittelbar zusammen mit einem Hyperscale-Rechenzentrum geplant wurde. Hinsichtlich des Digitalparks ist zu bedenken, dass die Ansiedlung von Unternehmen dort maßgeblich auch durch andere Faktoren beeinflusst wird. Die räumliche Nähe zum Hyperscale-Rechenzentrum ist nur einer von mehreren Standortfaktoren. Dieses Ergebnis stimmt ebenfalls mit den Ansichten der befragten Akteur:innen überein. Auch hier geht man nicht davon aus, dass die Hyperscale-Rechenzentren als Standortkriterium für Folgeansiedlungen ausreichen. Grundsätzlich gilt zudem: Ergänzend zu den tatsächlichen technischen Verbesserungspotenzialen, die die Microsoft-Ansiedlung bedeuten kann, bringt die geplante Ansiedlung einen jetzt schon merkbaren Impuls für die Sichtbarkeit der Region. In den Interviews wird über zunehmendes Ansiedlungsinteresse berichtet, das (auch) auf die Ankündigung der Microsoft-Ansiedlung zurückgeführt wird. So kann Microsoft als Ankerunternehmen bzw. Ankerinvestor betrachtet werden, dem möglicherweise – wenn die anderen dargestellten Voraussetzungen geschaffen werden – weitere Investitionen folgen können. Festzuhalten bleibt, dass es sich nicht um einen Automatismus handelt, und die tatsächlichen technischen Vorteile nicht in Gänze verifiziert werden können. Das Potenzial der angekündigten Microsoft-Ansiedlung für die künftige Entwicklung des Strukturwandels im Rheinischen Revier – unter Beachtung dieser Einschränkungen – spiegelt sich in den Erwartungen der Interviewenden.

Es zeigt sich, dass an anderen Standorten neben der Ansiedlung von Unternehmen in der Hyperscale-Wertschöpfungskette auch innovative Unterneh-

men gewonnen werden konnten, die eine leistungsstarke IT-Infrastruktur benötigen. Dabei waren gleichzeitig auch andere Standortfaktoren wie der regionale Arbeitsmarkt, eine enge Vernetzung mit Hochschulen und das Vorhandensein anderer Unternehmen der jeweiligen Branchen relevant. Die Experten und Expertinnen aus den Interviews sehen die Nähe zu den Hochschulen ebenfalls als starke Standortfaktoren. Mehrheitlich wird erwartet, dass die Ansiedlung für zuziehende Unternehmen relevant sein wird und weniger für die Bestandsunternehmen. Die geringe Latenzzeit wird basierend auf der Literaturauswertung von einem relativ kleinen Anteil an KMU in den Branchen genutzt, für die ein äußerst schneller Datenzugriff wettbewerbsentscheidend ist. Die Auswertung der Interviews zum Thema Latenz zeigt, dass Potenziale einer niedrigen Latenz gesehen werden, aber noch Unsicherheiten bestehen, wie sehr dies neue Unternehmen in die Region ziehen wird.

2.3 Erfolgsindikatoren in Wirkebene Produktivität/Wertschöpfung, Innovationen und Gründungen

Folgende drei Arten von Indikatoren werden vorgeschlagen, um die weitere Entwicklung der IT-Infrastruktur zu beobachten:

Kontextindikatoren gemäß dem Wirtschafts- und Strukturprogramm für das Rheinische Revier (WSP) 1.1. Diese werden nachfolgend mit K bezeichnet. Kontextindikatoren stellen die breitere Entwicklung in der Region dar, die neben den geplanten Hyperscale-Rechenzentren von einer Vielfalt an Faktoren beeinflusst wird.

Strukturindikatoren (nachfolgend S) beschreiben zielgenaue Größen, welche durch die geplanten Hyperscale-Rechenzentren und die Digitalparks beeinflusst werden können, aber auch von anderen Größen wie die im Rahmen der Strukturhilfen geförderten Projekte oder durch die Rahmenbedingungen geprägt sein können.

Detailindikatoren (nachfolgend D) sind Indikatoren, deren Entwicklung eng mit den geplanten Hyperscale-Rechenzentren und den Digitalparks verbunden sein können. Ihre Entwicklung ist jedoch auch von anderen Faktoren wie einzelnen Akteursentscheidungen abhängig.

Bei der Verwendung der genannten Indikatoren ist zu beachten, dass einfache Vorher-Nachher-Vergleich der unten gelisteten Indikatoren nicht ausreichen, um kausale Wirkungen präzise zu messen. Denn dabei bleiben externe Einflüsse und zeitgleich auftretende Entwicklungen unberücksichtigt.

Für die Kontextindikatoren werden bereits die aktuellen Werte genannt, die zu einem späteren Zeitpunkt eine Darstellung der Entwicklung für das Rheinische Revier ermöglichen.

Indikator 1: Umsätze, Wertschöpfung und Produktivität

Der Wachstumsimpuls, der mit den geplanten Hyperscale-Rechenzentren und den Digitalparks einhergeht, zeigt sich in den Indikatoren für Unternehmensumsätze, zusätzlich generierte Wertschöpfung und Produktivitätssteigerung. Die Bruttowertschöpfung im Rheinischen Revier (K) betrug im Jahr 2022 87.667.575 Tsd. Euro (Quelle: www.regionalstatistik.de): Die Produktivität (K), gemessen als Bruttowertschöpfung je Erwerbstätigen, belief sich im Jahr 2021 auf 69.952 Euro. Die Produktivität wird durch Faktoren wie Kapitalintensität

und den Bildungsstand der Arbeitnehmer:innen, aber auch durch den technischen Fortschritt beeinflusst. Auf Ebene der Digitalparks und der Hyperscale-Rechenzentren sollten die Anzahl und Umsätze der dort neu angesiedelten Unternehmen (D) und die dort zusätzlich beschäftigten Arbeitnehmer:innen (D) erfasst werden, was es ermöglicht, die Produktivität der Neuansiedlungen unmittelbar zu ermitteln. Diese Daten eignen sich als Grundlage von Plausibilitätsabschätzungen in Hinblick auf die Frage, inwieweit die erfassten Entwicklungen auf Ebene des Rheinischen Reviers auf den Impuls durch die geplanten Hyperscale-Rechenzentren und die Digitalparks zurückzuführen sind.

Tabelle 5: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Wertschöpfung und Produktivität

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Bruttowertschöpfung (in 1.000 Euro):	www.regionalstatistik.de ;	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier (in 1.000 Euro): 87.667.575 (Stand: 2022)		
Produktivität (Bruttowertschöpfung je Erwerbstätigen, in Euro):	www.inkar.de ;	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier (in Euro): 69.952 (Stand: 2021)		
Anzahl der Unternehmen, die Vorleistungen ¹⁷ für die geplanten Hyperscale-Rechenzentren erbringen; Anzahl von Unternehmen im Digitalpark (jeweils insgesamt, nach Wirtschaftszweigen)	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei den Betreibern der Rechenzentren und der Digitalparks.	D
Umsätze der Hyperscale-Rechenzentren und der Digitalparks	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei den Betreibern der Rechenzentren und der Digitalparks.	D

Quelle: eigene Darstellung: Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

¹⁷ Der Begriff Vorleistung meint den Wert der Güter, welche die die Rechenzentren betreibenden Unternehmen von anderen Unternehmen kaufen,

Indikator 2: Hightech-Gründungen

Zu erwarten ist ein Impuls der neu geschaffenen Infrastrukturen auf Gründungsaktivitäten und die Ansiedlung von Unternehmen (s. Tab. 6). Bei den Gründungen liefern Indikatoren von Gründungen im Hightech-Bereich (S) wertvolle Hinweise. In Hinblick auf Hightech-Gründungen sollte daher Anzahl und Sektorverteilung der Unternehmensneugründungen in verschiedenen Wirtschaftszweigen (S) erfasst werden. Dazu gehören neu gegründete Technologie- und wissensorientierte Unternehmen insgesamt und nach den Zweigen forschungsintensive Industrie, Software, sonstige technologieorientierte Dienstleistungen, sonstige wissensintensive Dienstleistungen (S). Diese Indikatoren können auf Basis einer Sonderauswertung des ZEW-Gründungspanels erfasst werden. Darüber hinaus erfordert die Erfassung von Hightech-Gründungen im Umfeld der geplanten Hyperscale-Rechenzentren und in den Digitalparks eine getrennte Erhebung von Informationen über Neugründungen (D).

Tabelle 6: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Hightech-Gründungen

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Anzahl der Unternehmensgründungen:	www.regionalstatistik.de	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: 7.555 (Stand: 2021)		
Gründungsintensität	www.regionalstatistik.de ; Stand 2021	S
Sektorverteilung der Unternehmensneugründungen und neu angesiedelten Unternehmen (Neu gegründete Technologie- und wissensorientierte Unternehmen insgesamt, nach Branchen – forschungsintensive Industrie, Software, sonstige technologieorientierte Dienstleistungen, sonstige wissensintensive Dienstleistungen)	ZEW, Sonderauswertung des Gründungspanels	S
Anzahl der IT-Neugründungen pro Tsd. Betriebe	ZEW (Sonderauswertung), IAB	S
Anzahl der neu angesiedelten Unternehmen in einem Umkreis von 2 bzw. 30 km nach Wirtschaftszweigen; neu geschaffene Unternehmen im IKT-Sektor, in Bereichen, in denen eine geringe Latenzzeit wichtig ist (siehe Tabelle 3);	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei den Betreibern der Digitalparks und den beteiligten Kommunen.	D
Unternehmensneugründungen im Digitalpark insgesamt, nach Wirtschaftszweigen, technologie- und wissensorientierte Gründungen	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei den Betreibern des Digitalparks und den beteiligten Kommunen.	D

Quelle: eigene Darstellung: Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 3: Unternehmensansiedlungen und Unternehmensstruktur

Neben den Neugründungen sind in Hinblick auf den Impuls durch die geplanten Hyperscale-Rechenzentren und die Digitalparks auch die Ansiedlungen von Unternehmen in Zusammenhang mit diesen Infrastrukturen relevant (Tab 11). Eine getrennte Erfassung dieser Indikatorwerte ist für die Bewertung des Infrastrukturimpulses wichtig: Dazu gehört die Anzahl der Unternehmen, die Vorleistungen für die geplanten Hyperscale-Rechenzentren erbringen (D) sowie die Anzahl von Unternehmen im Digitalpark (S) (jeweils insgesamt, nach Wirtschaftszweigen).

Zu erwarten ist ein direkter Einfluss der neuen Infrastrukturen auf die Branchenstruktur der Wirtschaft im Rheinischen Revier in der Form, dass vermehrt Unternehmen der IT-Industrie in der Region aktiv werden. Dieser Effekt lässt sich über die Erfassung von Indikatoren für die Branchenstruktur abbilden. Die Regionalstatistik liefert für das Rheinische Revier Informationen zur Anzahl der Betriebe der IT-Branche pro Tsd. Beschäftigte und zum Anteil der Beschäftigten in Telekommunikation, IT- und Informationsdienstleistungen an allen SV-Beschäftigten (S) (VGR der Länder, Daten der Arbeitsagentur). Diese Daten liefern jedoch für sich genommen noch zu wenig granulare Informationen. Daher ist es für die Abschätzung der Auswirkungen der neu geschaffenen Infrastruktur zusätzlich sinnvoll, die Anzahl der neu angesiedelten Unternehmen im IKT-Sektor und in Bereichen, in denen eine geringe Latenzzeit wichtig ist, zu erfassen (D) (wobei die Tabelle 7 aus diesem Abschnitt als Arbeitsdefinition für Branchen dienen kann, in denen die Latenzzeit eine wichtige Rolle spielt). Dabei ist zu unterscheiden zwischen Unternehmen, die sich in den Digitalparks angesiedelt haben und solchen, die außerhalb der Digitalparks angesiedelt sind (D).

Tabelle 7: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Unternehmensansiedlungen und Unternehmensstruktur

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Anzahl der Betriebe der IT-Branche pro Tsd. Beschäftigte	VGR der Länder (Daten der Arbeitsagentur)	S
Anzahl der neu angesiedelten Unternehmen nach Wirtschaftszweigen; neu geschaffene Unternehmen im IKT-Sektor, in Bereichen, in denen eine geringe Latenzzeit wichtig ist (insgesamt; innerhalb – außerhalb der Digitalparks). Anzahl der in diesen Unternehmen neu geschaffenen Arbeitsplätze.	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei den Betreibern des Digitalparks und den beteiligten Kommunen.	D

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 4: Patentanmeldungen

Zentrale Indikatoren für Innovationsaktivitäten sind FuE-Aufwendungen als Input für Innovationen und Patentanmeldungen als Output entsprechender Aktivitäten (S) (s. Tab. 8). Im Rheinischen Revier kann die Patentaktivität anhand der Patentintensität (S), gemessen anhand der Patentanmeldungen je 10.000 Einwohner, erfasst werden (Quelle: ZEW, Sonderauswertung der Patentstatistik). Dabei müssen verschiedene Quellen (Deutsches Patent- und Markenamt und Europäisches Patentamt) kombiniert werden. Darüber hinaus ermöglichen es die Patentanmeldungen nach Technologiefeldern, Bereiche zu identifizieren, die besonders von der geplanten Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren profitieren (S). Hier ist eine Differenzierung nach 35 Technologiefeldern möglich und darüber hinaus eine Differenzierung nach Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen sowie Privatpersonen als Anmelder. Weiterhin erlaubt eine Abfrage nach Patentanmeldungen aus den Digitalparks heraus (D) es, genauere Informationen über die Impulse zu erhalten, die von den Investitionen in Zusammenhang mit der Hyperscale-Infrastruktur ausgehen.

Tabelle 8: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Patentanmeldungen

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Patentintensität (Patentanmeldungen je 10.000 Einwohner)	ZEW, Sonderauswertung der Patentstatistik	S
Patentanmeldungen nach Technologiefeldern (Felder, die besonders vom Hyperscaler profitieren)	ZEW, Sonderauswertung der Patentstatistik	S
Patente im Rheinischen Revier, nach Technologiefeldern (35 WIPO-Technologiefelder); Patentanmeldungen von Unternehmen, Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Privaten	ZEW Patentdaten (Sonderauswertung)	S
Anzahl der neu angemeldeten Patente aus den Digitalparks heraus	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei den Betreibern des Digitalparks.	D

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 5: FuE-Aufwendungen

Parallel dazu erlaubt die Erfassung der Internen FuE-Aufwendungen (S) und der FuE-Intensität bezogen auf die Wertschöpfung (S), Aussagen über die Entwicklung des Inputs in Aktivitäten zur systematischen Suche nach Neuerungen (Quelle: Sonderauswertung des SV Wissenschaftsstatistik) (s. Tab. 9). Zusätzliche FuE-Aufwendungen, die durch die geplanten Investitionen in Hyperscale-Rechenzentren ausgelöst werden, zeigen den Impuls auf das Innovationsgeschehen. Allerdings ist dieser Impuls bzw. sind FuE-Aufwendungen, die durch die Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren ausgelöst werden, anhand der Strukturindikatoren nicht direkt beobachtbar. Wie oben erläutert, ist zu diesem Zweck die Herstellung einer kontrafaktischen Vergleichssituation erforderlich, d.h. es müssen geeignete Vergleichsregionen definiert und die entsprechenden Daten für einen längeren (vor der Ansiedlungsentscheidung beginnenden) Zeitraum für das Rheinische Revier und die Vergleichsregionen ausgewertet

werden. Neben den Daten aus der FuE-Erhebung gibt eine Abfrage bei den Unternehmen in den Digitalparks (D) nach dem dort betriebenen FuE-Aufwand noch einmal differenziertere Informationen, die für die Bewertung der Auswirkungen der Investitionen hilfreich sind.

Tabelle 9: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: FuE-Aufwendungen

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Interne FuE-Aufwendungen, FuE-Intensität	Sonderauswertung des SV Wissenschaftsstatistik	S
FuE-Aufwendungen von Unternehmen im Digitalpark	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei den Betreibern des Digitalparks und den Unternehmen im Digitalpark.	D

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

2.4 Handlungsempfehlungen zur Wirkebene Produktivität/Wertschöpfung, Innovationen und Gründungen

Handlungsempfehlung 1: Chancen der Hyperscale-Rechenzentren-Ansiedlung verständlich machen

Die Möglichkeiten, die sich durch die Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren bieten, sind insbesondere (Bestands-)Unternehmen, die nicht der Informations- und Kommunikationstechnik-Branche zugehören, nicht bewusst. Durch gezieltes Marketing und Informationsvermittlung sowie durch Instrumente wie die Zukunftsgutscheine (siehe S. 50) können Wissenslücken geschlossen und Innovationsimpulse gesetzt werden.

Handlungsempfehlung 2: Koordination als Erfolgsfaktor im Strukturwandel

Der Strukturwandel-Prozess ist für viele Stakeholder weiterhin schwer greifbar. Fehlende Erfahrungswerte können dazu führen, dass Akteur:innen unabsichtlich inkompatible Strategien verfolgen, da sie nicht genügend Austausch betreiben. Die geplanten Hyperscale-Rechenzentren können Impulse auslösen, die u.a. mithilfe der Digitalparks aufgefangen werden sollen. Das Konzept von Digitalparks ist bislang neu in NRW und muss für das Rheinische Revier konkretisiert werden, um optimale Pull-Faktoren für neue Ansiedlungen zu schaffen. Es ist schwierig, sich an Beispielen von anderen Digitalparks weltweit oder in der EU direkt zu orientieren, da sich die Auslegung der Bezeichnung Digitalpark je nach Region unterscheiden. Latenzen sind für bestimmte Geschäftsmodelle essenziell (z.B. Cloud-Services und Dienste für autonome Mobilität), andere Standortfaktoren wie Infrastruktur und Fachkräftepotenzial haben jedoch für alle Unternehmen der Digitalbranche hohe Bedeutung. Dabei haben die Akteur:innen je individuelle Sorgen und Interessen, die es abzustimmen gilt. Das MWIKE könnte als zentrale Anlaufstelle, Vermittler und Richtungsgeber agieren, um ein gemeinsames Verständnis des Konzeptes Digitalpark unter den beteiligten Akteur:innen und ein Ineinandergreifen von einzelnen Strategien sicherzustellen. Die zusätzliche Einbindung von regionalen Akteur:innen wie NRW.Global Business oder dem Kompetenzzentrum Digitale Infrastruktur NRW kann zusätzlich sinnvoll sein.

Handlungsempfehlung 3: Zugang zu digitalen Märkten erleichtern

Konnektivität ist ein zentraler Baustein für die Wettbewerbsfähigkeit und Innovation in der digitalen Wirtschaft. Daher sollte über Instrumente bzw. Anreize nachgedacht werden, um Konnektivität günstig anzubieten. Dazu könnten anfängliche Subventionen zählen, bis die Digitalwirtschaft ausreichend stark etabliert ist – allerdings wird dies vermutlich aufgrund des europäischen Beihilferechts in diesem hochprofitablen Markt schwierig sein. Eine andere Möglichkeit wäre es etwa, in einem oder beiden der bestehenden Digitalparks (möglicherweise miteinander verbunden) von vornherein im Konzept einzuplanen, dass entsprechende Konnektivitätshubs / Internetknoten vorgesehen werden. Dabei wäre es möglich, von bestehenden Lösungen wie etwa bei Nikhef Housing zu lernen. Gegebenenfalls wäre es auch eine Möglichkeit, KMUs und Start-ups hinsichtlich des Zugangs auch finanziell zu fördern bzw. mit staatlichen Mitteln einen vergünstigten Zugang zu ermöglichen, zumindest in einer Übergangsphase. Wenn Konnektivität kostengünstig ist, können Unternehmen, insbesondere kleine und mittlere Betriebe (KMU) sowie Start-ups, Zugang zu digitalen Märkten und Technologien erhalten. Dies unterstützt Innovationen und ermöglicht es neuen Geschäftsmodellen, sich ohne hohe Einstiegshürden zu entwickeln. Regionen, die digitale Infrastrukturen für alle erschwinglich machen, werden attraktiver für Unternehmen und Investitionen.

Handlungsempfehlung 4: Digitalparks konkretisieren – Investor:innen überzeugen

Die Entstehung erfolgreicher Digitalparks im Rheinischen Revier hängt von der Entwicklung der Standortattraktivität und somit im Wesentlichen von den entsprechenden Ansiedlungsentscheidungen der Unternehmen ab. Die Entwicklung geeigneter Flächen hängt mit Entscheidungen der Regionalplanung zusammen. Eine weitere Förderung durch Maßnahmen des Wirtschafts- und Strukturprogramms (WSP) kann darin bestehen, erste Erfolge bei Ansiedlungsentscheidungen im Rheinischen Revier bekannt zu machen und so den Außeneindruck zu gestalten. Insbesondere aus den Interviews ist hervorgegangen, dass die Vorstellungen zum Digitalpark und welche Branchen sich ansiedeln könnten, noch recht unkonkret sind und teilweise auch weit auseinandergehen. Daher macht es Sinn, das Konzept Digitalparks im Rheinischen Revier weiter zu definieren und v.a. zu konkretisieren und zentraler zu vermarkten. Die Einbindung von regionalen Akteur:innen wie NRW.Global Business, der Handels- und Investitionsagentur des Landes Nordrhein-Westfalen, oder dem

Kompetenzzentrum Digitale Infrastruktur NRW, das als zentrale Anlaufstelle für den Ausbau der digitalen Infrastruktur fungiert, könnte ebenfalls sinnvoll sein. Diese Akteur:innen können wertvolle Unterstützung bei der Planung und Umsetzung bieten, indem sie ihre Expertise und Netzwerke einbringen. Durch eine gezielte Vermarktung und die Zusammenarbeit mit diesen Institutionen kann das Rheinische Revier als attraktive Region für digitale Innovationen und Investitionen positioniert werden.

Kapitel 3: Wirkebene Beschäftigung und Löhne

Im Zusammenhang mit den regionalwirtschaftlichen Konsequenzen der Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren stehen neben den Wertschöpfungs- insbesondere die Beschäftigungseffekte im Mittelpunkt. Beide Wirkebenen weisen enge wechselseitige Zusammenhänge auf, jedoch sind die Ergebnisse in Bezug auf die Beschäftigungseffekte der Digitalisierung im Allgemeinen und der Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren im Besonderen in der vorhandenen Literatur keineswegs eindeutig. Im Zusammenhang mit der Digitalisierung und Automatisierung werden Produktivitätsfortschritte erwartet, die einerseits zum Abbau von Arbeitsplätzen in automatisierten Tätigkeiten führen, andererseits aber Kapazitäten für neue Tätigkeiten schaffen. Im Folgenden werden wesentliche Aussagen aus der Literatur zusammengefasst, sofern sie von Bedeutung für die Abschätzung der durch die Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren eintretenden Beschäftigungseffekte auf das Rheinische Revier und NRW sind.

3.1 Einschätzung auf Basis vorhandener Untersuchungen

Kontroverse über Beschäftigungseffekte der Digitalisierung und Automatisierung

Die Ergebnisse zu den Beschäftigungseffekten von Digitalisierung und Automatisierung sind relevant für unsere Untersuchung, weil die Errichtung von Hyperscale-Rechenzentren Teil des Ausbaus der digitalen Infrastruktur ist und eine wesentliche Voraussetzung für die Nutzung der durch den fortschreitenden technologischen Fortschritt im Zusammenhang mit der Digitalisierung entstehenden wirtschaftlichen Potenziale darstellt. Dabei gilt: Ohne Hyperscale-Rechenzentren sind die Möglichkeiten begrenzt, die Potenziale der Digitalisierung umfassend zu nutzen. Ob die Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier oder andernorts in NRW stehen, mag augenscheinlich (außer für Branchen mit dem Bedarf an sehr kurzen Latenzen) unmittelbar nicht entscheidend sein, aber die Standortwahl ist dennoch relevant: Das Internet braucht, ähnlich wie Strom Kraftwerke benötigt, eine physische Infrastruktur. Das Rheinische Revier bietet sich für die Entwicklung einer solchen an, und fördert damit die den Fortschritt des Infrastrukturausbaus. Insofern ist es wichtig, auch die

Folgeeffekte der Ansiedlung für das Bundesland (und potenziell darüber hinaus, sowohl in Deutschland wie auch angrenzenden Staaten) zumindest mitzudenken.

Wissenschaftliche Arbeiten sind in den vergangenen Jahrzehnten zumeist am Beispiel der USA der Frage nachgegangen, ob und in welchem Umfang der technologische Fortschritt und insbesondere die Digitalisierung und Automatisierung zum Wegfall von Arbeitsplätzen führen kann (Arntz et al. 2017, Autor 2015, Autor et al. 2003, Autor et al. 2015). Entgegen der oftmals geäußerten Befürchtung hoher Arbeitsplatzverluste kommen verschiedene Studien zu dem Ergebnis, dass die Automatisierung im Saldo durchaus zu positiven Arbeitmarkteffekten führen kann, wenn die erzielten Produktivitätsfortschritte zu Kostensenkungen und über Preisrückgänge zu einer erhöhten Nachfrage nach den von digitalisierten Branchen angebotenen Gütern und Dienstleistungen führen (Acemoglu und Restrepo 2018). Während also Produktivitätssteigerungen tendenziell zunächst mit einem Beschäftigungsrückgang einhergehen, können die genannten indirekten Effekte über die erhöhte Nachfrage wieder zu einer Zunahme der Beschäftigung führen. Angesichts des bereits bestehenden Fachkräftemangels und des absehbar weiteren Rückgangs des Bevölkerungsanteils im Erwerbsalter in Folge des demographischen Wandels wird der Erhalt unseres Wohlstands in den kommenden Jahrzehnten von kontinuierlichen Produktivitätssteigerungen abhängen.

Für Deutschland ist bei einer Untersuchung vergangener Entwicklungen allerdings alles andere als klar, ob die Digitalisierung überhaupt zu erheblichen Produktivitätsfortschritten geführt hat. So stellen Schmidt et al. (2021) fest, dass die Digitalisierung in Deutschland bisher vor allem mit einem allgemeinen Beschäftigungszuwachs einhergegangen ist. Dies hat jedoch zu einem Produktivitätsrückgang geführt, da viele der neu auf den Arbeitsmarkt gekommenen Beschäftigten dem Niedriglohnsektor zuzuordnen sind. Dies liegt daran, dass parallel zur digitalen Transformation weiterhin bereits seit Jahrzehnten ein wirtschaftlicher Strukturwandel stattfindet, in dem sich der Schwerpunkt der Beschäftigung von der Produktion zu den Dienstleistungen verlagert. Dieser Prozess schreitet weiter voran und die in den vergangenen Jahren neu entstandenen Jobs entfielen überwiegend auf den Dienstleistungssektor, in dem die Arbeitsproduktivität oftmals geringer als im produzierenden Sektor ist.

Wie erläutert sind die durch die Nähe zu großen Rechenzentren möglichen Verkürzungen der Latenz in Netzwerken unter anderem für industrielle Produktionsprozesse (Stichwort Industrie 4.0) von Bedeutung. Acemoglu und Restrepo (2020) weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass sich die Beschäftigungseffekte der Einführung von Industrierobotern von den Digitalisierungseffekten in anderen Technologiebereichen unterscheiden.¹⁸ Sie stellen fest, dass die Einführung eines zusätzlichen Industrieroboters je 1.000 Beschäftigten in den betroffenen Arbeitsmarktregionen der USA seit 1990 im Durchschnitt zum Rückgang der Beschäftigungsquote (Verhältnis Beschäftigte/Bevölkerung) um 0,39 Prozentpunkte und zu einem Lohnverlust in Höhe von durchschnittlich 0,77 Prozent geführt hat. Dauth et al. (2021) stellen für Deutschland dagegen keinen Beschäftigungs-, wohl jedoch einen Lohnrückgang durch die Einführung von Industrierobotern fest. Sie berechnen, dass ein Beschäftigter mit Durchschnittseinkommen im Jahr 1994 in einer Branche mit starkem Robotereinsatz (oberes Quartil der Roboter-Intensität) gegenüber einem Beschäftigten, der 1994 ebenfalls ein Durchschnittseinkommen in einer Branche mit verhältnismäßig geringem Robotereinsatz verdiente (unteres Quartil), über die kommenden 20 Jahre einen Einkommensverlust von etwa 3,7 Prozent hinnehmen musste. Ob und in welchem Maße Industrieroboter im Rheinischen Revier eingesetzt werden, wird nicht allein von der geplanten Microsoft-Ansiedlung abhängen, wenn man davon ausgeht, dass solche Rechenzentren sonst an einem anderen Standort in NRW, anderen Bundesländern oder dem benachbarten Ausland angesiedelt werden würden. Allerdings gehört die Errichtung von Rechenzentren wie erläutert zum Ausbau der digitalen Infrastruktur und damit zu den Voraussetzungen für die Umsetzung der wirtschaftlichen Potenziale der Digitalisierung, im Rheinischen Revier und in benachbarten Regionen bzw. in Deutschland und gegebenenfalls den Nachbarländern.

¹⁸ Die Einführung von Industrierobotern ist ein Beispiel für die fortschreitende Automatisierung. Oben wurde darauf hingewiesen, dass die Rechenzentren Teil des Ausbaus der digitalen Infrastruktur sind. Die dadurch entstehenden Möglichkeiten werden voraussichtlich nicht nur, aber auch im Rheinischen Revier genutzt werden. Die Auswirkungen der Microsoft-Ansiedlung sind, wie oben beschrieben, nicht auf das Rheinische Revier beschränkt, kommen aber natürlich auch dort zum Tragen. Die Industrieroboter sind als Beispiel interessant, weil sie bereits im Fokus ernst zu nehmender wissenschaftlicher Untersuchungen standen, und Gegenstand eines wissenschaftlichen Austauschs waren, der sowohl Studien für die USA als auch für Deutschland umfasst. Aufgrund des beschränkten Raums in dieser Untersuchung wird hier auf ein in der Wissenschaft ausführlich diskutiertes Phänomen eingegangen, es liegt eine fundierte Evidenz vor.

Graetz and Michels (2018) untersuchen die Arbeitsmarkteffekte der Einführung von Industrierobotern über den Zeitraum von 1993 bis 2007 in den USA, Europa, Südkorea und Australien. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der verstärkte Einsatz von Robotern etwa 0,36 Prozentpunkte zum jährlichen Wachstum der Arbeitsproduktivität beigetragen hat, während gleichzeitig die Gesamtfaktorproduktivität gestiegen und die Produktionspreise gesunken sind. Die Schätzungen deuten auch darauf hin, dass Roboter die Gesamtbeschäftigung nicht signifikant reduziert haben, obwohl sie den Anteil der gering qualifizierten Arbeitnehmer verringert haben. Nachdem Roboter zunächst überwiegend im verarbeitenden Gewerbe eingesetzt wurden, konzentrierte sich ihr Einsatz im vergangenen Jahrzehnt zunehmend auch auf den Dienstleistungssektor. Zu den Bereichen, die besonders schnell expandierten, gehörten medizinische Roboter, Logistiksysteme in Fabriken und Drohnen.

Im Hinblick auf das Rheinische Revier ist davon auszugehen, dass die für die fortschreitende Digitalisierung - etwa im Zusammenhang mit der Nutzung von Künstlicher Intelligenz oder Cloud-Computing - erforderlichen Hyperscale-Rechenzentren weniger die Zahl der Beschäftigten insgesamt beeinflussen wird. Jedoch wird erwartet, dass in der Beschäftigungsstruktur der Anteil der niedrig Qualifizierten weiter zurückgehen wird. Die Umsetzung der Digitalisierungspotenziale in Deutschland und im Rheinischen Revier wird nicht allein von Hyperscale-Rechenzentren abhängen, die im Revier neu erbaut werden. Das Rheinische Revier spielt jedoch innerhalb Deutschlands in Ergänzung zu den bereits vorhandenen Standorten eine Rolle, damit insgesamt die Rechenzentrumskapazitäten erweitert werden können. Somit ist die Errichtung von Hyperscale-Rechenzentren inner- und außerhalb des Reviers von Belang für die Beschäftigung, unter anderem innerhalb des Reviers. Der zunehmende Einsatz von Computertechnologie im Dienstleistungssektor dürfte die bisher in Deutschland festgestellte Verlagerung von Tätigkeiten aus der Produktion in Dienstleistungsjobs mit niedrigeren Qualifikationsanforderungen begrenzen. Die Auswirkungen der Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren auf die Beschäftigungsentwicklung werden sich aller Voraussicht nach nicht auf das Rheinische Revier beschränken. Die Hyperscale-Rechenzentren sind Teil der fortschreitenden Digitalisierung, die durch die hier angekündigten Investitionen in Deutschland insgesamt, darunter auch im Rheinischen Revier, gefördert wird.

Insgesamt legen die vorhandenen Studien nahe, dass die Hyperscale-Rechenzentren durch die Verbesserung der digitalen Ausstattung zu einer Verbesserung der digitalen Infrastruktur in NRW führen, was wiederum die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Wirtschaft fördern sollte. Vor dem Hintergrund der existierenden Untersuchungen liegen dabei keine Hinweise darauf vor, dass sich die Region auf Rückgänge der Zahl an Arbeitsplätzen insgesamt einstellen müsste. Allerdings unterscheiden sich die Perspektiven je nach Qualifikation und Tätigkeit.

Bedeutungszunahme von Tätigkeiten mit hohen Qualifikationsanforderungen

Der Forschungsstand zu den Arbeitsmarkteffekten der Digitalisierung führt nicht zu einem eindeutigen Ergebnis. Ein Grund dafür liegt darin, dass die Wirkungen der Digitalisierung auf die Beschäftigung auch von regionalen Umfeldbedingungen (Verfügbarkeit qualifizierter bzw. unqualifizierter Arbeitnehmer und ihre Auswirkung auf die Lohnstruktur, institutionelle Rahmenbedingungen am Arbeitsmarkt) abhängen. Vieles spricht dafür, dass allein in Folge des technologischen Fortschritts in den kommenden Jahrzehnten in Deutschland eher kein allgemeiner Beschäftigungsrückgang, sondern eine Verlagerung hin zu Tätigkeiten zu erwarten ist, die eine höhere Qualifikation erfordern.

Bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt sind die möglichen Personalarückgänge in Folge des demographischen Wandels. Allerdings scheint die aktuelle Entwicklung in Deutschland mit der Entstehung von zahlreichen neuen Beschäftigungsverhältnissen im Dienstleistungssektor und einem vergleichsweise geringen Anstieg der Arbeitsproduktivität noch nicht dem zu erwartenden längerfristigen Trend zu folgen. Dieser Trend dürfte im Zuge der Automatisierung wie erläutert eher einen Verlust von niedrig qualifizierten Tätigkeiten in allen Sektoren mit sich bringen. Inwiefern die Einführung neuer Automatisierungstechniken – wie bereits die Nutzung von Industrierobotern in der Vergangenheit – in Zukunft zu Lohnrückgängen führen wird, bleibt offen. Auch kann in den bislang vorliegenden Untersuchungen noch nicht berücksichtigt werden, wie sich die sehr neuen technologischen Möglichkeiten durch die Künstliche Intelligenz auf die Beschäftigungsstruktur auswirken. Angesichts der intensiven globalen Verflechtung der deutschen Industrie ist davon auszugehen, dass die Nähe zu Hyperscale-Rechenzentren für sehr viele Unternehmen einen bedeutenden Standortfaktor darstellt und die entstehenden Digitalisierungs- und Automatisierungspotenziale genutzt werden.

Beschäftigungseffekte von Hyperscale-Rechenzentren in anderen Regionen

Die Errichtung von Hyperscale-Rechenzentren ist wie erläutert Teil des Ausbaus der digitalen Infrastruktur, der neben Industrieanwendungen und Cloud-Diensten eine fortschreitende internationale wirtschaftliche Vernetzung ermöglicht. So geht eine Studie des Cyber Security and Policy Research Institutes der George Washington Universität für den Zeitraum 2020–2024 von einem Anstieg des weltweiten Online-Handels um etwa 10 Prozent aus. Allein für das Jahr 2024 wird in diesem Zusammenhang ein Anstieg der Beschäftigungsverhältnisse in Datenzentren von 140.000 auf 190.000 prognostiziert (Zhang 2022). In Irland sind nach Schätzungen des irischen Wirtschaftsministeriums im Zeitraum zwischen 2010 und 2018 durch Investitionen in Höhe von 7 Mrd. Euro in Datenzentren insgesamt 3.700 Stellen (Vollzeit-Äquivalente, VZÄ) entstanden, davon entfallen 1.900 auf die Errichtung und 1.800 auf den Betrieb der Zentren.

Grünfeld et al. (2017) schätzen die Arbeitsmarkteffekte der hypothetischen Errichtung eines Hyperscale-Rechenzentrums in Norwegen mit Hilfe eines makroökonomischen Modells. Angenommen wird die Errichtung eines Rechenzentrums auf einer Fläche von 30.000 m² mit einem Energiebedarf von über 30 MW. Die Investition würde den Berechnungen zu Folge über einen Zeitraum von 10 Jahren in Norwegen zur Schaffung von 329 Arbeitsplätzen (VZÄ) im ersten Jahr führen. Diese Zahl wird bis zum zehnten Jahr auf 745 Vollzeit-Arbeitsplätze zunehmen. Der Betrieb des Rechenzentrums wird dauerhaft ca. 225 Arbeitsplätze umfassen. Die Autoren unterscheiden zudem zwischen den direkt durch Errichtung und Betrieb des Rechenzentrums, den indirekt in Zulieferbetrieben entstehenden Arbeitsplätzen sowie induzierten Arbeitsplätzen durch die zusätzliche Kaufkraft. Im zehnten Jahr seit Beginn der Errichtung des Rechenzentrums würden den direkten Arbeitsplätzen durch Errichtung und Betrieb (ca. 240) etwa 400 indirekte bzw. induzierte Arbeitsplätze gegenüberstehen. Wie noch erläutert wird, gehen die Berechnungen von Grünfeld von einem Rechenzentrum aus, das deutlich kleiner als die geplanten Hyperscale-Rechenzentren von Microsoft im Rheinischen Revier sein wird. Somit sind die Angaben nur begrenzt vergleichbar.

Unter den internationalen Vergleichsstandorten ist insbesondere der US-Bundesstaat Virginia relevant, der sich innerhalb weniger Jahrzehnte zur weltweit stärksten Agglomeration von Datenzentren entwickelt hat (Blum 2012,

Mangum Economics 2020). Im Jahr 2018 umfasste die Rechenzentrumsbranche in Virginia unmittelbar etwa 14.800 Arbeitsplätze (VZÄ). Schätzungen zu Folge summierten sich die direkten, indirekten und induzierten Arbeitsplatzeffekte 2018 auf über 45.000 VZÄ. Google & Deloitte (2023) berechnen, dass beispielsweise in den Rechenzentren von Google in Loudoun, Virginia, im Zeitraum von 2017-2022 pro Jahr 150 Arbeitskräfte beschäftigt waren. Hinzu kamen 2.730 Arbeitsplätze pro Jahr in den Zulieferindustrien und 630 Jobs pro Jahr durch induzierte Effekte (Kaufkraftsteigerung).

Tab. 10 stellt die Annahmen der Machbarkeitsstudie den Annahmen hinsichtlich der permanenten Beschäftigungseffekte (d.h. durch den Betrieb der Rechenzentren) in vergleichbaren Schätzungen für Google-Rechenzentren in Loudoun County, Virginia und der Region Dublin gegenüber. Die Annahmen unterscheiden sich zwischen den einzelnen Studien, so dass im Verhältnis zur jeweiligen Investition im Detail Unterschiede hinsichtlich der geschätzten Beschäftigungseffekte auftreten. Der Vergleich mit anderen Studien legt jedoch nahe, dass die Annahmen über die Effekte eines Rechenzentrums auf die Beschäftigung in NRW und Deutschland plausibel sind, weil die hier erwarteten Effekte in ihrer Größenordnung im Wesentlichen den Ergebnissen der anderen Studien entsprechen. Im Wesentlichen hängen die Beschäftigungseffekte der geplanten Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier davon ab, inwieweit insbesondere die Investitionen und die entsprechenden Unternehmensansiedlungen im Digitalpark verwirklicht werden können. Ob dies gelingen wird, kann im Moment noch nicht abschließend beurteilt werden.

Tabelle 10: Geschätzte Beschäftigungseffekte (pro Jahr) verschiedener Investitionsvorhaben für Hyperscale-Rechenzentren

Rechenzentren	Rheinisches Revier, Machbarkeitsstudie	Google-RZ in Loudoun County, Virginia, 2017-2022 (Google & Deloitte)	Google-RZ in East and Midland Region, Irland (Oxford Economics)
Investitionshöhe	1,9 Mrd. Euro	1,8 Mrd. \$	570 Mio. \$
Details	RZ: 1,3 Mrd. Euro, DP: 600 Mio. Euro	2 RZ bis 2019, Erweiterungen bis 2021	1 RZ in Dublin seit 2012
Gesamtbeschäftigung durch RZ-Betrieb	5130 (DEU), 3450 (NRW)	3510	480
Direkt	2080 (RZ: 50, DP: 2030)	150 (2022: 400)	300
Indirekt	3050 (DEU), 1586 (NRW)	2730	107
Induziert*		630	73

Quellen: Google & Deloitte (2023), Oxford Economics (2022a), Oxford Economics (2022b), DE CIX Management et al. (2021). RZ: Rechenzentrum, DP: Digitalpark, EM: Eastern and Midland Region, VA: Virginia; *Angaben für das Rheinische Revier fassen indirekte und induzierte Effekte zusammen

Beschäftigungseffekte der Hyperscale-Rechenzentren und Implikationen für das Rheinische Revier

Aktuelle Daten über Umfang und Struktur der Beschäftigung in Rechenzentren in Deutschland liegen aus einer Befragung unter den Mitgliedsunternehmen des Branchenverbands deutscher Rechenzentren GDA (German Data Center Association) (2024a) vor, der nach eigenen Aussagen über 90 Prozent des deutschen Rechenzentrumsmarkts vertritt. Dabei wird zwischen Colocation- (mehrere Nutzer) und Hyperscale-Rechenzentren (viele Nutzer) einerseits und (kleineren) Enterprise-Rechenzentren (einzelner Unternehmen) andererseits unterschieden. Den Ergebnissen der Befragung und Berechnungen des GDA-Verbands zu Folge sind aktuell etwa 5.000 festangestellte Personen und 1.600 externe Arbeitskräfte in den Colocation- und Hyperscale-Rechenzentren tätig und 29.400 in Enterprise-Rechenzentren.

In den Colocation- und Hyperscale-Rechenzentren stellen die Gebäudetechniker:innen mit 31 Prozent aller Beschäftigten die größte Berufsgruppe dar, gefolgt von IT-Techniker:innen (24 Prozent). Hinzu kommen Positionen für Vertrieb und Marketing, Personal, Finanzen, Verwaltung, Gebäudesicherheit und interne IT-Systemwartung, in Colocation-Zentren auch für die Kundenunterstützung. In Enterprise-Rechenzentren stellen IT-Techniker- und Sicherheitspersonal mit jeweils 28 Prozent die wichtigsten Berufsgruppen dar. Die Konsumausgaben der in den Rechenzentren beschäftigten Personen sichern nach Schätzung des Verbands weitere 15.400 Vollzeit-Arbeitsplätze.

Befragungen unter deutschen Rechenzentren zufolge gehört im Moment ein Mangel an geeigneten Berufseinsteigern zu den größten Herausforderungen der Branche, wobei bemängelt wird, dass das aktuelle Ausbildungssystem, d.h. akademische und technische Studiengänge sowie duale Ausbildungsberufe, nicht adäquat auf die spezifischen Anforderungen des Rechenzentrumssektors abgestimmt sei (GDA 2024a).

Einer Schätzung der IW Consult (2023b) nach werden in Folge des Betriebs von Unternehmen und Einrichtungen, die im Zuge des Strukturwandels im Rheinischen Revier durch die Förderung neuer Maschinen und Anlagen ihre Produktion ausweiten bzw. neu aufnehmen oder durch die Förderung innovativer Prozesse zusätzliches Personal zu deren Anwendung einstellen, neue Arbeitsplätze entstehen, von denen etwa 10 Prozent auf IT- und naturwissenschaftliche Dienstleistungsberufe entfallen werden. Obwohl nicht alle Tätigkeiten in den Rechenzentren selbst auf IT-Techniker entfallen, könnte in Folge der Ansiedlungsentscheidung von Microsoft der Anteil dieser Berufsgruppe zunehmen, insbesondere sofern es zur Ansiedlung von Unternehmen kommt, die sich gezielt in der Nähe des Rechenzentrums ansiedeln, wobei der genaue Beschäftigungsumfang im Rahmen dieser Tätigkeiten noch nicht abgeschätzt werden kann.

Die Annahmen in Bezug auf die Beschäftigungseffekte stützen sich in der bereits angesprochenen Machbarkeitsstudie (DE CIX Management et al. 2021) auf Input-Output-Analysen, mit deren Hilfe die volkswirtschaftlichen Auswirkungen auf Beschäftigung und BIP durch Bau und Betrieb eines neuen Rechenzentrums mit angeschlossenem Digitalpark untersucht werden. Im Ergebnis wird davon ausgegangen, dass für den Betrieb des Hyperscale-Rechenzentrums voraussichtlich 50 Beschäftigte pro Gebäude vor Ort erforderlich sein und im angeschlossenen Digitalpark 2030 Arbeitsplätze entstehen werden.

Anknüpfend an die Machbarkeitsstudie und ausgehend von den darin angestellten Überlegungen beleuchten zwei Studien (Drees & Sommer, NMWP 2023; IHK Aachen et al. 2023 (Hrsg.)) die Potentiale der Digitalwirtschaft in Folge einer (zum jeweiligen Studienzeitpunkt noch hypothetischen) Rechenzentrums-Ansiedlung in der Region Aachen, im Rhein-Kreis Neuss und im Rhein-Erft-Kreis. Die auf Unternehmensbefragungen, Experteninterviews, regionalstatischen Daten, Daten des BKI (Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern) zu Nutzungs- und Arbeitsplatzdichten für ausgewählte Nutzungen in Gebäuden basierende Studie für den Rhein-Kreis Neuss und den Rhein-Erft-Kreis (Drees & Sommer, NMWP 2023) kommt zu dem Ergebnis, dass die Errichtung von Digitalparks in beiden Kreisen zur Entstehung bzw. Ansiedlung von jeweils 2.000 bis 2.500 zusätzlichen Arbeitsplätzen führen kann.

Die auf Basis von Unternehmens- und Expertenbefragungen erstellte Studie für die Region Aachen geht davon aus, dass der Bedarf nach IT-Vernetzung durch die vorhandene Infrastruktur derzeit noch gedeckt werden kann. Um zukünftigen Heraus- und Anforderungen gerecht zu werden, seien allerdings verstärkte Investitionen notwendig.

Grundannahme dieser Studien ist, dass es in der Region zu einer verstärkten Digitalisierung kommen wird, wobei es insbesondere auch zur Ansiedlung bzw. Gründung von Unternehmen kommt, die sich durch die Nähe zum Rechenzentrum einen Standortvorteil verschaffen. Wie in den Auswertungen zur Wirkungsebene Produktivität/Wertschöpfung dargestellt wurde (Kap. 2.2), ist es im Moment aber schwer, einzuschätzen, um wie viele Unternehmen es sich dabei handeln wird. So wird etwa die geringere Latenzzeit für sich genommen keinen ausreichenden Anreiz darstellen, um in größerer Zahl Unternehmen zur Ansiedlung im Rheinischen Revier zu bewegen, weil sich die allein dadurch erzielbaren Vorteile auf eine sehr begrenzte Zahl an Unternehmen beschränken. Die Entscheidung zur Unternehmensansiedlung unterliegt einer Vielzahl weiterer Faktoren wie beispielsweise der Verfügbarkeit von Arbeitskräften, unternehmensnahen Dienstleistungen und der Offenheit der Verwaltung für Unternehmen (vgl. auch Abschnitt 2.2).

Viele dieser Voraussetzungen werden im Rheinischen Revier erfüllt. So liegt die Zahl der Beschäftigten in IT- und naturwissenschaftlichen Dienstleistungsberufen aktuell (2022) gut 10 Prozent über dem NRW-Durchschnitt. Im Zeit-

raum von 2013 bis 2021 verzeichnete die Beschäftigung in diesen Berufen bereits einen Zuwachs von 17,9 Prozent (IW Consult 2023b), gegenüber 15,8 Prozent in allen Berufen.

Allerdings gibt es einen intensiven internationalen Wettbewerb um die Ansiedlung von Hightech-Unternehmen. Inwiefern die in der Machbarkeitsstudie angenommenen 2.000 Arbeitsplätze in Digitalparks – zusätzlich zu den ohnehin im Zuge des durch das WSP 1.1 unterstützten Strukturwandels entstehenden Arbeitsplätzen in IT-Berufen – in den kommenden Jahren entstehen können, hängt somit davon ab, ob sich das Rheinische Revier stärker als Standort für Digitalbranchen etablieren kann.

3.2 Welche Ausgangslage und Perspektiven kennzeichnen die Region nach Einschätzung von Expert:innen? (Ergebnisse der Interviews)

Insgesamt finden es die befragten Akteur:innen sehr schwer abzuschätzen, wie sich der Arbeitsmarkt durch die geplante Ansiedlung von Microsoft in der Region verändern wird.

Prof. Dr. Dr. Thomas Lippert (Forschungszentrum Jülich) sieht eine große Chance, durch die digitale Transformation und den Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI) in kleinen und mittleren Unternehmen Arbeitsplätze zu schaffen und wirtschaftliche Defizite auszugleichen. Die fortschreitende Digitalisierung werde zu einer Verschiebung der erforderlichen Kompetenzen führen. Prof. Dr. Dr. Lippert erwartet, dass in den nächsten 5 bis 10 Jahren 15-20 Prozent der Arbeitsplätze stark von Kompetenzen in Bereichen wie Künstliche Intelligenz abhängen werden.

Erwartungen zu den Beschäftigungseffekten im Rheinischen Revier: Elektrotechnik, Klimatechnik, Versorgungstechnik und IT-Sicherheit werden von Hyperscale-Rechenzentren profitieren

Viele Gesprächspartner rechnen damit, dass mit der angekündigten Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren kurzfristig Arbeitsplätze in der Bauwirtschaft entstehen werden und, dass das Handwerk hiervon profitieren wird. Für den Bau der Hyperscale-Rechenzentren erfordere es vor allem Fachkräfte aus dem Bereich Gebäudetechnik. Dies umfasse Aspekte der Architektur und Gebäudeplanung, insbesondere die Technische Gebäudeausrüstung (TGA).

Für den Betrieb und die Wartung der Hyperscale-Rechenzentren wird mehrheitlich geschätzt, dass Personal aus den Bereichen Elektrotechnik, Klimatechnik, Versorgungstechnik und IT-Sicherheit benötigt werde. Rechenzentren schaffen nicht nur klassische IT-Jobs, erklärt Kilian Wagner (Bitkom), sondern auch viele andere Berufe, die man auf den ersten Blick nicht bedenke. Dazu gehörten technische Berufe wie Klimatechniker, die für die Kühlung zuständig sind, sowie Berufe im Bereich der Stromversorgung und IT-Sicherheit. Rechenzentren benötigten auch betriebswirtschaftliche Fachkräfte, wie jedes andere Unternehmen. Insgesamt entstehe ein breites Feld an Berufen, das über die klassischen Informatiker hinausgehe.

Christian Trapp (dalli group) geht davon aus, dass die geplanten Hyperscale-Rechenzentren hochgradig automatisiert sein werden, weshalb man vor Ort nur wenige Arbeitsplätze benötige. Der 24/7 Betrieb und die Wartung erfolge überwiegend automatisiert, schätzt er. Daher sei aus seiner Sicht noch unklar, wie viele lokale Jobs tatsächlich geschaffen werden und ob diese durch Fachkräfte aus der Region oder von außerhalb besetzt würden. Auch aus Sicht von Dr. Eva-Maria Ritter (NetCologne) sei offen, wie viele Arbeitsplätze direkt im geplanten Hyperscale-Rechenzentrum entstehen würden. Der Betrieb werde voraussichtlich stark KI-gesteuert sein. Roland Broch (eco e.V.) sagt hingegen, dass für den Betrieb eines Rechenzentrums physische Fachkräfte erforderlich seien, die vor Ort die IT-Infrastruktur wie Server-Racks installierten, warteten und die Netzwerktechnik betreuten.

Folgeansiedlungen sind zentral für umfassende Beschäftigungseffekte, die Umschulung auf IT ist aber anspruchsvoll

Es besteht Einigkeit in der Annahme, dass die Mehrzahl der Arbeitsplätze mit Folgeansiedlungen entstehen werden (siehe auch Kapitel zur Wertschöpfung). Torsten Stamm (Stadt Bedburg) stellt es sich so vor, dass um das geplante Hyperscale-Rechenzentrum ein Innovationsbiotop entstehe, das durch Microsoft-Know-how und eigenes Wissen im gewerblichen, technischen und IT-Bereich neue Produkte entwickle und auch Unternehmen aus der Region integriere. Ziel sei, das regionale Potenzial des Rheinischen Reviers zu nutzen und langfristig für viele Arbeitsplätze zu sorgen. Durch die Ansiedlung von Unternehmen in den geplanten Digitalparks in der Region könnten weitere Arbeitsplätze im Dienstleistungsbereich und der Digitalwirtschaft entstehen. „Auch der Bereich Gastronomie und Hotellerie zum Beispiel könne durchaus profitieren, wenn das dann richtig läuft.“, sagt Roland Broch (eco e.V.).

Jochen Pollotzek (NRW.Global Business) sieht in der Gestaltung der geplanten Digitalparks um die Hyperscale-Rechenzentren einen Teil der Aufgabe darin, „natürlich auch die industriellen Arbeitsplätze, die wegfallen, durch neue industrielle Arbeitsplätze zu ersetzen“.

Der Strukturwandel im Rheinischen Revier hat das Ziel, nachhaltige und zukunftssichere Arbeitsplätze zu schaffen sowie neue berufliche Perspektiven zu eröffnen, die den Anforderungen des aktuellen und zukünftigen Arbeitsmarktes gerecht werden. Doch die Umstellung auf die zukünftigen Berufsbilder in der Region stelle eine Herausforderung dar. Viele Beschäftigte in der Region seien

beispielsweise nicht ohne Weiteres zu IT-Fachkräften umschulbar, so Christian Trapp (dalli group), da der Übergang zu anspruchsvoll sei. Entscheidend werde sein, die Region in ihrer Entwicklung zu unterstützen und so attraktiv zu gestalten, dass Fachkräfte auch für neue Berufsfelder gewonnen werden können. Christian Trapp, sagt dazu: „Ich kenne das noch von früher, von früheren Arbeitgebern in der Stahl- und Kohlekrise im Ruhrgebiet. Da habe ich tatsächlich einige Kollegen kennengelernt, die Bergbauingenieure waren und dann tatsächlich in die IT gegangen sind. Das sind aber nur ganz, ganz wenige.“ Ein Unternehmer ist dagegen zuversichtlicher und meint, natürlich seien ehemalige Fachkräfte aus dem Kohleabbau keine IT-Expert:innen, aber mit ihrem technischen Hintergrund ließen sich solche Fachkräfte leichter auf IT umschulen als Personen ohne technische Vorkenntnisse.

Christian Dieckhoff (BCIX) gibt zusätzlich zu bedenken, dass im Rechenzentrumsbetrieb wie von Microsoft eine spezielle Schulung notwendig sei, da dort sehr spezifische Prozesse, Tools und Standards genutzt würden. Diese spezialisierten Rollen seien häufig so spezifisch, dass die Erfahrung bei einem Hyperscale-Rechenzentrum oft nicht auf den allgemeinen mittelständischen Markt übertragbar sei, da in kleineren Unternehmen viele der Aufgaben in anderen Jobrollen zusammengefasst sind.

Die Qualifizierungsanforderungen werden zukünftig steigen

Insgesamt besteht ein Konsens, dass der Qualifikationsbedarf sowohl im akademischen als auch nicht akademischen Berufsfeldern steigen wird. Die Prognosen zur zukünftigen Nachfrage nach akademischen und nicht-akademischen Berufen variieren jedoch. Einige Stimmen prognostizieren eine wachsende Akademisierung des Arbeitsmarktes, während viele in beiden Bereichen ein Wachstumspotenzial sehen.

Mit Blick auf den Betrieb eines Rechenzentrums, sagt Christian Trapp (dalli group): „Ich glaube, das wird beides der Fall sein. In so einem Betrieb wird alles gebraucht, sie haben natürlich sehr große Anlagen, sehr, sehr große Gebäude. Sie haben eine komplexe und aufwendige Klimatechnik und Versorgungstechnik. Das sind alles Ingenieursdisziplinen, die aber auch im Handwerk umgesetzt werden müssen.“ Der Betrieb eines Rechenzentrums umfasse typischerweise akademische Berufe wie Informatiker, Mathematiker und Physiker. Im Bereich der Überwachung und des Service Managements seien hingegen reguläre Ausbildungsberufe gefragt. Diese Einschätzung stimmt mit Torsten

Heerz (Rhein-Erft-Kreis) überein. Aus seiner Sicht entstehen sowohl niederschwellige Arbeitsplätze wie vom Wachmann bis zum Hausmeister, als auch hochqualifizierte und überdurchschnittlich bezahlte Facharbeitsplätze.

Timothy Fitschen (Bundesagentur für Arbeit) geht dagegen nicht davon aus, dass in den Hyperscale-Rechenzentren selbst akademische Berufe besonders gefragt sein werden, da dort hauptsächlich Anwendungen auf den Servern laufen. Der Fokus liege eher auf dem Betrieb der Anlage, wofür gut ausgebildete Fachkräfte benötigt werden, aber wahrscheinlich weniger Akademiker. In den Digitalparks hingegen könnte ein höherer Akademisierungsgrad erforderlich sein, abhängig von den sich ansiedelnden Unternehmen.

Es wird mehrheitlich erwartet, dass gut bezahlte Arbeitsplätze entstehen werden. Torsten Heerz (Rhein-Erft-Kreis) geht davon aus, dass eine überdurchschnittliche Vergütung ein entscheidender Faktor sein wird, um Fachkräfte in die Region zu holen. Dagegen stellt ein Unternehmer in Frage, ob die Löhne der IT-Branche tatsächlich so hoch ausfallen. Denn produzierende Unternehmen wie aus der Chemiebranche könnten mit 80.000 Euro einen besseren Durchschnittslohn bieten. Die IT sei zwar nicht vollständig dem Dienstleistungssektor zuzuordnen, aber der Durchschnittslohn wäre eher, je nach Detailqualifikation zwischen 40.000 Euro und 50.000 Euro, so die Einschätzung. Darüber hinaus gibt Andreas Weiss (eco e.V.) zu bedenken, dass insbesondere bei ausländischen Fachkräften, Deutschland im Vergleich zum Beispiel den USA weniger attraktiv sei. In den USA verdiene ein Data Analyst als Einstiegsgehalt ca. 150.000 US-Dollar im Jahr, in Deutschland seien es 50.000 bis 60.000 Euro.

Der Fachkräftemangel betrifft auch (Hyperscale-) Rechenzentren

In allen Gesprächen kommt der Fachkräftemangel in Deutschland zur Sprache, der in allen Branchen zu spüren ist. In der Rechenzentrumsbranche gibt es einen umfassenden Fachkräftemangel in vielen Bereichen, so Roland Broch (eco e.V.). IT-Fachkräfte werden dringend benötigt, ebenso wie spezialisierte Elektro- und Klimatechniker aus dem Anlagenbau. Auch für die Folgeansiedlungen in den geplanten Digitalparks könnte der Fachkräftemangel eine Rolle spielen. Dirk Brügge (Rhein-Kreis Neuss) sagt dazu: „Die Gefahr ist schlichtweg das Unternehmen nicht kommen, weil sie nicht das Vertrauen darin haben,

dass sie die Fachkräfte finden. Da kann die Region noch so eine gute Infrastruktur haben, wenn ein Unternehmen nachher keine Leute findet, die dort anfangen, dann wird es schwierig.“

Aus Sicht der Handelskammern könnte der zunehmende Einsatz von Künstlicher Intelligenz auch eine mögliche Lösung sein, um den Fachkräftebedarf zu mildern. Diese Vorstellung hat auch Dr. Ruth Laengner (Kreisstadt Bergheim). Aus ihrer Sicht könnte beispielsweise für die öffentliche Verwaltung KI ein Weg sein, um den drohenden Fachkräftemangel abzumildern, da hier bis zu 30 Prozent der Belegschaft bald in Rente gehen werden.

Timothy Fitschen (Bundesagentur für Arbeit) sagt zum Fachkräftebedarf in den Hyperscale-Rechenzentren: „Dort müssen Personen arbeiten, gut ausgebildete Leute, da sind wir mit Microsoft natürlich im Gespräch. Und das zweite wird natürlich auch bei den Digitalparks sein, die werden ja auch Leute brauchen und irgendwo müssen wir sie hernehmen. Es besteht jetzt schon ein Bedarf an Fachkräften in der Region dazu gehört auch IT, das wird natürlich in Zukunft ein ganz anderes Schwergewicht hier in der Region sein. Und ja, wir müssen mal sehen, wo wir die Leute herbekommen, das wird mit unsere Aufgabe sein, und dazu gehört natürlich auch, Menschen zu qualifizieren.“

Die Schulungsmaßnahmen von Microsoft

Microsoft hat angekündigt, in der Region Investitionen in die Fachkräfteentwicklung zu tätigen und regionale Schulungsmaßnahmen anzubieten (Microsoft 2024b). Dies wird allgemein von den Befragten begrüßt. Es gehe Microsoft anscheinend nicht nur um die Rekrutierung von Personal für das eigene Rechenzentrum, sondern auch um die Förderung der allgemeinen (IT)-Weiterbildung in der Region. Dazu besteht ein Austausch zwischen Microsoft und regionalen Akteur:innen. Torsten Heerz (Rhein-Erft-Kreis): „Wir sind über das ganze Thema Ausbildung und Weiterbildung mit Microsoft im Gespräch.“

Die angekündigten Schulungsmaßnahmen sollen nicht nur Microsoft-spezifisches Wissen vermitteln, sondern auch allgemein nützliche digitale Kompetenzen. Hauke Timmermann (eco e.V.) erzählt: Die Neuland GmbH sei beauftragt worden, ein Curriculum für Microsoft zu entwickeln, das auf bestehenden Forschungsarbeiten im Bereich Künstliche Intelligenz basiere. Die Neuland GmbH sei komplett technologie-neutral und arbeite unter anderem auch mit Oracle und Delos-Cloud zusammen. Mit Microsoft kooperiere Neuland GmbH zum

Thema Qualifizierung in KI im Mittelstand, z.B. indem kostenlose KI-Roundtables für KMUs und Workshops zu KI-Use Cases angeboten werden – immer mit neuland.ai als neutrales Kompetenzzentrum für KI. Ein neuer Zertifizierungskurs, der monatlich in den Räumen des eco Verbandes in Köln stattfindet, greife alle technisch möglichen Konstellationen anbieter-neutral auf. Denn teilweise hätten die Firmen ja längst IT-Server- oder Cloud-Lösungen für KI, welche man natürlich nutzen könne. Das Open-Source-Curriculum soll auch die Schulung von Multiplikatoren unterstützen, die Unternehmen und Digitalisierungseinrichtungen in Nordrhein-Westfalen beraten. Der Ansatz zielt darauf ab, über die Ausbildung zu spezifischen Microsoft-Technologien hinauszugehen und eine breitere Grundlage für den Einsatz von KI in der Wartung von Industrieanlagen zu schaffen.

Insgesamt wird Microsofts Engagement in der Fachkräfteförderung als positiv und wichtiger Beitrag zur Stärkung des Wirtschaftsstandorts gesehen, auch wenn die genauen Modalitäten noch abgestimmt werden müssen.

Zuversicht in den Ausbau der Schulungskapazitäten der Region

Die Region verfügt über ein großes Potenzial an Schulungsmöglichkeiten, insbesondere durch die Nähe zu Hochschulen wie der RWTH Aachen, dem Forschungszentrum Jülich und der Fachhochschule Köln. Allerdings gebe es noch Herausforderungen, dieses Potenzial optimal zu nutzen und die Fachkräfte für die Digitalisierung zu qualifizieren. Zum einen fehle es an Bewerbern für IT-Berufe. Das Rheinische Revier sei kein Informatikstandort wie beispielsweise München oder Karlsruhe. Zu anderen hätten viele Menschen Berührungsängste mit dem Thema oder kennen die Möglichkeiten nicht. Hier wären Informations- und Motivationsarbeit in Schulen und bei Arbeitssuchenden wichtig. Zudem müsse die Diversität insbesondere in der IT-Branche gestärkt werden, um mehr Frauen für den Sektor zu gewinnen.

Bei dem Punkt Kapazitäten zur Aus- und Weiterbildung sind die einzelnen Kommunen und Kreise unterschiedlich aufgestellt. Insgesamt sind sie aber zuversichtlich, dass die notwendigen Schulungskapazitäten geschaffen werden können. Die Bundesagentur für Arbeit führe derzeit intensive Gespräche mit Bildungsträgern, die daran interessiert sind, neue und nachhaltige Bildungsangebote für die Region zu entwickeln. Die Bildungsträger streben eine tiefergehende Vernetzung mit der Region an, indem sie aktiv den Kontakt zu Hoch-

schulen, laufenden Projekten und regionalen Initiativen suchen. Die Stadt Grevenbroich beispielsweise arbeitet daran, das Angebot an Weiterbildungsmaßnahmen zu erweitern und steht hierzu in engem Austausch mit Universitäten aus dem Ballungsraum, um innovative Bildungsprogramme zu etablieren.

Es werden aber auch Kapazitäten wegfallen. Beim Handwerk wird es möglicherweise eine Konsolidierung der Bildungsstätten geben, da die Nachfrage nach Berufsausbildung langfristig rückläufig sei und dies voraussichtlich auch bleiben wird, erklärt Prof. Dr. Hans Jörg Hennecke (HANDWERK.NRW). RWE, ein Unternehmen, das traditionell weit über den eigenen Bedarf hinaus Fachkräfte ausbilde und so die regionale Fachkräftebasis stärke, werde diese Ausbildungsaktivitäten voraussichtlich reduzieren. Es wäre wünschenswert, dass auch andere Unternehmen, wie etwa Microsoft, solche Initiativen aufgreifen und die duale Ausbildung zu fördern. Dies könne die Attraktivität der Region für junge Menschen sichern bzw. steigern.

Zwischenfazit

Die Ergebnisse der Literaturlauswertung deuten darauf hin, dass die günstigen Rahmenbedingungen durch eine moderne IT-Infrastruktur voraussichtlich nicht zu einer Verringerung der Beschäftigung führen werden. Vielmehr wird sich das Anforderungsprofil eher hin zu qualifizierterer Beschäftigung ändern. Dieses Ergebnis trifft mit den Einschätzungen aus den Interviews überein. Aufgrund der reinen Ankündigung der Hyperscale-Rechenzentren zum Zeitpunkt der Gespräche bestand eine Varianz in den Antworten der Expert:innen. Einige Stimmen prognostizieren eine wachsende Akademisierung des Arbeitsmarktes, während viele in beiden Bereichen ein Wachstumspotenzial sehen. Diese erwartete Entwicklung wird nicht allein auf die geplante Ansiedlung der Hyperscale-Rechenzentren zurückzuführen sein, sondern auch auf die Folgeansiedlungen in den geplanten Digitalparks. Die Hyperscale-Rechenzentren bilden jedoch einen wichtigen Baustein. Zu bedenken ist, dass speziell bei den Auswirkungen der KI derzeit noch nicht absehbar ist, inwieweit sich diese auf die zukünftige Beschäftigungsstruktur auswirken wird. In den Interviews wurde häufiger die Vermutung geäußert, dass KI helfen könnte, den Fachkräftemangel abzumildern. Zum Punkt Kapazitäten zur Aus- und Weiterbildung sind die einzelnen Kommunen und Kreise unterschiedlich aufgestellt. Insgesamt besteht aber Zuversicht unter den befragten Expert:innen, dass die notwendigen Schulungskapazitäten geschaffen werden können.

3.3 Erfolgsindikatoren in Wirkebene Beschäftigung und Löhne

Die im Folgenden aufgelisteten Indikatoren eignen sich als Benchmark, um die Entwicklung des Rheinischen Reviers nach Errichtung der Hyperscale-Rechenzentren zu verfolgen (Kontext- und Strukturindikatoren) bzw. die Beschäftigungsentwicklung innerhalb des Rechenzentrums aufzuzeigen (Detailindikatoren).

Indikator 6: Beschäftigung und Löhne

Der regionale Wachstumsimpuls in Bezug auf die Beschäftigung wird durch die die Zahl der Sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (SVB) erfasst (K). Im Jahr 2023 hatten 869.376 Beschäftigte ihren Arbeitsplatz im Rheinischen Revier. Darüber hinaus ergibt der Anteil der Beschäftigten in Telekommunikation, IT- und Informationsdienstleistungen an allen SV-Beschäftigten (S) genauer Aufschluss über die Entwicklung in besonders betroffenen Branchen. Weiterhin als Indikatoren relevant sind die Zahl der neu geschaffenen Arbeitsplätze in IKT-Sektoren, insgesamt und gegliedert nach Qualifikationsniveaus (S). Um die Beschäftigungseffekte im Detail zu erfassen, werden Informationen über die Zahl der Beschäftigten in den geplanten Hyperscale-Rechenzentren (D); in Bereichen oder Unternehmen, die Vorleistungen erbringen (D), sowie in Gewerbeparks, die in Folge der Rechenzentrums-Ansiedlung entstehen, benötigt (D). Die entsprechenden Daten müssen vor Ort erhoben werden. Als Indikator der möglichen Auswirkungen von Änderungen der Arbeitslöhne auf die Einkommen im Rheinischen Revier eignen sich Daten zum Nettoeinkommen der Privathaushalte (K). Im Jahr 2021 belief es sich im Rheinischen Revier im Durchschnitt auf 23.640 Euro je Einwohner (vgl. Tab11)

Tabelle 11: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Beschäftigung und Löhne

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (SVB)	www.regionalstatistik.de ;	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier (in 1.000 Euro): 869.376 (Stand: 2023)		
Verfügbares Einkommen je Einwohner:	www.inkar.de ;	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier (in Euro): 23.640 (Stand: 2021)		
Anteil der Beschäftigten im Rheinischen Revier in Telekommunikation, IT- und Informationsdienstleistungen an allen SV-Beschäftigten	Sonderauswertung der Bundesagentur für Arbeit, muss beauftragt werden	S
Neu geschaffene Arbeitsplätze nach Qualifikationsniveau im Rheinischen Revier; neu geschaffene Arbeitsplätze in IKT-Sektoren im Rheinischen Revier	Sonderauswertung der Bundesagentur für Arbeit, muss beauftragt werden	S
Beschäftigte in Rechenzentren des Rheinischen Reviers sowie in Bereichen oder Unternehmen, die Vorleistungen für die Rechenzentren erbringen, sowie in Gewerbe- bzw. Digitalparks, die in Folge der Rechenzentrumsansiedlung entstehen werden	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei den Betreibern der Rechenzentren und der Digitalparks sowie den beteiligten Unternehmen.	D

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 7: Arbeitsmarkt

Der wesentliche Indikator in Bezug auf den Arbeitsmarkt ist die Arbeitslosenquote, gemessen als Anteil der Arbeitslosen an den zivilen Erwerbspersonen (K). Diese Quote wird auf der Internetseite www.regionalstatistik.de auf der Ebene der Kreise ausgewiesen. Für das Rheinische Revier beträgt der (nach der Zahl der Beschäftigten gewichtete) Durchschnittswert im Jahr 2023 6,7 Prozent. Eine weitere wichtige Messgröße ist der Anteil der Langzeitarbeitslosen (K), d.h. der länger als ein Jahr arbeitslos gemeldeten Personen an den Arbeitslosen insgesamt. Im Jahr 2022 betrug dieser Anteil im Rheinischen

Revier 43,2 Prozent. Weiterhin als Indikatoren relevant sind die Zahl der neu geschaffenen Arbeitsplätze in IKT-Sektoren, insgesamt und gegliedert nach Qualifikationsniveaus (S) (s. Tab. 12).

Tabelle 12: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Arbeitsmarkt

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Arbeitslosenquote (in %)	www.regionalstatistik.de	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: 6,7 (Stand: 2023)		
Langzeitarbeitslose (in % aller Arbeitslosen)	www.inkar.de	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: 43, 2 (Stand: 2022)		
Neu geschaffene Arbeitsplätze nach Qualifikationsniveau; neu geschaffene Arbeitsplätze in IKT-Sektoren	Sonderauswertung der Bundesagentur für Arbeit, muss beauftragt werden	S

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. **K** steht für Kontextindikator, **D** für Detailindikator und **S** für Strukturindikator.

3.4 Handlungsempfehlungen zur Wirkebene Beschäftigung und Löhne

Die Handlungsempfehlungen zur Wirkebene „Beschäftigung und Löhne“ bauen auf die Empfehlungen zu den Wirkebenen „IT-Infrastruktur“ und „Produktivität/Wertschöpfung“ auf. Ein direkter Anknüpfungspunkt besteht insbesondere zu Handlungsempfehlung 4 zur Wirkebene IT-Infrastruktur (Imagebildung und Vorzeigeunternehmen), da deren Umsetzung eine Voraussetzung zur Etablierung des Rheinischen Reviers als Digitalstandort darstellt.

Handlungsempfehlung 5: Mit Vorzeigeunternehmen neue Dynamik schaffen

Zu den Erfolgsfaktoren der Schaffung von Arbeitsplätzen im Zusammenhang mit der Verbesserung der digitalen Infrastruktur wird es gehören, die Bekanntheit des Reviers als Digitalstandort zu steigern. Um Hightech-Unternehmen und hochqualifizierte Beschäftigte herrscht ein internationaler Wettbewerb. Die angekündigte Microsoft-Ansiedlung trägt zur Steigerung der Bekanntheit des Rheinischen Reviers bei. Dennoch muss die Sichtbarkeit der Region für Unternehmen der Digitalwirtschaft weiter erhöht werden. Wie erläutert kann die Ansiedlung erster „Vorzeigeunternehmen“ im Revier entscheidend dazu beitragen, die Aufmerksamkeit gegenüber dem Standort zu erhöhen. Zu den Vorteilen gegenüber Digitalstandorten wie Frankfurt, Amsterdam oder Dublin gehört unter anderem das größere Flächenangebot für Gewerbe und Wohnen, bei gleichzeitiger Nähe zu den Metropolen am Rhein und den Benelux-Staaten. Damit Standortvorteile, die die Lebensqualität im Rheinischen Revier bzw. dessen näherer Umgebung, kennzeichnen, zu Ansiedlungsentscheidungen führen, ist eine Standortvermarktung erforderlich, bei der auf erste Erfolge wie z.B. „Vorzeigeunternehmen“ verwiesen werden sollte. Diese Unternehmen können dann einen selbsttragenden Prozess in Gang setzen. Die im April 2024 angekündigte Ansiedlung der QCG Computer GmbH, eines Tochterunternehmens der Quanta Computer GmbH aus Taiwan, im Brainergy-Park Jülich, spricht dafür, dass das Rheinische Revier aus Sicht international bekannter Unternehmen ein attraktiver Standort ist. Laut MWIKE NRW (2024) plant QCG, künftig hochpräzise elektronische Anlagen und Geräte für Fahrzeughersteller zu produzieren, insbesondere im Bereich autonomes Fahren. Bis 2028 sollen auf dem Gelände 360 Arbeitsplätze entstehen.

Handlungsempfehlung 6: Bildung für den Wandel – Fachkräfte von morgen ausbilden

Neben der Bekanntmachung des Standorts gehört die „Nachwuchspflege“ zu den Voraussetzungen zur Erzielung von Beschäftigungseffekten im Zuge der geplanten Microsoft-Ansiedlung, die über die Arbeitsplätze im Rechenzentrum hinausgehen. Für die Gründung und Ansiedlung von Unternehmen der Digitalbranche wird die Verfügbarkeit von Fachkräften einen wichtigen Standortfaktor darstellen. Die Zusammenarbeit mit Schulen, beispielsweise in Form von Schülerpraktika, kann das Interesse an Tätigkeiten in Digitalberufen fördern und so möglichen Fachkräftengpässen entgegenwirken. Gleichzeitig sollten Technikbegeisterung und Gründergeist auch an den Schulen und Hochschulen der Region weiter gefördert werden. Aussagen der Interviewpartner:innen heben hervor, dass Informations- und Motivationsarbeit in Schulen und bei Arbeitssuchenden wichtig sind, und dass die Diversität insbesondere in der IT-Branche gestärkt werden sollte, um mehr Frauen für den Sektor zu gewinnen.

Die Hochschulen der Region, beispielsweise die RWTH Aachen, sind in diesem Zusammenhang wichtige Kooperationspartner. Der Verbleib von Absolvent:innen entsprechender Studiengänge sollte zu den Zielen der Standortentwicklung gehören.

Die Zusammenarbeit zwischen der Bundesagentur für Arbeit und Bildungsträgern gehört zu den Maßnahmen, um auch die Weiterbildung von Erwerbstätigen zu fördern, um sie gegebenenfalls auf eine Tätigkeit in einem Digitalberuf vorzubereiten bzw. um bereits vorhandene Qualifikationen an den laufenden Wandel der Berufsanforderungen anzupassen.

Ein Bündel an Maßnahmen des Standortmarketings und der „Nachwuchspflege“ wird erforderlich sein, damit sich das Revier als Standort etablieren kann, an dem Gründer und Unternehmen damit rechnen können, geeignete Arbeitskräfte in Digitalberufen einstellen zu können.

Kapitel 4: Wirkebene Infrastruktur und digitales Ökosystem

4.1 Einschätzung auf Basis vorhandener Untersuchungen

Eine moderne und leistungsfähige IT-Infrastruktur ist eine zentrale Voraussetzung für den erfolgreichen Strukturwandel im Rheinischen Revier. Die geplanten Hyperscale-Rechenzentren könnten einen wesentlichen Beitrag dazu leisten und wichtige Entwicklungsimpulse setzen, die in diesem Abschnitt genauer analysiert werden. Allerdings umfasst die notwendige Infrastruktur mehr als nur diese Rechenzentren. Auch der Ausbau des Netzes und eine zuverlässige Energieversorgung sind entscheidende Faktoren, die den Gesamterfolg beeinflussen.

Zum Stand der IT-Infrastruktur im Rheinischen Revier liegen mehrere Studien vor, deren Ergebnisse im Folgenden zusammengefasst werden:

- Hinsichtlich des gesamten **Ökosystems und der mit ihm verbundenen Akteurslandschaft** sind zentrale Aspekte die bestehende Instituts- und Hochschullandschaft, die Vernetzung mit der Wirtschaft und das daraus resultierende Potenzial für den Wissenstransfer sowie die Verkehrsanbindung. Auch die Beteiligung an Förderprogrammen zur Strukturentwicklung spielt hier eine Rolle. Für die Situation in Hinblick auf diese Aspekte des regionalen Ökosystems existiert bereits eine ausführliche Darstellung in der Machbarkeitsstudie zu den Dateninfrastrukturen im Rheinischen Revier (DE CIX Management et al. 2021). Daher werden an dieser Stelle zentrale Aspekte diskutiert, die in der Machbarkeitsstudie, aber auch in weiteren relevanten Literaturquellen genannt werden. Relevante Unternehmen wie auch eine leistungsfähige Hochschul- und Institutslandschaft seien vorhanden, wobei die Forschungseinrichtungen grundsätzlich eng mit der lokalen Wirtschaft vernetzt sei (Zukunftsagentur Rheinisches Revier Hrsg. 2022). Dennoch wird auf einen aktuell bestehenden Mangel an bedarfsorientierter Vernetzung von Wissenschaft und Wirtschaft und ein teilweise fehlendes Skalierungspotenzial für Start-ups hingewiesen (Zukunftsagentur Rheinisches Revier Hrsg. 2021). Bemängelt wird weiterhin die geringe Spezialisierung der Akteurslandschaft und die mangelnde Absorptionsfähigkeit für neue Technologien in der durch energieintensive Unternehmen geprägten Landschaft (Zukunftsagentur Rheinisches Revier Hrsg. 2021).

Positiv hervorzuheben sei die sehr gute Verkehrsanbindung der Region (Drees & Sommer, NMWP 2023). Darüber hinaus wurden die geplanten Förderprojekte im Rahmen der Strukturwandelförderung im Rheinischen Revier in den Blick genommen. Es zeige sich, dass unter anderem zahlreiche Projektpartner in den Leitmarktwettbewerben im Rheinischen Revier um Aachen angesiedelt sind (Prognos, DLR, Sprint und InWIS 2019). Dies geht einher mit einer hohen Beschäftigungsdynamik in der Informations- und Kommunikationswirtschaft (Prognos, DLR, Sprint und InWIS 2019). Zusammenfassend seien die Voraussetzungen hinsichtlich des Ökosystems grundsätzlich gut, da Entwicklungspotenzial im Hinblick auf digitale Vorzeigeunternehmen, für eine weitere Spezialisierung im Bereich digitaler Technologien und bei der Absorptionsfähigkeit für Neuerungen besteht.

- Hinsichtlich der Struktur des Rheinischen Reviers ist zu fragen, welche Charakteristika andere innovative **Digitalregionen** kennzeichnen. Dies betrifft Aspekte wie die Wirtschaftsstruktur im IT-Sektor und das Image der Region. Mit der Frage, ob das Rheinische Revier diese Charakteristika aufweist, die Unternehmen und Fachkräfte des IT-Sektors anziehen, befasst sich u.a. eine Studie der IHK Aachen (IHK Aachen et al. 2024 Hrsg.) und auch die Machbarkeitsstudie zu den Dateninfrastrukturen im Rheinischen Revier (DE CIX Management et al. 2021). Ein Ergebnis ist, dass die Region bislang nicht ein vergleichbares Profil und damit ein vergleichbares Image wie wichtige Digitalregionen im In- und Ausland (wie Frankfurt oder in Europa Amsterdam) aufweise. Innerhalb des Rheinischen Reviers nehme Aachen durch die Vielzahl von Projektpartnern im Leitmarkt Informations- und Kommunikationswirtschaft eine zentrale Position ein (Prognos, DLR, Sprint und InWIS 2019). Gleichzeitig sei das Vorhandensein eines Hyper-scale-Rechenzentrums und eines Datendrehkreuzes ein Charakteristikum internationaler Digitalregionen (GIMI German ICT & Media Institute 2022, DE CIX Management et al. 2021, Drees & Sommer, NMWP 2023). Diese Voraussetzung wäre im Rheinischen Revier nach der Ansiedlung der Hyper-scale-Rechenzentren erfüllt. Darüber hinaus wurde insgesamt eine Unterversorgung in Hinblick auf das Vorhandensein von größeren IT-Rechenzentren festgestellt. Das Rheinische Revier profitiere demnach nicht hinreichend davon, dass wichtige Datentrassen durch die Region verlaufen (DE CIX Management et al. 2021).

- Die **Energieversorgungssicherheit** als zentrale Rahmenbedingung für Hyperscale-Rechenzentren (s. auch Kap. 1) stellt einen dritten zentralen Aspekt einer leistungsfähigen Daten-Infrastruktur untersucht. In den existierenden Studien zeigt sich, dass das Rheinische Revier eine sehr hohe Versorgungssicherheit und gleichzeitig Kompetenz im Bereich der Energieversorgung aufweist. Zahlreiche Projektpartner im Leitmarkt Energie- und Umweltwirtschaft befinden sich in der Region (Prognos, DLR, Sprint und InWIS 2019). Darüber hinaus werden die derzeit im Rheinischen Revier laufenden Anstrengungen in Hinblick auf die Dekarbonisierung hervorgehoben, die zu einer nachhaltigen Digitalisierung bei gleichbleibender Versorgungssicherheit führen (Drees & Sommer, NMWP 2023).

Diese vorliegenden Befunde waren Ausgangspunkt für unsere Expertengespräche, in denen ein Teil der genannten Aspekte vertieft untersucht, aber auch weitere Aspekte in den Blick genommen wurden.

4.2 Welche Ausgangslage und Perspektiven kennzeichnen die Region nach Einschätzung von Expert:innen? (Ergebnisse der Interviews)

Durch die geplante Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren wird ein deutlicher Impuls für den weiteren Infrastrukturausbau im Rheinischen Revier erwartet. Insgesamt bewerten die Akteur:innen die bestehende Infrastruktur in der Region bereits als gut. Torsten Heerz aus dem Amt für Strukturwandel, Fördermittelmanagement und Digitale Ökosysteme des Rhein-Erft-Kreises sagt: „Wir haben hier eine gute Infrastruktur, die wir noch weiter ausbauen werden.“ Aus seiner Sicht sei das ein wesentlicher Punkt für eine gute regionale Entwicklung, denn dadurch entstehe eine positive Sogwirkung.

Es herrscht Konsens, dass das Revier aktuell noch nicht als bedeutender Standort für die Digitalwirtschaft gilt. Laut Expert:innen ist das Rheinische Revier jedoch derzeit in einer deutlich besseren Ausgangslage als andere Reviere. Dies ist auf die Nähe zu bedeutenden Wissenschafts- und Bildungseinrichtungen wie dem Forschungszentrum Jülich, der RWTH Aachen, sowie den Universitäten und Fachhochschulen in Köln und Düsseldorf zurückzuführen. Zudem profitiere das Revier von einer guten Verkehrsanbindung und starken etablierten Branchen, darunter Chemie, Aluminium, Papier und Logistik. Es gebe großes Potenzial, Synergien in der Region zu nutzen, insbesondere durch die Zusammenarbeit der vielen ansässigen Industrieunternehmen. Regionale Kooperationsmodelle könnten dabei eine wichtige Rolle spielen, sagt Roland Broch (eco e.V.).

Weitestgehend hohe Zuversicht beim Ausbau des Glasfasernetzes

Mit Blick auf die IT-Infrastruktur wurde der bisherige Glasfaserausbau von den Akteur:innen in der Flächendeckung mehrheitlich positiv bewertet. Glasfaser ist beim Bau von Rechenzentren von entscheidender Bedeutung, da sie den Betrieb und die Effizienz moderner IT-Infrastrukturen unterstützen. Glasfaser ermöglicht schnelle Datenübertragungen mit hoher Bandbreite, die weit über die Kapazität herkömmlicher Kupferkabel hinausgehen, was für den Betrieb von Rechenzentren wesentlich ist. Glasfaser stellt im Vergleich zu herkömmlichen Kabelnetzen eine nachhaltige Lösung dar, die sowohl zukünftige technologische Anforderungen erfüllt als auch energieeffizient und flexibel erweiterbar ist. Christian Dieckhoff (BCIX) sagt, in Nordrhein-Westfalen sei die Glasfa-

serinfrastruktur bereits gut ausgebaut, sodass zusätzliche Leitungen von einigen hundert Metern Länge für neue Rechenzentren problemlos integriert werden könnten. Besonders in NRW bestehe ein dichtes Netz an Glasfasertrassen, das die Region ideal für digitale Großprojekte mache. In Bezug auf den regionalen Glasfaser-Ausbau werde die Region unter anderem durch NetCologne und NetAachen umfassend erschlossen. Neben den Städten Leverkusen und Bonn seien auch die umliegenden Kommunen im Rhein-Erft-Kreis und Rhein-Sieg-Kreis eingebunden. Der Ausbau erstrecke sich dabei von Gewerbegebieten bis hin zu Wohngebieten und erfolge weitestgehend eigenwirtschaftlich, ohne Fördermittel, so Dr. Eva-Maria Ritter (NetCologne).

Einige Interviewpartner:innen sehen jedoch noch größere Herausforderungen beim weiteren Ausbau. Dirk Brügge vom Rhein-Kreis-Neuss sieht die Glasfaserinfrastruktur im Rhein-Kreis Neuss zwar in einer guten Ausgangslage, merkt aber Verbesserungspotenzial an: Die flächendeckende Versorgung mit Glasfaser im Rhein-Kreis Neuss stehe vor Herausforderungen. Obwohl der Kreis im Vergleich zu anderen Regionen besser dastehe, reiche dies aus seiner Sicht noch nicht aus, um die hohen Ziele im Bereich FTTH (Fiber to the Home) und FTTB (Fiber to the Building) vollständig zu erreichen. Besonders herausfordernd seien die sinkenden Bundesfördermittel und gestiegene kommunale Eigenanteile, was den Ausbau weiter verlangsamt und die Kommunen finanziell belastet¹⁹. Dies stelle insbesondere für die Kommunen im Rheinischen Revier ein Hindernis dar, die noch nicht so weit sind wie der Rhein-Kreis-Neuss.

Dagegen berichtet Torsten Stamm (Stadt Bedburg), dass die Stadt Bedburg bis Ende des Jahres zu 100 Prozent gigabitfähig sein werde. Das bedeute, dass auch der letzte abgelegene Bauernhof an das Glasfasernetz angeschlossen sein werde. Die Infrastruktur in Bedburg sei in den letzten Jahren kontinuierlich ausgebaut worden. Dies solle die Datendurchsätze für Unternehmen erhöhen, damit sie ihre Aufgaben effizient erfüllen können und es keine Beschwerden über unzureichende Datenleitungen mehr gebe. Das ist im Einklang mit der Einschätzung von Dr. Ruth Laengner (Kreisstadt Bergheim). Bergheim

¹⁹ Siehe auch die Pressemitteilung des Städte- und Gemeindebund NRW vom 13.02.2025: <https://www.kommunen.nrw/presse/pressemitteilungen/detail/dokument/glasfaserausbau-massive-kuerzungen-gefaehrden-zukunft-ganzer-regionen.html>.

habe bereits einen sehr guten Ausbau der Glasfaserinfrastruktur. Natürlich bestehe die Möglichkeit, diesen weiter voranzutreiben. Aktuell seien jedoch sowohl Unternehmen als auch Privathaushalte bereits gut versorgt.

Während diese grundsätzlichen Themen beim Glasfaserausbau teils keinen direkten Bezug zu den Hyperscale-Rechenzentren an sich haben, gibt es doch den Zusammenhang, dass ohne eine ausreichende Glasfaseranbindung auch kein Rechenzentrumsbetrieb sinnvoll ist. Glasfaser ist ein wesentlicher Bestandteil des Rechenzentrumsbaus, da sie die Grundlage für eine schnelle, zuverlässige und skalierbare Netzwerkverbindung bildet. Zwar sieht es Christian Dieckhoff (BCIX) so: „Damit so ein Rechenzentrum irgendwie funktioniert, braucht's vor allem genug Strom, Glasfaser findet ihren Weg dahin.“, allerdings ist dennoch anzunehmen, dass die gute Ausgangslage bei dem Glasfaserausbau insbesondere in Bedburg und Bergheim für die Entscheidung der Ansiedlung an diesen Standorten auch eine Rolle gespielt haben könnte. Zudem ist mit der geplanten Ansiedlung von Microsoft eine positive Beeinflussung auf den weiteren Ausbau des Glasfasernetzes zu erwarten. Weitere Maßnahmen wie das von der Landesregierung Nordrhein-Westfalen eingerichtete Kompetenzzentrum Digitale Infrastruktur NRW forcieren diese Erwartung.

Stromnetz in guter Ausgangslage, aber noch Anpassungsbedarf an die Versorgung mit grünem Strom und steigende Nachfrage

Die Datenanbindung, insbesondere durch Glasfaser, wird auch von Roland Broch (eco e.V.) als geringstes Problem angesehen. Die größere Herausforderung betreffe die Stromversorgung, die für die Ansiedlung der Hyperscale-Rechenzentren von entscheidender Bedeutung sei. Die grundlegende Stromübertragungsinfrastruktur sei im Rheinischen Revier bereits vorhanden, vor allem dank der bestehenden Energiewirtschaft. Die Infrastruktur müsse aber oft noch durch zusätzliche Arbeiten wie die Erneuerung oder Verstärkung kleinerer Trafostationen angepasst werden, um größere Vorhaben zuverlässig anzubinden. Diese Anpassungen seien zwar lösbar, erforderten aber gezielte Maßnahmen, um den Anforderungen einer steigenden Nachfrage gerecht zu werden.

Auch hier sei der Rhein-Kreis Neuss bereits gut aufgestellt, so Dirk Brügge, und profitiere von der bestehenden Stromnetz-Infrastruktur, die ursprünglich zur Verteilung von Energie aus den Braunkohlekraftwerken angelegt wurde.

Durch entsprechende Umbauten könne diese Infrastruktur jetzt genutzt werden, um grünen Strom in die Region zu leiten. Über Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen (HGÜ) und den Konverterstandort in Meerbusch-Osterath sei die Region gut angebunden, was ihr einen Vorteil gegenüber anderen Gebieten verschaffe, die nicht an diese leistungsfähigen Übertragungsnetze angebunden sind oder keinen Konverter in der Nähe haben, der den Gleichstrom in den benötigten Wechselstrom umwandle.

In der Region Rhein-Kreis Neuss werde daran gearbeitet, die Versorgung mit grünem Strom, insbesondere durch Windkraft und Photovoltaik, zu stärken, erläutert Roland Broch (eco e.V.). Ein bedeutender Beitrag komme von der Amprion-A-Nord -Trasse, die als Erdkabel in neuer Trasse Gleichstrom von der Nordsee bis zur Konverterstation in Meerbusch-Osterrath transportiere, wodurch Windenergie aus der Nordsee in die Region gelangen könne.²⁰ Zusätzlich plane die Region den Ausbau lokaler erneuerbarer Energien: Pilotprojekte wie Photovoltaikanlagen am Tagebau Hambach würden bereits getestet, und es gebe Pläne für eine verstärkte Nutzung von Randgebieten der Tagebaue für großflächige PV-Anlagen. Diese Initiativen könnten langfristig einen erheblichen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung in der Region leisten.

Torsten Stamm (Stadt Bedburg) sagt: „Ein relevanter Faktor, der für Bedburg gesprochen hat, so viel wissen wir aus den Absicherungsverhandlungen, ist, dass wir hier ein ausgesprochen stabiles Netz in der Stadt haben.“ Und in unmittelbarer Nähe zum geplanten Microsoft-Standort befinde sich ein großer Netzknoten.

Nachholbedarf beim Ausbau der Wärmenetze

Dr. Ruth Laengner (Kreisstadt Bergheim) sieht die große Herausforderung in der Bereitstellung von Wärmenetzen, die derzeit nur rudimentär oder gar nicht vorhanden seien. Diese Einschätzung deckt sich mit der Aussage von Torsten Stamm (Stadt Bedburg). „Wir haben keine Wärmenetze in der Stadt, also keine

²⁰ Von Osterath bis Philippsburg verläuft die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) Ultratnet, welche zusammen mit A-Nord den sogenannten „Korridor A“ bildet. Im Netzentwicklungsplan (NEP) 2037/2045 sind weiterhin insgesamt 9 Offshore-Anbindungsleitungen (Kapazität 18 GW) direkt nach NRW enthalten, die den Windstrom nach NRW transportieren werden. Im Rheinischen Revier werden die HGÜ-Leitungen an Netzverknüpfungspunkten in Rommerskirchen, Oberzier und Sechtem angeschlossen. Die Offshore-Anbindungsleitungen werden als HGÜ-Erdkabel Strom aus den Offshore-Windenergieparks der Nordsee zu den Verbrauchszentren in Nordrhein-Westfalen transportieren.

bestehenden.“ Im Gegensatz zum Ruhrgebiet, wo solche Infrastrukturen teilweise bereits vorhanden seien, oder in einigen ostdeutschen Regionen, fehle es in Bedburg an Wärmenetzen.

Der Ausbau der Wärmenetze spielt eine zentrale Rolle, um die Abwärme von den geplanten Hyperscale-Rechenzentren nutzen zu können (siehe Wirkebene Ressourcenbedarf in Kapitel 5). Die Abwärme von Hyperscale-Rechenzentren könne sinnvoll genutzt werden, erläutert Kilian Wagner (Bitkom), indem sie in Fern- oder Nahwärmenetze eingespeist werde. Für die direkte Einspeisung in ein Fernwärmenetz sei oft eine zusätzliche Wärmepumpentechnologie erforderlich, da die von luftgekühlten Rechenzentren erzeugte Abwärme eine Temperatur von etwa 30 Grad Celsius habe – deutlich unter den 80 bis 90 Grad, die klassische Fernwärmenetze benötigen. Hingegen sei die Einspeisung in moderne Nahwärmenetze einfacher, da sie oft mit energieeffizienten Gebäuden verbunden sei, die niedrigere Temperaturniveaus nutzen könnten (z.B. für Fußbodenheizungen oder Gewächshäuser). In Zukunft können auch die Temperaturniveaus in Rechenzentren steigen, was die Nutzung der Abwärme flexibler machen würde.

Rechenzentrumsbetreiber seien aufgrund europäischer Vorgaben verpflichtet, Teile der abgeführten Wärme in Wärmenetze einzuspeisen, anstatt sie in die Luft abzugeben, erklärt Dirk Brügge (Rhein-Kreis-Neuss). Die Stadt Grevenbroich plane u.a., das Wärmenetz vor dem Hintergrund der geplanten Microsoft Ansiedlung in der Region an ein benachbartes Wohngebiet anzuschließen. In Grevenbroich-Frimmersdorf und -Neurath gebe es ein Fernwärmenetz, das derzeit von Kraftwerken gespeist wird, die bald abgeschaltet werden. Es bestehe daher Bedarf an alternativen Wärmequellen.

Es wird aber insgesamt mehrheitlich erwartet, dass die Menge der anfallenden Abwärme künftiger Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier den Bedarf der Kommunen übersteigen wird, was dazu führen könnte, dass nicht die gesamte Wärme effizient nutzen zu können. Damit sich der Bau und Betrieb von Wärmenetzen wirtschaftlich lohne, sei eine konstante Abnahmeleistung erforderlich, so die Ansichten der Handelskammern. Es müssten also ausreichend Abnehmer vorhanden sein, die regelmäßig Wärme beziehen. Zum Teil seien mit den Netzen große Entfernungen zu überwinden.

Planungssicherheit und Schnelligkeit beim Infrastrukturausbau

Die interviewten Unternehmer erwarten einen verlässlichen Ausbau der Infrastruktur, um langfristige Planungssicherheit für komplementäre Investitionsmaßnahmen in den Betrieben zu gewährleisten. Dazu zählen u. a. konkrete Angaben zum Ausbau der Wärmenetze in der Region, um den Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung zu ermöglichen. Diese Themen haben zudem eine direkte Relevanz für die Betrachtung der Folgeeffekte der geplanten Microsoft-Ansiedlung, wenn man berücksichtigt, dass das gestiegene Interesse von internationalen Investor:innen für die Region bereits an sich als ein Folgeeffekt der geplanten Ansiedlung gewertet werden kann. Der Ausbau der entsprechenden Infrastruktur hat dafür eine entsprechende Bedeutung.

Auch die Geschwindigkeit des Ausbaus ist ein Thema, das unter anderem die Stadt Grevenbroich beschäftigt. Denn um die erhofften Folgeansiedlungen rund um die geplanten Hyperscale-Rechenzentren zu verwirklichen, brauche es auch Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur. Der Ausbau der Bahn- und ÖPNV-Infrastruktur in der Region sei von zentraler Bedeutung, um den Standort für internationale Unternehmen attraktiv zu machen und um Arbeitskräfte anzuziehen, so Christian Eßer (Stadt Grevenbroich). Da die Region durch den vorgezogenen Kohleausstieg bereits in den nächsten Jahren die ehemaligen Kraftwerkstandorte für neue Nutzungen wie Gewerbegebiete vorbereiten muss, sei der Bedarf an einer verbesserten Schienenanbindung drängend. Dies könne von den Kommunen jedoch nicht allein bewältigt werden, da die Verantwortung und Umsetzung auf höherer Ebene – insbesondere bei der Bundespolitik – liege, was zu langen Planungsprozessen führe. Eine zügige Verbesserung des Nahverkehrs und der Schienenanbindung sei notwendig, um die Region nachhaltig und international wettbewerbsfähig zu gestalten.

Internationale Investor:innen würden nicht verstehen, warum Infrastrukturprojekte so lange dauern. „Weil das versteht man auch von außen nicht, dass das so lange dauert, um eine S- Bahn irgendwohin zu bekommen. Das ist für einen internationalen Investor:in nicht mehr nachvollziehbar, wenn wir dann sagen, das braucht 20 Jahre“, sagt Kristiane von dem Bussche (Stadt Grevenbroich, GFWS).

Cybersicherheit muss mitgedacht werden

Die geplanten Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier könnten aufgrund ihrer Schlüsselrolle in der digitalen Infrastruktur ein Ziel für Cyberangriffe

darstellen. Das erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Region ins Visier von Hackern oder staatlich unterstützten Cyberakteuren gerät. Insbesondere Unternehmensvertreter betonten daher die Notwendigkeit, kritische Infrastrukturen wie Energie- und Telekommunikationsnetze durch Investitionen zu schützen. Dies sei besonders wichtig, da das Wachstum der örtlichen Digitalwirtschaft das Risiko von Cyberangriffen erhöhe. Prof. Dr. Hans Jörg Hennecke (HANDWERK.NRW) ist der Meinung, die Verwundbarkeit digital vernetzter Gesellschaften wachse durch die geopolitischen Entwicklungen. Daher sei es notwendig, Vorsorge zu treffen und die Stabilität der Infrastrukturen sicherzustellen.

Auf der anderen Seite bringen Hyperscale-Rechenzentren modernste Technologie in die Region, was die IT-Sicherheitsstandards erheblich erhöht. Zudem könnte die geplante Ansiedlung auch Expert:innen zum Thema Cybersicherheit vermehrt in die Region ziehen. Das Auslagern eines Rechenzentrums, etwa an einen Hyperscaler, kann für Unternehmen häufig mehr Sicherheit bieten als der Betrieb eines eigenen Rechenzentrums, erklärt Christian Dieckhoff (BCIX). Ein Hyperscale-Rechenzentrum verfügt über redundante Sicherheitskonzepte, wie etwa mehrfach gesicherte Server und Notfallsysteme, und biete einen höheren Schutz der Unternehmensdaten als eine eigenständige Sicherung durch das Unternehmen selbst.

Andreas Weiss (eco e.V.) sagt, im digitalen Raum sei Zero Trust essenziell für Sicherheitskonzepte: Grundsätzlich werde keinem Nutzer oder Gerät vertraut. Sicherheit entstehe nur dadurch, dass alle Zugriffe authentifiziert, autorisiert und kontinuierlich überprüft würden, bevor ihnen Zugang zu Anwendungen und Daten gewährt werde. Daher sei es entscheidend, vertrauenswürdige Mechanismen innerhalb digitaler Ökosysteme zu entwickeln und zu etablieren, wie es bereits in Gaia-X -Projekten erprobt wurde.

Die Kommunen, insbesondere Grevenbroich und Euskirchen, betonen die Notwendigkeit, kleinere Unternehmen zu sensibilisieren, die sich oft nicht als Ziel von Hackerangriffen betrachteten, aber aufgrund mangelnder Schutzmaßnahmen besonders gefährdet seien. Dies ist auch aus Sicht der Handelskammern ein wichtiger Punkt. Je mehr digitale Technologien und Anwendungen in einer Region integriert werden, desto größer wird die Angriffsfläche, was Cybersicherheit zu einem zentralen Thema mache. Unternehmen müssten sich bewusst sein, dass sie unabhängig von ihrer Größe gefährdet sind. Mittlerweile

seien auch kleine Betriebe wie Zahnarztpraxen oder Bäckereien Ziel professioneller Hacker. Daher sei es entscheidend, dass die Unternehmer in der Region sich über Cyberangriffe informieren und Maßnahmen zu ihrem Schutz ergreifen. Initiativen wie die Cyber Campers NRW bieten Unterstützung und Ressourcen, um diesem wachsenden Bedrohungsszenario entgegenzuwirken.

Zwischenfazit

Beim Thema IT-Infrastruktur zeigt sich eine Diskrepanz zwischen den Ergebnissen der Literaturlauswertung und den Interviews, wobei die Studien die Lage in der Tendenz positiver bewerten als die Interviewten. Ein Grund könnte sein, dass die Akteur:innen aus der Region sich sehr konkret und aus praktischer Sicht mit der Infrastruktur vor Ort auseinandersetzen, während die Studien auf einer höheren Abstraktionsebene argumentieren. Während in der begutachteten Literatur beispielsweise eine gute Versorgung mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen in der Region konstatiert wird und auch die Vielzahl an innovativen Projekten positiv hervorgehoben wird, werden die Rahmenbedingungen für die Skalierung von Gründungen und Mängel im Wissenstransfer in traditionelle Industrien bemängelt. Deutliche Entwicklungspotenziale werden beim noch nicht ausgeprägten Image als Digitalregion und dem Vorhandensein von digitalen Vorzeigeunternehmen gesehen. Diese Einschätzung deckt sich mit den Aussagen in den Interviews. In der Literatur wird eine Unterversorgung in Hinblick auf das Vorhandensein von größeren IT-Rechenzentren gesehen, während in den Interviews mit Blick auf den Ausbau der Glasfaser (als zentraler Bestand der IT-Basis) mehrheitlich die Region als überdurchschnittlich bewertet wurde. Weiter stimmen Literatur und Interviewauswertung in dem Sinne überein, dass eine Energiesicherheit besteht. In den Interviews wurden aber auch geäußert, dass ein verlässlicher Ausbau von Infrastruktur zu regenerativen Energieerzeugung und Wärmenetzen diese Sicherheit in der Energiewende erhalten kann²¹. Zudem wurde die Bedeutung der Cybersicherheit unabhängig von der Unternehmensgröße in den Interviews betont.

²¹ Weitere Erwägungen zur Sicherstellung der Energiesicherheit durch Power Purchase Agreements (PPAs) finden sich in Kapitel 5.

4.3 Erfolgsindikatoren in Wirkebene Infrastruktur und digitales Ökosystem

Im Folgenden werden die Indikatoren aufgelistet, die den Ausgangspunkt für eine Einordnung und Bewertung der Effekte der (Hyperscale-) Infrastruktur bilden.

Indikator 8: Investitionen der Unternehmen

Der zentrale Kontextindikator erfasst in diesem Zusammenhang die Investitionen der Industrie (in Euro) im jeweiligen Jahr (K) (s. Tab. 13). Dieser sollte normiert werden, beispielsweise indem er in Relation zur Zahl der Beschäftigten gesetzt wird, um Vergleiche zwischen Regionen zu ermöglichen. Geeignet wäre eine Messung der „Investitionen der Industrie in 1.000 Euro je Beschäftigten“.

Allerdings sind die Investitionen der Industrie, auch wenn sie oftmals mit Investitionen in digitale Technologien verbunden sind, nur eine indirekte Messgröße des Ausbaus der Infrastruktur. Ebenfalls eine indirekte, aber genauere Messung kann durch den Detailindikator „Bruttoanlageinvestitionen der Unternehmen in Informations- und Kommunikationstechnologien (S, WZ J)“ erfolgen. Im Gegensatz zum Kontextindikator ist dieser Indikator nicht unmittelbar durch die Regionalstatistik der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder verfügbar, sondern muss durch eine kostenpflichtige Sonderauswertung erstellt werden. Detailindikatoren mit direktem Bezug zur geplanten Ansiedlung der Hyperscale-Rechenzentren müssen bei den Kommunen und Unternehmen vor Ort abgefragt werden. Dies betrifft die IT-Investitionen von Unternehmen im Zusammenhang mit den geplanten Hyperscale-Rechenzentren und Digitalparks und die IT-Investitionen der öffentlichen Hand im Rheinischen Revier.

Tabelle 13: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Unternehmensinvestitionen

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Investitionen in der Industrie	Statistische Ämter des Bundes und der Länder (www.regionalstatistik.de).	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier (in 1.000 Euro je Beschäftigten): 9,0 (Stand: 2021)		
Bruttoanlageinvestitionen der Unternehmen in Informations- und Kommunikationstechnologien (WZ J)	Statistisches Bundesamt, Sonderauswertung auf Kreisebene	S
IT-Investitionen von Unternehmen im Zusammenhang mit den geplanten Hyperscale-Rechenzentren, Digitalparks	Erhebung bei den beteiligten Unternehmen, Vorschlag ist ein Zweijahres-Rhythmus.	D
IT-Investitionen der öffentlichen Hand im Rheinischen Revier	Abfrage bei Kommunen	D

Quelle: eigene Darstellung; Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator

Indikator 9: Größe des Internetknotens, Rechenzentrumskapazität und IT-Netzwerkinfrastruktur

Die Größe eines Internetknotens und die Rechenzentrums-Kapazität der Hyperscaler können anhand mehrerer Indikatoren gemessen werden. Die Größe der Internetknoten kann etwa über die physische Größe der Netzgeräte, die Datenkapazität, die Anzahl der Verbindungen oder den Netzwerkverkehr erfasst werden. Hier gibt es einen kommerziellen Anbieter, der entsprechende Informationen zur Verfügung stellt.

Ein häufig verfügbarer Indikator für die Kapazität eines Rechenzentrums ist der Energieverbrauch in MW. Weitere Indikatoren sind die Größe und Serveranzahl sowie die durchschnittliche kritische IT-Last. Durchschnittliche Kritische IT-Last ist aber variabel und nur schwer genau zu bestimmen. Über Anzahl der Server gibt es häufig keine verfügbaren Informationen

Für die IT-Netzwerkinfrastrukturen existieren auf Kreisebene insbesondere aussagekräftige Indikatoren zur Verfügbarkeit für Haushalte (s. Tab. 14). Diese Indikatoren geben gleichzeitig Informationen über den gesamten Ausbaustand der IT-Netzwerkinfrastruktur. Die beiden zentralen verfügbaren Struktur-Indikatoren sind hier der Anteil der Haushalte mit Breitbandverfügbarkeit von mindestens 100/1.000 Mbit/s. und der Anteil der Glasfaseranschlüsse in Prozent der Haushalte.

Die Leistung der Internetknoten wird über die Datenübertragungsrate, die Anzahl der verbundenen Netzwerke, und die Verkehrsqualität als zentrale Indikatoren gemessen. Unterschiedliche private Anbieter informieren unregelmäßig über diese Indikatoren. Daher sollten die Werte, wenn eine entsprechende Infrastruktur aufgebaut ist, auf Basis der dann vorliegenden Datenbasis erhoben werden.

Tabelle 14: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Größe und Effizienz der Internetknoten IT-Netzwerkinfrastruktur

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Anteil der Haushalte mit Breitbandverfügbarkeit von mindestens 100/1.000 Mbit/s.	Breitbandatlas des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/Breitbandatlas/start.html); www.inkar.de	S
Anteil der Glasfaseranschlüsse in % der Haushalte	https://www.gigabit.nrw.de/breitbandausbau-in-nrw/glasfaseratlas.html	S
Aktueller Wert für Glasfaser-Anschlüsse in NRW (Juni 2024): 37,2,0%		
Größe der Internetknoten innerhalb des Bundeslandes/eines Umkreises	Relevant ist nach aktuellen Informationen der Internetknoten in Düsseldorf. Die Größe sollte bei den entsprechenden Anbietern erhoben werden, also bspw. bei DE-CIX und ECIX (Megaport).	S
Rechenzentrumskapazitäten im Rheinischen Revier / der Region Köln/Düsseldorf über Kapazität in MW	Erhebung bei den Rechenzentrumsbetreibern.	D
Die Rechenzentrumskapazitäten in der Region Köln/Düsseldorf lagen im Dezember 2024 bei 105 MW (Müller 2024).		

Quelle: eigene Darstellung; Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator

Indikator 10: Strominfrastruktur

Indikatoren für die Strominfrastruktur sollten, um die Auswirkungen der IT-Infrastrukturvorhaben zu erfassen sowohl als Strukturindikatoren für das Rheinische Revier als auch für die geplanten Hyperscale-Rechenzentren und die Digitalparks ermittelt und nachverfolgt werden (s. Tab. 15). Die beiden relevanten Indikatoren auf Ebene des Rheinischen Reviers umfassen den jährlichen Stromverbrauch und den Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch. Darüber hinaus ist eine getrennte Erhebung des Stromverbrauchs

und des Anteils erneuerbarer Energien am Stromverbrauch auch für die geplanten Hyperscale-Rechenzentren und Digitalparks zentral für die Bewertung der Wirkungen von Investitionen.

Tabelle 15: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Strominfrastruktur

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Stromverbrauch in KWh/a	Energieatlas NRW. https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarten/rheinisches_revier	S
Aktueller Wert für 2023: 18.092 GWh		
Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch	Energieatlas NRW. https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarten/rheinisches_revier	S
Aktueller Wert für 2023: 34,6%		
Anteil erneuerbarer Energien am Verbrauch der Hyperscale-Infrastruktur (Hyperscaler und Digitalparks)	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus beim Betreiber des Rechenzentrums und des Digitalparks.	D

Quelle: eigene Darstellung; Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator

Indikator 11: Wärmeinfrastruktur

In Hinblick auf die Wärmeinfrastruktur sind im Zusammenhang mit den geplanten Hyperscale-Rechenzentren zwei Aspekte relevant: einerseits Stand und Ausbau der Wärmenetze und andererseits die Nutzung von industrieller Abwärme als Strukturindikatoren (s. Tab. 16). In diesem Kontext ist zu erheben, wie weit die geplanten Hyperscale-Rechenzentren zur Nutzung von Abwärme in der Region beitragen.

Tabelle 16: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Wärmeinfrastruktur

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Investitionen in den Ausbau der Wärmenetze	Abfrage im zwei-Jahres-Rhythmus bei Kommunen	D
Genutzte industrielle Abwärme	Energieatlas NRW. https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarten/rheinisches_revier	S
Aktueller Wert der genutzten industriellen Abwärme im Rheinischen Revier (2018): 1055 GWh/a		
Genutzte Abwärme von den geplanten Hyperscalern in GWh	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus beim Betreiber des Rechenzentrums.	D

Quelle: eigene Darstellung; Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. **K** steht für Kontextindikator, **D** für Detailindikator und **S** für Strukturindikator

4.4 Handlungsempfehlungen zur Wirkebene Infrastruktur und digitales Ökosystem

Handlungsempfehlung 7: Koordinierung und Unterstützung des Ausbaus der Wärmenetze

Um die Abwärme aus Hyperscale-Rechenzentren effizient zu nutzen, ist ein gezielter Ausbau der Wärmenetze notwendig. Dabei sollten Gebiete mit hohem Wärmebedarf priorisiert und bestehende Förderprogramme wie progres.nrw oder die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) gezielt eingesetzt werden. Die Wirtschaftlichkeit ist entscheidend – sowohl für Betreiber als auch für Abnehmer:innen. Technische Lösungen gelten als machbar, doch der Erfolg hängt maßgeblich von einer übergeordneten Steuerung und Koordinierung ab, die alle relevanten Akteur:innen einbindet und den Infrastrukturausbau strategisch begleitet (Diese Handlungsempfehlung ist wirkebenenübergreifend relevant und wird daher auch in der Wirkebene „Nachhaltigkeit, Klima und Ressourcenbedarf“ in gleicher Form aufgeführt.)

Handlungsempfehlung 8: Planungs- und Abstimmungsprozesse weiter verschlanken

Der Ausbau der Infrastruktur ist sowohl für Investitionsentscheidungen von regionalen Unternehmen als auch für Investor:innen von außerhalb wichtig. Der Ausbau der Infrastruktur spielt eine entscheidende Rolle bei der Attraktivität einer Region für Investitionen, da eine moderne und zuverlässige Infrastruktur oft ein entscheidender Faktor bei der Standortwahl ist. Daher ist es wichtig, durch Vorhaben wie das „Infrastrukturpaket II“ der Landesregierung aus dem März 2021, welches Prüfverfahren im Straßen- und Brückenbau vereinfachte und Rechtswege verkürzte, für Planungssicherheit zu sorgen und die Planungs- und Abstimmungsprozesse zu beschleunigen, um stabile und langfristige Rahmenbedingungen zu bieten. Das oben erwähnte Förderprogramm progres.nrw – Klimaschutztechnik ist beispielsweise für Unternehmen v. a. dann interessant, wenn auch die umliegende Infrastruktur ausgebaut wird, damit die Einspeisung der erzeugten Energie möglich ist.

Handlungsempfehlung 9: Cybersicherheit

Die Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren hat das Potenzial, das Rheinische Revier zu einem Zentrum für digitale Innovation und Cybersicherheit zu machen. Um die Chancen zu maximieren und die Risiken zu minimieren, wären

gezielte Investitionen in Sicherheitsinfrastruktur, Weiterbildung und regionale Kooperationen erforderlich. Mit der zunehmenden Digitalisierung der Region müssen auch Kompetenzen zur Cybersicherheit mitgedacht werden. Auch kleinere Unternehmen in der Region sollten für die Gefahren von Cyberangriffen sensibilisiert werden. Oftmals sehen sie sich nicht als potenzielle Ziele, was sie aufgrund unzureichender Sicherheitsmaßnahmen besonders anfällig macht. Es ist wichtig, dass sie die Risiken erkennen und entsprechende Schutzmaßnahmen ergreifen, um ihre Daten und Systeme zu sichern. Dies kann durch Schulungen, Aufklärungskampagnen und die Bereitstellung von Ressourcen zur Verbesserung der IT-Sicherheit erreicht werden. Ein gemeinsamer Ansatz könnte die Region widerstandsfähiger gegen Cyberbedrohungen machen und gleichzeitig ein sichereres digitales Ökosystem fördern. Daher ist es sinnvoll, Initiativen und Einrichtungen wie DIGITAL.SICHER.NRW oder Cyber Campers NRW auch im Rheinischen Revier mehr zu promoten.

Kapitel 5: Wirkebene Nachhaltigkeit, Klima und Ressourcenbedarf

Die Wirkebene Klima behandelt unterschiedliche ökologische Nachhaltigkeitsaspekte mit einem Fokus auf den Ressourcenverbrauch.

Der Bedarf der Hyperscale-Rechenzentren an Strom und natürlichen Ressourcen ist dabei von einer Vielzahl von Variablen abhängig, was das Erkennen konkreter Handlungsbedarfe zuweilen erschweren kann. Dieses Kapitel beschreibt die aktuelle Datenlage zur Ressourceneffizienz von Rechenzentren, die derzeit verfügbaren Informationen zu den geplanten Hyperscale-Rechenzentren von Microsoft sowie die Erwartungshaltung der lokalen Akteur:innen. Die Berücksichtigung der Auswirkungen von Rechenzentren auf die lokale Umwelt und den Klimawandel findet mittlerweile prominent Eingang in die Gesetzgebung. Vorrangig zu nennen ist u.a. das Energieeffizienzgesetz (EnEfG), das differenzierte Vorgaben zur Berichterstattung eines Rechenzentrums und die zu berücksichtigenden Kennwerte enthält²². Die im EnEfG abgebildete Indikatorik spiegelt im Wesentlichen die aktuellen Kriterien von nachhaltig wirtschaftenden Rechenzentren wider. Zunächst wird aber der Hintergrund unter Rückgriff auf wichtige Beiträge aus der internationalen wissenschaftlichen Literatur erörtert. Mögliche Instrumente zur Berechnung von Indikatoren werden ebenfalls präsentiert. Entscheidend wird sein, dass die im Rheinischen Revier geplanten Hyperscale-Rechenzentren den gesetzlich vorgeschriebenen und über die Zeit zunehmend strengen Kriterien standhalten werden. Dazu werden die Ausführungen des EnEfG in eine Indikatorik überführt, die sich auch unabhängig davon für ein Monitoring eignet.

5.1 Einschätzung auf Basis vorhandener Untersuchungen

Rechenzentren gelten als ein wesentlicher Baustein für den Übergang zu einer digitalen und nachhaltigeren Gesellschaft (sog. Twin Transformation, siehe

²² Ebenso ist hinzuweisen auf zahlreiche weitere verbindliche, quasi-verbindliche oder freiwillige Vorgaben auf europäischer und nationaler Ebene, wie z.B. der Europäische Pakt für klimaneutrale Rechenzentren, der EU Code of Conduct on Data Center Energy Efficiency, die Energieeffizienzdirektive 2023/1791 des Europäischen Parlamentes und des Rates, das Gebäudeenergiegesetz (GEG), das Kraft-Wärmekoppelungsgesetz (KWKG). Hinzuwiesen ist auch auf Normen und freiwillig einzuhaltende Vorgaben (z.B. „Blauer Engel“ oder Empfehlungen des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (vgl. hierzu: Bytes2Heat 2023; Gröger et.al. 2023)

Glossar). Twin Transformation beschreibt die synergetische Verstärkung der digitalen und nachhaltigen Transformation von Unternehmen und ist für den Strukturwandel einer Region von entscheidender Bedeutung, so auch für das Rheinische Revier. Dieser ökonomische Prozess stellt in der Theorie einen klassischen Effizienzgewinn im Erzielen der Wertschöpfung dar, ähnlich der Erfindung der Dampfmaschine oder des Fließbandes in der Produktion. Das berühmte „Moore’s law“ für die Digitalindustrie beschreibt, dass die Effizienz von Hochleistungsrechnern sich alle 1,5 Jahre verdoppelt (Koomey J, Masanet E (2021)).

Moderne digitale Infrastrukturen besitzen das Potenzial, Kommunikation ressourceneffizienter zu gestalten (z.B. weniger Rohstoffverbrauch, weniger Verkehrsbelastung, z.B. durch Berufspendler:innen, weniger Emissionen) und die internationale Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen zu stärken. In der Theorie stellen Rechenzentren daher eine notwendige Infrastruktur für die besagte Twin Transformation dar und sind für eine nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung im 21. Jahrhundert unabdingbar.

Rechenzentren können also einen vielversprechenden Weg in eine nachhaltige digitale Zukunft weisen und sind gleichzeitig eine Herausforderung mit Blick auf die Nachhaltigkeit (Ewim et al. 2023). Ein Blick auf bestehende Rechenzentren zeigt jedoch, dass sich die Nachhaltigkeitsbilanz von Rechenzentren in einem breiten Spektrum bewegt. Dieses reicht von einem hohen Energieverbrauch bei großflächiger Flächenversiegelung und Fokus auf Konsum²³ statt Innovation (mehr Effizienz in Unternehmen und Verwaltung) bis hin zu Konfigurationen, die mit Blauem Engel (s.u.) ausgezeichnet sind und dabei gleichzeitig einen Beitrag zu wichtiger Grundlagenforschung und Innovation leisten (z.B. das Rechenzentrum der Helmholtz-Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt). Wie die Rechenzentren im Rheinischen Revier konfiguriert werden (Leistungsfähigkeit, Energieversorgung, Abwärmenutzung, Verbrauch von Ökosystemleistungen, Wasser, Flächenversiegelung etc.) und wel-

²³ Unter konsumtiven Angeboten von Rechenzentren werden Dienstleistungen für private Zwecke z.B. Streaming, Bitcoin Mining, Nutzung leistungsfähiger Mobiltelefone (5G) etc. verstanden, während die innovative Facette von Rechenzentren v.a. die Perspektive sinkender Kosten für Ressourcen und Kommunikation ausmacht. Genau hier wird auch die genannte Twin Transformation verortet. Die Grenzen zwischen den beiden Polen verlaufen freilich fließend. So kann z.B. die Nutzung von leistungsfähigen Handys sowohl konsumtiv durch den Verbraucher als auch investiv durch Unternehmen erfolgen. Ähnlich fließend verhalten sich auch die entsprechenden Absatzmärkte für Rechenzentren.

che Märkte sie bedienen (konsumtive Angebote oder Vorleistungen für effizientere Produktion), wird bestimmen, ob und in welchem Maße sie auf das Gelingen der Twin Transformation im Rheinischen Revier einzahlen. Vor diesem Hintergrund macht das am 18.11.2023 in Kraft getretene neue Energieeffizienzgesetz (EnEfG) konkrete Vorgaben für Rechenzentren zur Energieeffizienz und der Nutzung von Abwärme. Seit dem 1.1.2024 müssen die Rechenzentren ihren Strom bilanziell zu 50 Prozent aus erneuerbaren Energien decken. Ab dem 1.1.2027 muss der gesamte Stromverbrauch mit erneuerbaren Energien gedeckt werden. Die Anforderungen an die Energieeffizienz und die Abwärmenutzung hängen vom Datum der Inbetriebnahme ab. Für Rechenzentren, die vor dem 1.6.2026 in Betrieb gehen bzw. gegangen sind, gilt:

- Energieverbrauchseffektivität (PUE) < 1,5 ab 2027 und < 1,3 ab 2030
- Keine Pflicht zur Abwärmenutzung

Für Rechenzentren, die nach dem 1.6.2026 in Betrieb gehen, gelten folgende Vorgaben:

- Energieverbrauchseffektivität (PUE) < 1,2
- Pflicht zur Abwärmenutzung: ab 2026 mindestens 10 Prozent, ab 2027 mindestens 15 Prozent und ab 2028 mindestens 20 Prozent²⁴.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Untersuchung liegen keine Angaben von Microsoft zur genauen Konfiguration der im Rheinischen Revier geplanten Hyper-scale-Rechenzentren vor. Mit Angaben zu Leistungsfähigkeit und Energieverbrauch der IT sowie Kühlung und Beleuchtung könnte bereits im Vorfeld die wichtige Kennzahl zur Energieeffizienz (PUE) berechnet werden. Es bleibt daher zu empfehlen, diese ohnehin gesetzlich vorgeschriebenen Angaben durch den Investor zu erhalten.

²⁴ Die Anforderungen nach §11 Absatz 2 Satz 1 Nummer 2 EnEfG entfallen, wenn der Betreiber des Rechenzentrums nachweist, dass eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

(1) Der Anteil an wiederverwendeter Energie entspricht nach Inbetriebnahme aufgrund nachträglicher Ereignisse ohne Verschulden des Betreibers nicht mehr den Anforderungen.

(2) Eine Vereinbarung zur Abwärmenutzung mit einer nahegelegenen Gemeinde oder dem Betreiber eines Wärmenetzes liegt vor, die den Aufbau oder die Gestattung eines Wärmenetzes innerhalb von zehn Jahren vorsieht und einen Investitionsplan sowie Regelungen zu Kosten und Preis der Abwärme enthält.

(3) Der Betreiber eines nahegelegenen Wärmenetzes nimmt ein Angebot zur Nutzung wiederverwendeter Energie zu Gestehungskosten nicht innerhalb von sechs Monaten an, obwohl die notwendige Infrastruktur zur Bereitstellung der Wärme vorhanden ist.

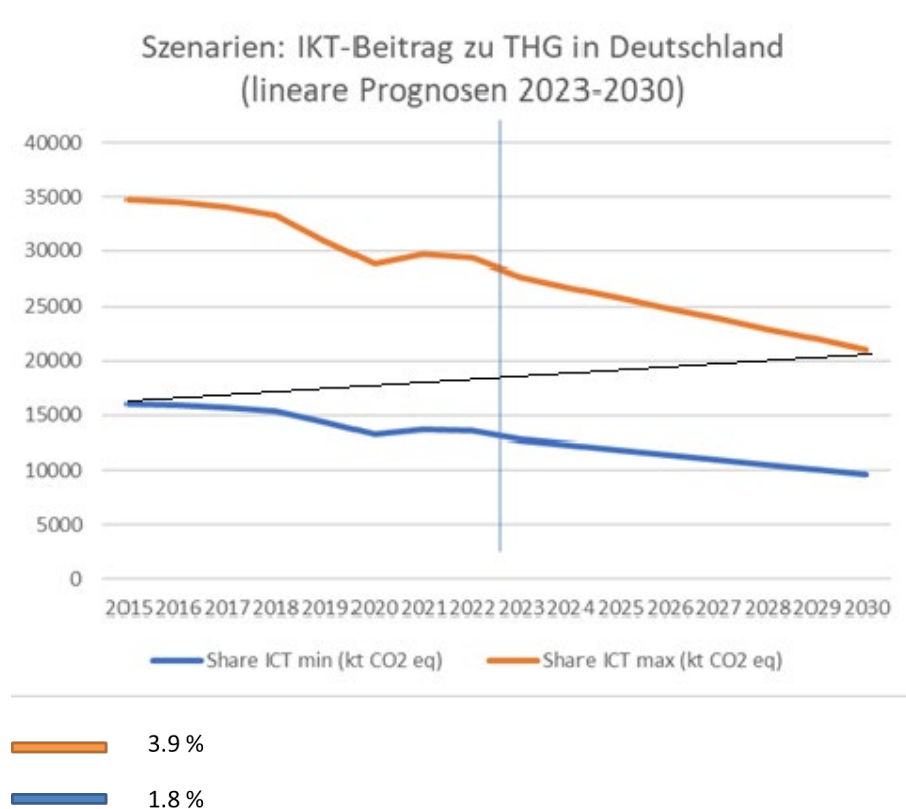
Im Rahmen der Umweltberichterstattung thematisiert der Investor auch die Rolle von Rechenzentren für nachhaltiges Wirtschaften (Microsoft 2024c). An solchen selbst gesteckten Zielen bzw. freiwillig intendierten Kompensationsleistungen sollte das Unternehmen dann auch durchaus gemessen werden. Genaue Aussagen sind freilich erst möglich, wenn das Unternehmen die Pläne für das Rheinische Revier konkretisiert. Entsprechende Ideen finden sich aber bereits in den o.g. Nachhaltigkeitsberichten (Microsoft 2024c). Die Nachhaltigkeitsbilanz ist in der Langfrist jedoch nur schwer zu prognostizieren, da hier viele Einflussfaktoren wirken, deren Stärke heute noch nicht präzise beziffert werden kann. Daher werden im Folgenden einige bedeutsame Wirkungsmechanismen vorgestellt, die die Nachhaltigkeitsbilanz von Rechenzentren beeinflussen.

Risiko von Rebound-Effekten durch gestiegene Effizienz von Rechenzentren

Die enormen Effizienzgewinne, die durch die Digitalisierung ermöglicht werden, können zum dem scheinbar paradoxen Ergebnis führen, dass der Energieverbrauch insgesamt steigt. Hierfür sind sog. Rebound-Effekte verantwortlich: Durch die Effizienzgewinne sind digitale Dienstleistungen kostengünstiger verfügbar, was zu einer steigenden Nachfrage nach diesen Angeboten führt. Wenn der erhöhte Energiebedarf aus der steigenden Nachfrage höher ausfällt als die ursprünglichen Einsparungen aus den Effizienzgewinnen, steigt der Gesamtenergieverbrauch (Freitag et al. 2021).

Freitag et al. (2021) schätzen in ihrer Meta-Studie den gegenwärtigen Anteil der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT, englische Abkürzung ICT)) am globalen Treibhausgas-Ausstoß (THG) in der Spannbreite zwischen 1,1 und 3,9 Prozent (Abb. 4). Die Schätzung der Studie wird in der folgenden Grafik visualisiert. Die blaue und die orange Kurve zeigen diese beiden Werte und repräsentieren die Untergrenze und die Obergrenze des Korridors des möglichen Anteils. Setzt man die zwei genannten Margen in Bezug zu den berichteten THG-Emissionen in Deutschland, so ergibt sich zwar in den zwei Prognosen ein deutlicher Rückgang der Emissionen durch Rechenzentren. Erlaubt man jedoch eine Variation der prozentualen Anteile an den Gesamt-THG-Emissionen, so kann sich – zumindest in der Theorie – auch eine Steigerung der absoluten Emissionen durch Rechenzentren ergeben, wie an der schwarzen Linie (2015-2030) sichtbar wird.

Abbildung 4: Szenarien des IKT-Beitrags zu THG in Deutschland



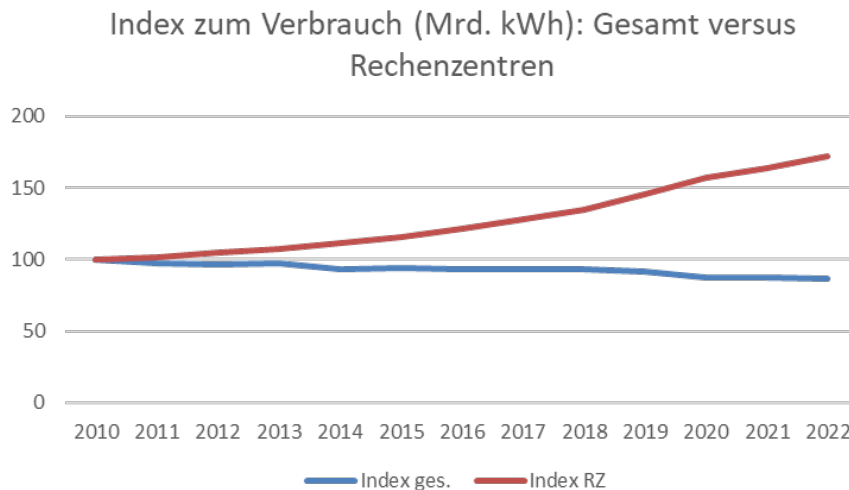
Quelle: Eigene Berechnung auf Basis der Daten von: Freitag et al. (2021) und EEA²⁵: Prognosen basierend auf dem Stützzeitraum 2015-2022.

Entscheidend wird sein, inwieweit durch das Effizienzpotenzial der Rechenzentren tatsächlich ein dauerhafter Rebound-Effekt entsteht, der in der Langfrist zu einem höheren Gesamtenergieverbrauch führen könnte. Eine seriöse Prognose ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich.

In den letzten Jahren ist der gesamte Energieverbrauch in Deutschland zwar leicht gesunken (blaue Kurve in Abb. 5), der darin enthaltene Verbrauch der Rechenzentren ist jedoch deutlich gestiegen, was an dem vergleichenden Index ablesbar ist (siehe rote Kurve in Abb.5). Kurz- und mittelfristig ist daher bei Extrapolation der roten Kurve ein Rebound-Effekt nachweisbar. Dieser kann sich langfristig abmildern und neutralisieren.

²⁵ Datenzugang: www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/greenhouse-gases-viewer-data-viewers

Abbildung 5: Index zum Verbrauch von Rechenzentren



Quelle: Datenbasis: Bitcom (2023) Rechenzentren in Deutschland – Aktuelle Marktentwicklungen, Berlin; Destatis (2024) Tabelle 43331-0001, eigene Berechnung

Freilich beanspruchen jegliche Langfristprognosen für die Digitalindustrie keine Allgemeingültigkeit. Dazu gestalten sich die ökologischen und ökonomischen Ambivalenzen in diesem Sektor zu komplex. Veränderungen der Nachfrage, heute noch nicht absehbare technische Innovationen, Umwelt- und Klimawandel oder aber auch politische Krisen haben das Potenzial, jegliche solcher Prognosen plötzlich obsolet zu machen.

Die einschlägigen umwelt- und klimarelevanten Auswirkungen der Digitalindustrie im Allgemeinen und der Rechenzentren im Besonderen wurden allerdings durch zahlreiche empirische Studien und Meta-Analysen beleuchtet. Dabei ist erwartungsgemäß zu unterscheiden in optimistische, perspektivische und eher pessimistische Einschätzungen. Optimistische Einschätzungen unterstreichen vor allem die unbestrittenen Vorteile der Digitalisierung; pessimistische Prognosen beleuchten vorwiegend die Risiken, die mit steigendem Energieverbrauch und sonstigen Umweltauswirkungen verbunden sind. Perspektivische Sichtweisen beinhalten hingegen vor allem technische Fragen, die langfristig für eine erfolgreiche Twin Transformation durch Hyperscale-Rechenzentren zu beachten sind. Nur einige wenige relevante Arbeiten sollen hier

zusätzlich exemplarisch präsentiert werden²⁶. Die empirischen Ergebnisse der ausgewerteten Studien sind im Vergleich weitgehend „nicht eindeutig“, was angesichts der genannten statistischen Unsicherheiten auch nicht verwundert.

Exemplarische Auswahl Optimistischer Prognosen

Pasek et al. (2023) verfolgen nicht nur eine optimistische Prognose, sie beklagen bei der Analyse der Klimaauswirkungen von ICT darüber hinaus eine ausgeprägte Ideologieorientierung in der Verwendung von Daten, v.a. wenn damit eine weitgehende De-growth-Strategie (d.h. eine nicht auf Wachstum der Wirtschaft ausgerichtete Strategie) suggeriert werden soll. Unter anderem stellen die Autoren die oben genannte Problematik der Rebound-Effekte (e.g. Freitag et al (2021) in Frage und unterstellen diesen Untersuchungen eine unpräzise Empirie. Eine wichtige ungelöste Frage in der Literatur sei den Autoren zufolge die zukünftige Rate der Energieeffizienzsteigerungen in globalen Netzwerken, insbesondere in Rechenzentren. Wie bei der relativen Größe der Fußabdrücke des Sektors gebe es aber keinen Konsens über die Raten verbesserter KWh/GB-Effizienzen in der Zukunft und auch nicht über das Ausmaß, in dem solche Effizienzen ein angemessener Weg sind, um die Klimaauswirkungen des Sektors als Ganzes zu erfassen und zu steuern. Es sollte den Autoren zufolge nicht überraschen, dass die Bewertungen der Klimaauswirkungen von IKT so eng mit den unterschiedlichen Visionen für den Sektor und seine Technologien verwoben sind - deren Zukunft noch längst nicht entschieden ist. Die Aufgabe, Zahlen über global verstreute digitale Netzwerke zu erfassen und zu bewerten, wird durch ständige Reibungsverluste erschwert, sowohl bei der Zusammenstellung von Datenbeständen als auch bei den raschen Veränderungen der Dynamik, die sie abzubilden versuchen. Wissenschaftler übersehen diese komplexen Zusammenhänge, wenn sie sich unkritisch auf die Emphase von charismatischen Zahlen einer einzigen Studie stützen. Eine relationale Klima-Fußabdruckanalyse würde Pasek et al. (2023) zufolge eine andere Art von Politik suggerieren: eine Politik, die klug verortet ist und die vielfältigen und sich schnell verändernden Beziehungen zwischen sozialem Bedarf, Ressourcennutzung und operativer Schärfe globaler Netzwerke eher beibehält als reduziert. So richtig diese Feststellungen und Vorschläge auch sein mögen, sie entkräften freilich nicht das Argument potenzieller Rebound-Effekte, auch

²⁶ Die meisten Paper sind begutachtet (peer-reviewed) und in international anerkannten Journalen veröffentlicht. Einige wenige ausgewertete Studien sind unbegutachtete Preprints oder Buchkapitel.

wenn sie aus der heutigen Sicht noch nicht in einem hinreichend engen Prognosekorridor quantifizierbar sind (vgl. Widdicks et al. 2023).

Verschiedene Autoren sehen zwar ebenfalls bedeutende Risiken für Klima und Umwelt, verweisen aber v.a. auf bedeutende Effizienz- und damit klimaschützende Potenziale, die es nur zu nutzen gilt.

Gupta et al. (2021) prognostizieren etwa für batteriebetriebene IT (Handys, Tablets, Laptops etc.) einen deutlich größeren ökologischen Fußabdruck. Im Gegensatz dazu dominieren die betriebsbedingten THG-Emissionen bei Geräten, die ständig mit dem Internet verbunden sind, wie Lautsprecher oder Desktop-Computer. Bei den Rechenzentren würden die meisten Emissionen auf den Bau, die Infrastruktur und die Herstellung der Hardware entfallen. Interessanterweise sinken laut den Autoren dieser Studie die betrieblichen Gesamtemissionen bei Facebook und Google, obwohl der Gesamtenergieverbrauch tendenziell steigt. Die Vergabe von Verträgen und die Sicherung umweltfreundlicher Energiequellen für die Stärkung von Rechenzentren könnte den Autoren zu Folge daher zu einer Nettoreduzierung der betrieblichen Kohlenstoffemissionen führen.

Fernández-Cerero et al. (2019) errechnen einen signifikanten Energieeinspar-effekt durch eine verbesserte Software in Rechenzentren. Ihre Schätzungen für die USA zeigen, dass über eine leistungsfähigere Software 11,5 Mio. Tonnen CO₂ eingespart werden könnten, was im Vergleich der Stilllegung von 4,79 Mio. Verbrennungsfahrzeugen entspräche, d. h. der gesamten Fahrzeugflotte von Ländern wie Portugal, Österreich und Schweden.

Flucker et al. (2017) weisen neben der Energieeffizienz auch auf die Effizienz des Wasserverbrauchs bei der Kühlung von Rechenzentren hin. In Ländern mit einem hohen bzw. steigenden Anteil an erneuerbaren Energien (z.B. Deutschland) sollte der Wasserverbrauch demnach bei der Wahl einer Kühllösung begrenzt werden (gegenüber einer Kühlung auf regenerativer Energiebasis). Neu gebaute Rechenzentren, die nur für den Energieverbrauch Energie- und nicht auf den Wasserverbrauch optimiert sind, könnten in den kommenden Jahrzehnten (relativ) mehr Auswirkungen durch den Wasserverbrauch (als Stromverbrauch) haben, als wenn sie auch ihren Wasserverbrauch optimiert hätten.

Zu ähnlichen Ergebnissen, speziell zu den USA, kommen auch Lei and Masanet (2022).

Perspektivische Sichtweisen im Überblick

Die internationale Literatur debattiert auch bestimmte Perspektiven, wie Gesellschaft, Politik und Gesetzgebung beim Betrieb von Rechenzentren zu mehr Klimaneutralität beitragen können.

Der unterbrechungsfreie Betrieb von Rechenzentren mit hohem Energieverbrauch und hoher Wärmestromdichte führt gemäß Yuan et al. (2023) zu einer enormen Abwärme, und wenn dieser Teil der Abwärme nicht beseitigt oder wiederverwendet wird, wird sie in die Außenumgebung abgegeben und verursacht thermische Verschmutzung. Die Autoren empfehlen sechs wesentliche Maßnahmen, die auch für regulatorische Standards von Bedeutung sind:

1. Abwärmebetriebene Gleichstromsysteme für die Wärmeversorgung, Fernwärme (Fernwärmenetze, Kälte- und Stromerzeugung und andere Systeme haben sich als machbar und anwendbar erwiesen).
2. Die effizientesten Möglichkeiten der Abwärmenutzung in Rechenzentren umfassen die Heizungsversorgung in nahe gelegenen Gebäuden direkt oder nach Vorwärmung und zur Ergänzung der Warmwassernetze.
3. Das Heizungssystem (einschließlich der Ergänzung des Warmwassernetzes) kann durch den Einsatz von Wärmepumpen für die Anhebung der Temperatur und des Wärmeniveaus sowie durch den Einsatz von Energiespeichersystemen für eine bessere Energieflexibilität sorgen (Ausgleich von Ungleichgewichten zwischen Wärmeangebot und -nachfrage).
4. Abwärme für andere Zwecke (z.B. Kühlung und Stromerzeugung) ist ebenfalls machbar, erfordert aber eine Umwandlung der Energieform (z. B. Umwandlung zwischen thermischer Energie, mechanischer Energie und elektrischer Energie), was zu Energieverlusten und zusätzlichem Energieaufwand führt.
5. Abwärme, die in der Industrie (insbesondere bei der Entsalzung) und in der Landwirtschaft genutzt wird, sollte an die lokalen Standortbedingungen der Rechenzentren angepasst werden.
6. Die Methoden zur Systemoptimierung auf der Grundlage des bestehenden Abwärme-Rückgewinnungssystems sollten im Mittelpunkt zukünftiger

tiger Forschung stehen, und die Kombination mit anderen energieeffizienten Systemen (z.B. kombinierte Kühl-, Heiz- und Stromsystem, Niedertemperatur-Energiegemeinschaft) sollte auch in Zukunft in Betracht gezogen werden.

Die Informatik hat die Möglichkeit, durch ihre technischen Beiträge eine Vorreiterrolle bei der Nachhaltigkeit zu übernehmen: Governance, Verantwortung, Datenschätzung, Energie und verkörperte Effekte („embodied impacts“), Neue Kooperationen, Bildung und Forschung. Diese Interaktion auf gesellschaftlicher Ebene wird mehr Transparenz über die Umweltauswirkungen erfordern. Obwohl es bereits einige Instrumente zur Schätzung des CO₂-Fußabdrucks gibt, werden noch speziellere Instrumente benötigt, um den Fußabdruck von Hardware und Einrichtungen sowie eine systematischere Überwachung der Auswirkungen zu ermöglichen und diese zu dokumentieren. Die Messung ist ein erster Schritt, gefolgt von einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen. Berechnungsmethoden müssen angepasst werden, um den CO₂-Fußabdruck in die Kosten-Nutzen-Analyse einzubeziehen, und auch die Umweltauswirkungen nachgelagerter Anwendungen zu berücksichtigen. (Lannelongue et al 2023).

Einen potenziell wesentlichen Einfluss auf den THG-Ausstoß hat auch die Besteuerung von CO₂. Der Studie von Bosse et al. (2020) folgend kann eine CO₂-Steuer die Kosten für Rechenzentren stark erhöhen, je nach verwendeter Energiequelle. Während eine Kohlenstoffsteuer wahrscheinlich Anschaffungspreise für Server erhöhen wird, ist der Anstieg des Energiepreises proportional zu den Emissionen pro kWh des Strommixes. Daher wird eine relevante Kohlenstoffsteuer (über 62 € in Preisen von 2020, siehe Bosse et. al. (2020)) die Rechenzentren zur Nutzung emissionsarmer Stromquellen veranlassen. Außerdem haben die Experimente gezeigt, dass längere Abschreibungszeiträume zu bevorzugen sind, um Emissionen einzusparen. Längere Abschreibungszeiträume würden jedoch auch zu einer höheren Unsicherheit über die künftige Arbeitslast führen, was zu mehr ungenutzter Rechenkapazität und steigenden Emissionen führen kann.

Wesentlich für die Klima- und Umweltauswirkungen von Rechenzentren ist laut Turek and Radgen (2021) nicht zuletzt auch die Wahl des Standortes. Der Einfluss des Standorts auf Energiebedarf von Rechenzentren wurde in der Vergangenheit bereits mehrfach auf makroklimatischer Ebene untersucht. Um

Energienutzung zu optimieren, wäre es jedoch den Autoren zufolge meist notwendig, dass Standorte von Rechenzentren internationale Grenzen überschreiten. Der Einfluss von Standortveränderungen innerhalb der Landesgrenzen und in einem kleinen Radius von < 100 km wurde bislang noch nicht quantifiziert. Um dies zu untersuchen, wurde in der Studie ein dynamisches mathematisches Modell der temperaturabhängigen Komponenten eines Referenzrechenzentrums erstellt und der Einfluss auf den Energieverbrauch in einem Gebiet von 240×215 km in Deutschland untersucht. Es konnte so gezeigt werden, dass selbst kleine Änderungen des Standortes im Umkreis von 10 km zu einer jährlichen Energieeinsparung von durchschnittlich 9,12 Prozent (maximal 56,58 Prozent) führen können. Bei einer Standortfreiheit von 100 km innerhalb der Landesgrenzen liegen die Einsparungen bei durchschnittlich 37,35 Prozent (maximal 76,11 Prozent). Standortabhängige Optimierungen sind also auch auf lokaler und nationaler Ebene hinsichtlich ihres Einflusses auf den Energieverbrauch relevant, und die Berücksichtigung mesoklimatischer Aspekte sollte künftig ein elementarer Bestandteil der Standortauswahl für Rechenzentren sein. (Turek and Radgen (2021).

Pessimistische Prognosen im Überblick

Al Kez et al. (2022) zeichnen ein konkretes, gleichwohl pessimistisches Szenario, was Nachhaltigkeit von Digitalisierung und Rechenzentren betrifft, zumindest insofern die Politik nur unzureichend oder inadäquat entgegensteuern sollte.

„Die Ergebnisse zeigen, dass der jährliche globale Kohlenstoff-, Wasser- und Land-Fußabdruck, der aus der Speicherung dunkler Daten resultiert, 5,26 Mio. Tonnen, 41,65 Gigaliter bzw. 59,45 Quadratkilometer betragen könnte, wenn er nicht ordnungsgemäß gehandhabt wird.“

(Anm.: deutsche Übersetzung aus dem englischen Original durch die Autoren)

Ein wesentlicher politikrelevanter Faktor, der in diesem Papier angesprochen wird, sind verarbeitete Daten, die von Unternehmen „geparkt“ werden. Diese Daten verbrauchen Energie und Speichervolumen, bringen aber faktisch wenig Nutzen, sogenannte dunkle Daten („Dark Data“). Informationen dieser Art werden im Laufe der Zeit aggregiert, da sie von den Unternehmen aus rechtlichen Gründen häufig aufbewahrt werden. Hier besteht global gesetzlicher Reformbedarf, entsprechend auch in Deutschland. Daten liegen ansonsten in zuneh-

memdem Maße dauerhaft inaktiv in den Archiven der Speicherhardware. Unstrukturierte Daten werden auch aufgrund des Kundenverhaltens bei der Umwandlung von Text, Bildern oder Musik in ein digitales Format für die Computerverarbeitung, soziale Netzwerke, Suchmaschinenanfragen und Echtzeit-Streaming immer häufiger. Eine Überlastung von Speichern mit ökonomisch und gesellschaftlich nutzlosen Daten und Informationen hätten demnach einen bremsenden Einfluss auf Effizienzzuwachs im Sinne des Moore's law im Digi-talsektor. Herlin (2024) beschreibt in seiner Guidance Note für das Lawrence Berkeley Laboratory, wie sog. Zombie-Server technisch identifiziert werden können inklusive eines Aktionsplans.

Wang et al. (2022) problematisieren den Anspruch sogenannter „grüner“ Rechenzentren. Dieser wird im Allgemeinen auf der Grundlage einer Netto-CO₂-Emission von Null durch eine Bilanz abgebildet, bei der erneuerbare Elektrizität durch Installation vor Ort oder Abnahmevertrag als Minderungsmaßnahme gegen den Verbrauch von fossilem Strom aus dem Stromnetz auf Jahresbasis aufgerechnet und somit ausgeglichen wird. Wenn jedoch der stündlich erfasste dynamische Brennstoffmix bei Abnahmevertrag in die Bewertung einfließt, führt der jährliche Netto-Nullenergie-Ansatz nicht zu einem wirklich klimaneutralen Rechenzentrum. In der Untersuchung werden zwei Ansätze verglichen, die auf Netto-Null-Energie und Netto-Null-CO₂-Emissionen basieren, und im Hinblick auf das Ziel einer Netto-Null-CO₂-Emission untersucht. Ein Rechenzentrum in Singapur mit typischen Lastprofilen wird als Fallstudie verwendet. Es werden verschiedene Szenarien unter Berücksichtigung des Klimawandels und der Energieprognosen für die Zukunft definiert, um die Auswirkungen des dynamischen Energiemixes auf die Netto-CO₂-Emissionen des Rechenzentrums zu untersuchen. Es zeigt sich, dass der Netto-Null-Energie-Ansatz nach wie vor zu einer erheblichen Menge an jährlichen CO₂-Emissionen führt, da Verbrauchsspitzen im Tagesablauf eben nicht automatisch ausgeglichen werden. Im Vergleich dazu kann den Autoren zufolge der Netto-CO₂-Emissionsansatz eine echte Netto-Null-CO₂-Emission gewährleisten, Dieser Ansatz erfordert jedoch auf Seite des Betreibers zum Ausgleich eine Erhöhung der Photovoltaik-Kapazität um 20 Prozent und 60 Prozent auf der Grundlage einer Bewertung für das Jahr 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Netto-Null-Energie-Ansatz. Aber selbst der Netto-Null-CO₂-Ansatz ist den Autoren zu Folge nicht wirklich präzise CO₂-neutral. Die CO₂-Emissionen von erneuerbaren Energien wie Photovoltaik und Biomasse werden als Null-Emissionen angenommen. Während ihrer Lebensdauer entstehen jedoch in Wirklichkeit Emissionen, v.a.

im Ersatz abgeschriebener Anlagen durch den Energieverbrauch durch die Produktion neuer Anlagen sowie durch Energieaufwand beim Transport.²⁷

Darüber hinaus gibt es Studien, die auf die räumliche Heterogenität des Energieangebots hinweisen. Mit anderen Worten, es gibt Länder, die ihre Rechenzentren allein mit dem verfügbaren Energiemix klima- und umweltfreundlicher betreiben können als andere Länder. Deutschland ist hier nicht unbedingt im Vorteil. Die vergleichende Studie von Ferreira et al. (2019) zu China, USA, Deutschland und Brasilien kommt mit einem Artificial-Neural-Network-Modell, bezogen auf große „Tier-III“-Rechenzentren als Vergleichsmaßstab, zu überraschenden Ergebnissen: In Brasilien stammen fast 70 Prozent der elektrischen Energie aus sauberer Stromerzeugung, während in China 65 Prozent des erzeugten Stroms aus Kohle stammt. Darüber hinaus ist der Wert pro kWh in den USA viel niedriger als in den anderen untersuchten Ländern. Unter integrierter Berücksichtigung von Kosten und CO₂-Emissionen der elektrischen Infrastruktur in Rechenzentren und Beachtung der verschiedenen Energiequellen der einzelnen Länder wies China mit 41.445 Tonnen pro Jahr im Jahr 2014 die höchsten CO₂-Emissionen auf, gefolgt von den USA und Deutschland mit 37.177 bzw. 35.883 Tonnen. Brasilien erwies sich mit 8.459 Tonnen als das sauberste Land, was die Auswirkungen der Rechenzentren betrifft.

Die USA betreffend bestätigt die Untersuchung von Siddik et al. (2021): „Unser Bottom-up-Ansatz zeigt, dass ein Fünftel des direkten Wasser-Fußabdrucks von Rechenzentrumsservern aus mäßig bis stark wasserbelasteten Wassereinzugsgebieten stammt, während fast die Hälfte der Server ganz oder teilweise von Kraftwerken in wasserbelasteten Regionen mit Strom versorgt wird. Etwa 0,5 Prozent der gesamten US-Treibhausgasemissionen entfallen auf Rechenzentren.

(Anm.: deutsche Übersetzung aus dem englischen Original durch die Autoren).

²⁷ Strenggenommen wäre bei einer solch hochpräzisen Bilanzierung dann aber auch noch die nicht beabsichtigte aber potenziell mögliche Verbrennung von Partikeln, wie Staub oder Insekten auf PV-Paneeelen zu quantifizieren. Wenn sich Staub, Insekten oder andere organische Materialien auf den PV-Modulen ansammeln und durch extreme Hitze oder Lichtintensität verbrannt werden, können sie nämlich geringe Mengen an CO₂ freisetzen. Dies ist freilich ein nicht signifikantes Ereignis im Vergleich zu den Gesamt-CO₂-Emissionen, die durch andere anthropogene Aktivitäten verursacht werden. Die Praktikabilität sowie der Nutzen eines präzisen Ansatzes mit Berücksichtigung aller potenziellen Emissionen sind u.E. daher anzuzweifeln.

Es wird zu sehen sein, welche lokalen Voraussetzungen für die Wasser- und Energieversorgung an den Standorten des Rheinischen Reviers vorliegen und welche spezifischen Effizienzpotenziale sich noch ausschöpfen lassen.

Zusammenfassend lassen sich aus allen drei o.g. Kategorien von wissenschaftlichen Studien Kriterien ableiten, die für die regionalen Wirtschafts- und Umweltpolitik bedeutsam sind und die es sich lohnt, von dem Hintergrund des digitalen Strukturwandels, engmaschig zu beobachten. Rebound-Effekte lassen sich aus Umweltdaten (z.B. UNFCCC, EEA, OECD o.ä.) in Verbindung mit der verpflichtenden Berichterstattung lt. EnEfG erkennen, wenn trotz erhöhter Effizienz das Maß an Emissionen einen sinnvollen Pfad der Nachhaltigkeit verlassen sollte. Wirtschaftliche Verfahren zur optimierten Nutzung der Abwärme, ein zweckmäßiger Einsatz der Software und Hardware, eine effektive CO₂-Besteuerung und eine intelligente Standortfestlegung können zu bedeutend mehr Nachhaltigkeit im Betrieb und letzten Endes zu weniger Rebound-Effekten führen. Gesetzliche Vereinfachungen zur Speicherung ungenutzter Daten (Zombie Server) würden ebenfalls zu Entlastungen im Energieverbrauch und entsprechenden Emissionen führen. Zu vermeiden ist schließlich aber auch eine rein ökologisch geprägte Ideologisierung der Debatte, sowohl global als auch lokal.

5.2 Ergebnisse der Interviews: Perspektiven der Befragten zum Ressourcenverbrauch in der Wirkebene Nachhaltigkeit, Klima und Ressourcenbedarf

Rechenzentren haben Effekte in allen Bereichen der ökologischen Nachhaltigkeit

In den Interviews wurden insbesondere der Strom- und Wasserverbrauch sowie die Abwärmenutzung thematisiert. In den Gesprächen wird mehrmals angezweifelt, dass die Twin Transformation im lokalen Kontext tatsächlich stattfindet. Viele Interviewpartner:innen sehen aufgrund des potenziell hohen Ressourcenverbrauchs von Hyperscale-Rechenzentren keinen Anlass, die geplante Ansiedlung der Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier als nachhaltig zu bezeichnen. Die Interviewten ordnen diese Aussagen jedoch ein und argumentieren mehrheitlich, dass der Ausstieg aus der Kohleverstromung auf der Habenseite gegengerechnet werden müsse. Christian Trapp (dalli group) sagt, dass in anderen Industrien Rauch- oder Giftstoffemissionen stattfinden, welche in der Digitalwirtschaft nicht anfallen. Dass andere natürliche Ressourcen benötigt werden, sei „nicht nachhaltig, aber es ist nicht unnormale, wenn man was machen möchte, also wenn Industrie läuft.“

Konkrete baulichen Maßnahmen halten die Befragten für hochrelevant

Es zeige sich, so der Konsens der Gesprächspartner, dass Microsoft bestrebt sei, die geplanten Hyperscale-Rechenzentren nachhaltig zu gestalten. Christian Eßer (Stadt Grevenbroich) sagt: „Auch wenn wir den Beweis noch liefern müssen, zeigen die laufenden Gespräche zur Standortentwicklung bereits, dass Nachhaltigkeit ein wesentlicher Bestandteil der Entwicklung von Hyperscale-Rechenzentren ist und durch bestehende Vorgaben unbedingt berücksichtigt werden muss.“

Wie gezeigt, ist eine abschließende umfassende Bewertung der Ressourcennutzung der geplanten Hyperscale-Rechenzentren noch nicht möglich. Auch die Interviewten wiesen auf diesen Umstand hin und nannten verbleibende Herausforderungen:

Vertreter:innen der Stadt Grevenbroich betonen die Bedeutung der Weiterentwicklung innovativer Kühltechnologien für Rechenzentrumbetreiber. Die zu-

nehmende Bedeutung der Energieeffizienz und die neue EU-Rahmenverordnung zur Abwärmenutzung mache weitere Fortschritte im Bereich Kühlung und Abwärme erforderlich.

Auch die zukünftige Nachnutzung bzw. der Rückbau von Hyperscale-Rechenzentren, falls diese in einigen Jahrzehnten nicht mehr betrieben werden, ist bereits ein Thema, das die Interviewpartner:innen beschäftigt. Christian Trapp (dalli group) sagt dazu: „Wie lange kann so ein Rechenzentrum oder soll ein Rechenzentrum betrieben werden? Bis es vielleicht große Technologiewechsel gibt, bis es neue Bedingungen gibt, die sich vielleicht aus geopolitischen Überlegungen ergeben, nicht? Wie lange kann so etwas bleiben?“ Aber das sei schwer zu beurteilen. Denn auch hier gebe es noch kein entsprechendes Regelwerk zum Rückbau und weiteren offenen Fragen. Da die entstehenden Gebäude speziell auf die Nutzung als Hyperscale-Rechenzentrum zugeschnitten sind, sei die konkrete Nachnutzung eine offene Forschungsfrage.

Herausforderungen wie der hohe Wasser- und Flächenverbrauch müssten ebenfalls bereits bei der Planung berücksichtigt werden. Dies erfordere den Einsatz von Kreislaufsystemen und eine durchdachte Standortwahl. So sei die konkrete Standortwahl für neue Ansiedlungen von Hyperscale-Rechenzentren auch für Nachhaltigkeitszwecke relevant, sagt Dorothea Rendel (Stadt Grevenbroich). Sie ergänzt: „Dazu gehört dann die Nähe zu den großen Stromleitungen und die Nutzung vorhandener Stromanschlüsse. Ein weiterer Aspekt ist die Wiedernutzung von ehemals gewerblich bzw. durch Energieversorger genutzte Flächen zur Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren, so dass der Verbrauch von Ackerflächen zur Ansiedlung auf Ausnahmeprojekte beschränkt ist.“

Ein hoher Wasserbedarf zur Kühlung wird antizipiert

Mit Blick auf den Wasserbedarf sagt Christian Dieckhoff (BCIX): „Ich empfehle so ein Rechenzentrum nicht in einer Region zu bauen, wo es Probleme mit der Wasserversorgung gibt. [...] Durch den Zwang, immer weniger Energie aufwenden zu müssen, auch für die Kühlung, arbeitet man natürlich viel mit Kondensation und Verdunstungskälte und dementsprechend kann der Wasserverbrauch von so einem Rechenzentrum spannende Größen annehmen.“

Kilian Wagner (Bitkom) ergänzt: „Dazu kommt, dass sich auch die Temperaturebenen in den Rechenzentren vielleicht in der Zukunft erhöhen werden. Das

ist auch ein bisschen ein Thema, was noch nicht ganz klar ist, was noch diskutiert wird in der Branche. Aber was auf jeden Fall gerade so ist: Auch KI-Rechenzentren werden in Zukunft vermutlich mehr flüssiggekühlt statt luftgekühlt. [...] Der Grund dafür ist die viel höhere Wärmedichte. Daher nutzt man diese Kühlung, um das überhaupt abtransportieren zu können. Hier können theoretisch zumindest höhere Wärmeniveaus entstehen; da die Wärme effektiver aufgenommen und abgeführt werden kann.“ Er argumentiert weiter, dass die zusätzliche Abwärme als positiver Folgeeffekt einer Flüssigkühlung nutzbar sein könnte.

Der zukünftige Wasserbedarf sei schwer abzuschätzen, da dies stark von der eingesetzten Technologie abhängen werde. Durch eine Zunahme der Verdunstungskühlung würde tatsächlich mehr Wasser verbraucht werden. Die direkte Chip-Flüssigkeitskühlung nutze jedoch geschlossene Kreisläufe und benötige daher kaum Wasser. Durch die möglichen höheren Temperaturniveaus wäre dann auch weniger zusätzliche Kühlung nötig. Regulatorische Vorgaben wie das Energieeffizienzgesetz könnten jedoch die Verdunstungskühlung befördern, da diese eine Erhöhung der Energieeffizienz ermöglicht. Das Thema bleibt komplex und hängt von Faktoren wie Regulierung, technologischen Entwicklungen und Wachstumsdynamiken ab.

Die Kommunen übernehmen eine zentrale Rolle bei der Umsetzung und Durchsetzung nachhaltiger Standards für Hyperscale-Rechenzentren

Die Standort-Kommunen haben sowohl ein großes Interesse daran, zusammen mit Microsoft nachhaltige Praktiken, wie etwa der intelligenten Nutzung von Abwärme und der Reduktion des Energieverbrauchs, zu thematisieren und zu implementieren, und gleichzeitig den Fortschritt des Projekts sicherzustellen, sagt Dr. Ruth Laengner (Kreisstadt Bergheim).

Christian Dieckhoff (BCIX) betont, dass bestimmte Entscheidungen durchaus zeitkritisch sind: „Im Nachhinein wird niemand mehr das Kühlsystem eines solchen Rechenzentrums anfassen, [...] weil das ist dann in Betrieb und ist dann kritisch und da wird niemand Lust haben, das anzugehen.“

Ausbau Erneuerbarer Energien im Rheinischen Revier wird gefordert

Die Interviewten liefern im Lauf der Gespräche eine Vielzahl von Gedanken zum Stand der Erneuerbaren Energien in der Region. Der Ausbau Erneuerbarer Energien im Rahmen der deutschen Energiewende steigert die absolute Menge an Strom, welcher aus regenerativen Energiequellen zur Verfügung

steht. Um Nachhaltigkeitsstandards zu erreichen, speisen Rechenzentren aus dem limitierten (grünen) Energiepool.

Die Relevanz der Energiespeicherung für Hyperscale-Rechenzentren ist dadurch gegeben, dass, nach Aussage von Kilian Wagner, „80 bis 90 Prozent der CO₂-Emissionen, die durch ein Rechenzentrum in Deutschland entstehen, durch die Energieversorgung entstehen. Das heißt, das ist natürlich ein sehr, sehr großer Hebel, wenn wir unsere Energieversorgung weiter dekarbonisieren.“ Die zusätzliche Ansiedlung von erneuerbaren Energien sei laut Kilian Wagner ein wichtiger Hebel, um die Transformation im Rheinischen Revier erfolgreich abzuschließen.

Strombezug aus Power Purchase Agreements erwartet

Power Purchase Agreements (PPAs), zu Deutsch Stromkaufverträge, sind Stromlieferverträge zwischen Energiebereitstellern und privaten Abnehmern. Kilian Wagner (Bitkom) sagt, dass viele Rechenzentrumsbetreiber auf erneuerbare Energien durch PPAs setzen. Dies könne, so Kilian Wagner, beispielsweise durch eine Investition in lokale Windparks geschehen. Für Rechenzentrumsbetreiber bieten PPAs garantierten Zugang zu grünem Strom, zudem führen die selbst bestimmten Strompreise zu hoher Planungssicherheit für beide Seiten. Insbesondere falls sich weitere Rechenzentren ansiedeln, entstehe so ein zusätzliches Investitionspotenzial. Weitere Interviewpartner:innen wie Handelskammern halten dies für einen Weg, die Abhängigkeit erneuerbarer Energien von Subventionen zu verringern.

Digitalisierung in Folge der Ansiedlung kann als Treiber für Nachhaltigkeit wirken

Die Gespräche zeigen, dass hier noch erhebliche Herausforderungen bestehen. Einerseits steigt der Energiebedarf für Datenverarbeitung und den Betrieb eines Rechenzentrums stark an, was im Widerspruch zu den Zielen der Energiewende und Nachhaltigkeit stehen kann. Andererseits biete die Digitalisierung zuvor genannte Chancen, Prozesse effizienter zu gestalten und Ressourcen zu sparen. Um die Nachhaltigkeit zu erhöhen, müssen Hyperscale-Rechenzentren möglichst energieeffizient und mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Zudem könne die Abwärme genutzt werden, um umliegende Gebäude zu beheizen. Dr. Eva-Maria Ritter von NetCologne macht auf ein eigenes, kürzlich eröffnetes Rechenzentrum aufmerksam und betont, steigender

Stromverbrauch und Datennutzung müsse nicht zwingend zu mehr CO₂-Emissionen führen.

Effiziente Abwärme-Planung wird essenziell für Nachhaltigkeit sein

Es besteht ein Konsens, dass die intelligente Nutzung der Abwärme der geplanten Hyperscale-Rechenzentren entscheidend für die Erreichung der Nachhaltigkeitsziele in der Region ist. Andreas Weiss (eco e.V.) fasst zusammen: „Aber was wir zunächst brauchen, ist die Energie, um die Hyperscale-Rechenzentren zu betreiben. Dazu ergänzend benötigen wir Konzepte, die innovativ, wertschöpfend und nachhaltig für die Zukunft sind. [...] Wir müssen also für den Energieeinsatz auch eine Abwärmestrategie haben.“ Die Kommunen sind für das Thema Abwärmenutzung sensibilisiert, da sie in der Verantwortung der Erstellung der Wärmeplanung sind und sich in einem engen Austausch mit (über)regionalen Energieversorgern für Konzepte von Nah- und Fernwärme befinden. Es bestehen noch zahlreiche Fragen und Herausforderungen auf technischer Ebene, die zu lösen sind, so spielt beispielsweise die konkrete zu erwartende Temperatur der Abwärme aus den Hyperscale-Rechenzentren eine wichtige Rolle. Sie ergibt sich aus der noch unbekannten Ausgestaltung der Hyperscale-Rechenzentren, beispielsweise führen High-Performance-Anwendungen wie KI-Anwendungen tendenziell zu erhöhten Abwärmemperaturen.

Die genaue Temperatur der Abwärme ist entscheidend, da sie die möglichen Einsatzbereiche bestimmt. Je niedriger die Temperatur ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass eine Erhöhung durch Einsatz von Wärmepumpen nötig wird. Ein zentrales Hemmnis für eine wirtschaftliche Nutzung liegt vor allem in den hohen Stromkosten für den Betrieb der Wärmepumpen. Schon heute kann eine Abwärmenutzung rentabel sein, wenn eine möglichst hohe Temperatur der Abwärme im Rechenzentrum erhalten und eine geringe Temperatur auf Abnehmerseite genutzt werden kann (Borderstep 2022). Beispiele für geeignete Abnehmer sind Neubaugebiete und Gewächshäuser. Auf die Frage nach der konkreten Umsetzung zeigt sich jedoch, dass die Betreiber noch an technischen Lösungen arbeiten. Besonders die effiziente Nutzung der Abwärme und die Integration klimaneutraler Technologien stellen dabei aktuell noch Herausforderungen dar, für die noch keine fertigen Konzepte vorliegen. Kristiane von dem Bussche (Stadt Grevenbroich, GFWS) stellt fest, dass die technische Umsetzung der EU-Rahmenverordnung zur Abwärmenutzung für Rechenzentrumsbetreiber noch herausfordernd sei. Angesichts der von den Betreibern

selbst gesteckten Ziele zu Klimaneutralität und der schnellen Entwicklung in der Digitalwirtschaft wurden bereits weiter fortgeschrittene Lösungen erwartet.

Um eine effiziente Verwertung der Abwärme zu planen ist es notwendig, die technische Ausgestaltung der jeweiligen Hyperscale-Rechenzentren gut zu kennen. Es fehlen standardisierte Wertschöpfungsprozesse und definierte Übergabepunkte entlang der Lieferkette. Oft kann die anfallende Wärme nicht direkt weiterverwendet werden, sondern muss umgewandelt, gespeichert oder in einer anderen Form verfügbar gemacht werden. Dabei sind die Rollen der beteiligten Akteur:innen unklar: Wer ist für welche Umwandlungsschritte verantwortlich? Wem gehört die Abwärme in welchem Zustand, und wer trägt das Risiko? Besonders bei der rechtlichen und wirtschaftlichen Gestaltung der Abwärmenutzung gibt es erheblichen Klärungsbedarf. Zu klären sind etwa die Eigentumsverhältnisse der Abwärme, die Verantwortlichkeiten für Risiken sowie die Rahmenbedingungen für die Integration in kommunale Wärmenetze.

Es wird erwartet, dass die Menge der anfallenden Abwärme den Bedarf der Kommunen übersteigt, was dazu führen könnte, dass nicht die gesamte Wärme effizient genutzt werden kann. Damit sich der Bau und Betrieb von Wärmenetzen wirtschaftlich lohnt, ist eine konstante Abnahmeleistung erforderlich. Das bedeutet, dass ausreichend Abnehmer vorhanden sein müssen, welche regelmäßig Wärme beziehen. Städte und Kommunen betonen einen erheblichen Nachholbedarf beim Ausbau von Wärmenetzen, um die Abwärme effizient zu nutzen (siehe auch Kapitel Infrastruktur).

Nach Ansicht der Akteur:innen werden Microsofts wirtschaftliches Eigeninteresse an einer effizienten Nutzung der Wärmeenergie eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung der Baupläne spielen. Die Kommunen, unter anderen Torsten Heerz (Rhein-Erft-Kreis) haben viele potenzielle Abnehmer identifiziert. Bei der effizienten Abwärmenutzung kommen politische und wirtschaftliche Interessen zusammen. Es gibt viele Ideen für die möglichen Abnehmer von Abwärme – wie z.B. in der Landwirtschaft zur Beheizung von Gewächshäusern oder beim Spargelanbau. Zukünftige Gewerbegebiete sollen klimaneutral geplant werden, was die Nutzung von Abwärme als eine zentrale Komponente der Energieversorgung einschließt. Auch einzelne Industriebetriebe könnten die Abwärme effizient als Prozesswärme nutzen, was ihre Energieeffizienz steigern würde. In bestehenden Wohngebieten wird das Potenzial der Abwärmenutzung als begrenzt angesehen, da der nachträgliche Anschluss einzelner Wohnhäuser technisch aufwändig und wirtschaftlich unrentabel ist. In neuen

Wohngebieten könnte die Abwärmenutzung jedoch eine sinnvolle Option darstellen, insbesondere durch die Integration in die Planung von zentralen Wärmeversorgungssystemen. Auch die Einspeisung in Fernwärmenetze wird erwogen, um überschüssige Wärme in Ballungszentren wie z.B. Köln zu leiten.

Kilian Wagner (Bitkom) kritisiert das Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland (Energieeffizienzgesetz – EnEfG), welches neben Informationspflichten für Rechenzentrenbetreiber auch Anforderungen an die Energie- und Abwärmeeffizienz der Hyperscale-Rechenzentren stellte. Der PUE-Wert (der zum Ende des Kapitels als einer der zentralen Indikatoren für Erfolge in der Wirkebene Klima erläutert wird), der dort als Mindeststandard festgelegt wurde, gelte in der Rechenzentren-Branche jedoch technisch als extrem anspruchsvoller Wert und hängt von vielen Faktoren wie der Auslastung und Verfügbarkeit ab. Die verpflichtende Nutzung von festgelegten Mindestanteilen der Abwärme sei ebenfalls problematisch, da, so Kilian Wagner, „die Abwärmenutzung von sehr vielen Faktoren abhängt. Ein großer Teil dieser Faktoren liegt aber nicht in der Hand der Betreiber, diese würden die Abwärme in der Regel gerne abgeben. Aber wenn es einfach nicht wirtschaftlich ist, so dass es keine Abnehmer gibt bzw. die Wärmenetzinfrastruktur nicht ausreichend ausgebaut ist, ist dies nicht die Schuld der Rechenzentrumsbetreiber. Die ohnehin begrenzten Ansiedlungsmöglichkeiten werden zudem stark eingeschränkt. Das ist ein großer Dorn im Auge der Branche.“ Die Aussage von Kilian Wagner steht im Kontrast zu den Aussagen anderer Akteur:innen, welche die im Energieeffizienzgesetz erfolgte rechtliche Ausgestaltung der Verantwortlichkeiten begrüßen.

Tempo der Energiewende gefährdet Planungssicherheit

Die regionale Dekarbonisierungsstrategien betreffen die Ansiedlung der Hyperscale-Rechenzentren als energieintensive Industriegebäude. Dr. Tobias Boland (Schoellershammer GmbH) betont, dass es entscheidend sei, grünen Strom zu bekommen: „Um die Transformation hin zu einem CO₂-neutralen Unternehmen hinzubekommen, hat das Thema grüner Strom eine ganz, ganz hohe Bedeutung.“ Jedoch sei es vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit nur möglich eine Investition beispielsweise für eine Wärmepumpe oder Power to Heat Anlage zu rechtfertigen, wenn es ausreichend grünen Strom gebe und wenn es ausreichend Netzanschluss-Kapazitäten gebe, und das sehe er derzeit nicht als gegeben. Da auch die Dekarbonisierungsbemühungen von Microsoft von der Verfügbarkeit von grünem Strom abzuhängen scheinen, ist die

Planungssicherheit auch für den Bau von Hyperscale-Rechenzentren zu beachten. Kilian Wagner (Bitkom) stellt dar, dass „wir in Deutschland immer noch einen relevanten CO₂-Anteil im Strommix haben.“ Höhere Anteile an erneuerbaren Energien umzusetzen, führe zu nachhaltigeren Rechenzentren und seien ein Gewinn für Umwelt und die Unternehmen, die sich selbst Nachhaltigkeitsziele gesetzt haben.

Bürokratie hemmt Transformationswillen bei Unternehmen

Dr. Tobias Boland (Schoellershammer GmbH) beklagt bürokratische Aufwände: Die Anmeldung einer Photovoltaik-Anlage auf dem Dach des Unternehmens sei durch die unterschiedlichen einzuhaltenden Vorgaben und Genehmigungsverfahren extrem aufwendig. Dr. Tobias Boland berichtet: „Wir haben neulich von einem international tätigen Konzern gehört, der gesagt hat: Das geben wir uns hier nicht mehr.“

Zusammenfassend sprechen Nicolai Dwinger (IHK Mittlerer Niederrhein) und Dirk Brügge (Rhein-Kreis Neuss) je von der Gefahr der Deindustrialisierung, falls in den kommenden Jahren nicht genug Aufmerksamkeit auf der Wirtschaftlichkeit der Energiewende liege.

Zwischenfazit

Die Literatur und die Interviews zeigen teils übereinstimmende, teils divergierende Ergebnisse zur ökologischen Nachhaltigkeit von Hyperscale-Rechenzentren. Die Literatur hebt das Potenzial von Rechenzentren hervor, den digitalen und nachhaltigen Wandel (Twin Transformation) zu fördern, betont jedoch die Herausforderungen, wie den hohen Energie- und Wasserverbrauch sowie die Gefahr von Rebound-Effekten, die zu einem Anstieg des Gesamtenergieverbrauchs führen könnten. Die Interviewten teilen die Bedenken über die Nachhaltigkeit und weisen darauf hin, dass die geplanten Hyperscale-Rechenzentren erhebliche Mengen an Energie und Wasser beanspruchen. Sie zeigen Skepsis, ob die avisierte Ansiedlung langfristig positive Nachhaltigkeits-effekte für die Region bringt, und bezweifeln die tatsächliche Nutzung der Abwärme. Beide Perspektiven stimmen also hinsichtlich der Ressourcenkritik überein, wobei die Interviewten eine noch größere Vorsicht bei der Umsetzung betonen.

5.3 Erfolgsindikatoren in Wirkebene Nachhaltigkeit, Klima und Ressourcenbedarf

Die Nachhaltigkeitsbilanz der geplanten Hyperscale-Rechenzentren ist aus drei Gründen relevant: 1) Entscheidungen zu baulich-technischen Lösungen in der Errichtungsphase orientieren sich nicht nur an Aspekten der Nachhaltigkeit, sondern auch an wirtschaftlichen Kriterien. Ressourceneffiziente Lösungen sind betriebswirtschaftlich oft vorteilhaft und werden daher auch freiwillig von Unternehmen umgesetzt. Jedoch kann dies nicht als selbstverständlich vorausgesetzt werden. Die Überlegungen, die diesen Entscheidungen zugrunde liegen, sind meistens nicht öffentlich zugänglich und daher für ein Monitoring nicht nutzbar. 2) Gesetzliche Vorgaben, insbesondere das EnEFG, setzen verbindliche Zielwerte. Diese sind häufig mit Berichtspflichten verbunden und eignen sich für ein fortlaufendes Monitoring. 3) Viele Betreiber definieren eigene Nachhaltigkeitsziele und veröffentlichen Zielgrößen in Berichten. Diese Daten können ebenfalls für Monitoringzwecke genutzt werden.

Im Folgenden werden daher sowohl die gesetzlich vorgeschriebenen Kennzahlen und ihre Grenzwerte des EnEFG als auch dokumentierte Ziele der Unternehmen selbst (in diesem Falle Microsoft, als der z.Zt. einzige große Investor im Rheinischen Revier) präsentiert (s. Tab. 17). Die gesetzlich vorgeschriebenen Kennzahlen haben den Charakter von Strukturindikatoren (S), weitere durch das Unternehmen angestrebte Ziele stellen Detailindikatoren dar (D).

Indikator 12: Energieverbrauchseffektivität nach DIN EN 50600-4-2

Der PUE-Wert (Power Usage Effectiveness=Energieverbrauchseffektivität) ist eine Kennzahl, die verwendet wird, um die Energieeffizienz von Rechenzentren zu messen. Ihre Messung ist gesetzlich vorgeschrieben (§11, EnEFG). Der errechnete Wert gibt das Verhältnis zwischen der Gesamtenergie, die ein Rechenzentrum verbraucht, und der Energie, die ausschließlich für die IT-Ausrüstung (Server, Speicher, Netzwerkgeräte) verwendet wird, an. Ein PUE-Wert von 1,0 würde bedeuten, dass die gesamte Energie, die verbraucht wird, nur von der IT-Ausrüstung verwendet wird, was in der Praxis jedoch nicht möglich ist. Typische PUE-Werte für moderne Rechenzentren liegen zwischen 1,1 und 2,0, wobei ein niedrigerer Wert auf eine höhere Energieeffizienz hinweist. Der Zweck des PUE-Wertes besteht darin, Rechenzentren dabei zu unterstützen, ihre Energieeffizienz zu bewerten und zu verbessern. Durch die Überwachung

und Analyse des PUE können Betreiber von Rechenzentren Maßnahmen ergreifen, um den Energieverbrauch zu optimieren, beispielsweise durch den Einsatz effizienterer Kühlsysteme, besserer Infrastruktur oder durch das Design von energieeffizienten Räumen. Ein niedriger PUE-Wert kann auch dazu beitragen, die Betriebskosten zu senken und die Umweltbelastung zu verringern²⁸. Der PUE-Wert muss bei Rechenzentren, die in Deutschland vor dem 1. Juli 2026 den Betrieb aufgenommen haben, ab dem 1. Juli 2027 einen PUE-Wert von kleiner oder gleich ($\leq$) 1,5 und ab dem 1. Juli 2030 schließlich einen PUE-Wert von 1,3 im Jahresdurchschnitt dauerhaft unterschreiten. Dieser Zielwert gilt bereits seit 2019 für die Erteilung eines „Blauen Engels“ an Rechenzentren. Ab dem 1. Juli 2026 in Betrieb genommene Rechenzentren müssen spätestens zwei Jahre nach ihrer Inbetriebnahme einen PUE-Wert von $\leq 1,2$ im Jahresdurchschnitt dauerhaft erreichen. (German Datacenter Association, *ibid.*). Die Kriterien des Blauen Engels werden sich demnach sukzessive zum allgemeinen Standard entwickeln. Daran werden sich auch die angekündigten Investitionen im Rheinischen Revier zu orientieren haben.

Für ein Monitoring der regionalen Wirtschaftspolitik im Rheinischen Revier wäre aus den PUE-Werten aller dort betriebenen Rechenzentren ein gewogener Mittelwert zu bilden.

²⁸ Siehe auch: Asthana et al. 2019 Review of Waste Heat Utilisation from Data Centres. In: Al-Habibeh et al. (eds.) The International Conference on Energy and Sustainable Futures (ICESF). Nottingham Trent University Publications

Tabelle 17: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte zum Energieverbrauch

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Energieverbrauchseffektivität (PUE):	Effizienzregister beim BAFA	S
Deutschland-Wert ca 1,6. ²⁹ Effektive große Rechenzentren: Wert liegt unter 1,2		
Aktueller Wert für das Rheinische Revier		
Summe aus den PUE-Werten aller lokaler RZ jew. multipliziert mit ihrer Größengewichtung und dann dividiert durch die Anzahl der RZ.	Die Daten sollen nach Aussage der BAFA in Kürze öffentlich zugänglich sein.	S

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 13: Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtstromverbrauch nach DIN EN 50600-4-3

Diese Europäische Norm DIN EN 50600-4-3 (VDE 0801-600-4-3) ist aktuelle Grundlage der vorgesehenen Berichterstattung an das Effizienzregister und definiert den Anteil erneuerbarer Energien eines Rechenzentrums. Die Vorschrift ist enthalten in Anlage 3, Abs. 2b des EnEfG. Relevante Indikatoren hierzu sind bereits in Tabelle 3 in Kapitel 2 auf Seite 41 aufgeführt.

Indikator 14: Wirkungsgrad der Kühlung (CER) nach DIN EN 50600-4-7

Die Energieeffizienz des Kühlsystems muss mit dem Kennwert Cooling Efficiency Ratio (CER) entsprechend der Norm DIN EN 50600-4-7 bestimmt werden. Die Vorschrift ist enthalten in Anlage 3 Abs. 2h des EnEfG (s. Tab. 18). Weitere Informationen zum CER finden sich im Glossar.

²⁹

<https://www.datacenter-insider.de/kennzeichengutersensorenimrechenzentrum-a-f41d2926c620a35b260b448123ecd47e/>, Abruf vom 07.04.2025.

Tabelle 18: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte zur Kühlung

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Wirkungsgrad der Kühlung (CER)	Effizienzregister beim BAFA	S
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: k.A.		
Die Kennzahl CER beschreibt das Verhältnis der innerhalb eines Jahres (12 Monate) vom Kühlsystem (KS) des Rechenzentrums abgeführte Wärmemenge zur dazu eingesetzten elektrischen Energie des gesamten Kühlsystems. Für ein regionales Monitoring wäre ein entsprechend gewogener Mittelwert der CER-Wert aller lokalen RZ zu bilden.	Die Daten sollen nach Aussage der BAFA in Kürze öffentlich zugänglich sein.	S

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 15: Effizienzkennzahl der Wassernutzung (WUE) nach DIN EN 50600-9

Die Effizienzkennzahl der Wassernutzung (Water Usage Effectiveness, WUE) ist eine wichtige Kennzahl zur Bewertung der Effizienz des Wasserverbrauchs in Rechenzentren (s. Tab. 19). Sie wird verwendet, um zu messen, wie viel Wasser für die Kühlung eines Rechenzentrums im Verhältnis zur IT-Leistung (gemessen in kWh) verbraucht wird. Der Indikator hilft Rechenzentren, ihren Wasserverbrauch zu überwachen und zu optimieren, was besonders in wasserarmen Regionen wichtig ist. Ein niedriger WUE-Wert deutet darauf hin, dass das Rechenzentrum effizienter mit Wasser umgeht. WUE gibt überdies Aufschluss darüber, wie effektiv die Kühlsysteme eines Rechenzentrums arbeiten. Ein höherer Wasserverbrauch im Verhältnis zur IT-Energie kann auf ineffiziente Kühlsysteme oder -methoden hinweisen. Ein besseres Verständnis der Wasser-Nutzungseffizienz kann auch helfen, die Betriebskosten zu senken, da Wasser- und Energiekosten oft einen erheblichen Teil der Betriebskosten eines Rechenzentrums ausmachen. Insgesamt ist die WUE nicht nur ein nützliches Maß, um die ökologischen Auswirkungen von Rechenzentren zu reduzieren und die betriebliche Effizienz zu verbessern, die Vorschrift ist auch enthalten in Anlage 3 Abs. 2i des EnEfG.

Tabelle 19: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte zur Wassernutzung

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Effizienzkennzahl der Wassernutzung (WUE)	Effizienzregister beim BAFA	S
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: k.A.		
Water Usage Effectiveness bemisst die Effizienz der Wassernutzung als Quotient der Menge des Wasserverbrauchs und des Energieverbrauches der IT eines RZ innerhalb eines Jahres. Für ein regionales Monitoring wäre die Summe des Wasserverbrauchs aller lokalen RZ durch die Summe des IT-Energieverbrauches aller lokalen RZ zu dividieren.	Die Daten sollen nach Aussage der BAFA in Kürze öffentlich zugänglich sein.	S

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 16: Menge der mess- und schätzbaren Abwärme

Die Abwärmemenge, die im jeweils letzten Kalenderjahr an Luft, Gewässer oder den Boden abgegeben wurde, ist potenziell nutzbare Energie, die wiederverwendet werden kann, sowohl für die Energieversorgung des Rechenzentrums selbst als auch zur Wiedereinspeisung in ein Netz. Für Rechenzentren gelten künftig, dem EnEfG zufolge, verpflichtende Anteile bei der Abwärmenutzung: Bei einer Inbetriebnahme ab dem 1. Juli 2026 muss der Anteil bei mindestens 10 Prozent liegen, bei Inbetriebnahme ab dem 1. Juli 2027 bei mindestens 15 Prozent und bei Inbetriebnahme ab dem 1. Juli 2028 bei mindestens 20 Prozent. Den Stromverbrauch müssen die Betreiber in ihren Rechenzentren bilanziell durch Strom aus erneuerbaren Energien nachweisen. Ab dem 1. Januar 2024 zu 50 Prozent und ab dem 1. Januar 2027 zu 100 Prozent der Energie erneuerbaren Ursprungs sein. Wichtiger Indikatoren sind die mess-, bzw. schätzbare Abwärme und der Energiewiederverwendungsfaktor (Energy Reuse Factor, ERF) gemäß der Norm DIN EN 50600-4-7 (s. Glossar). Relevante Indikatoren hierzu sind bereits in Tabelle 16 in Kapitel 4 auf Seite 108 aufgeführt.

Indikator 17: Freiwillig vom Unternehmen angestrebte Kompensation (hier das Beispiel „Wasserauffüllung“)

Im Geschäftsjahr 2023 hat laut eigener Darstellung das Unternehmen Microsoft sein Projekt „Water Replenishment“ („Wasserauffüllprogramm“) erheblich erweitert (s. Tab. 20). Technisch beschrieben werden solche Projekte ebenfalls (Microsoft 2023). Bis Juli 2023 investierte das Unternehmen mehr als 16 Mio. Dollar in 49 Wiederauffüllungsprojekte auf der ganzen Welt, für mehr als 61 Mio. m³ potenziellen Reservevolumen (das entspricht dem Volumen von 24.000 Schwimmbecken olympischer Größe)³⁰ über die gesamte Lebensdauer der Projekte. Ziel ist ein Nettopositiveneffekt. (sog. „Net Positive Water Impact“ NPWI). In Deutschland werden lt. Microsoft (2023, p. 15) auch die Rechenzentrumsstandorte Frankfurt und Berlin mit Projekten des „Water Replenishment“ flankiert. Welche Investitionen im Rheinischen Revier aufgrund des erwarteten Wasserverbrauchs sinnvoll und optimal sein werden, kann erst begutachtet werden, wenn bekannt ist, mit welchem Verfahren die geplanten Hyperscale-Rechenzentren gekühlt werden und inwieweit ein kritisches Volumen an Wasser verbraucht wird. Kompensationsmaßnahmen für den Flächenverbrauch sind ohnehin gesetzlich vorgeschrieben. Es ist in diesem Zusammenhang auch darauf hinzuweisen, dass die neuen Rechenzentren für die Unterstützung von KI-Workloads konzipiert und optimiert sind. Sie verbrauchen kein Wasser zur Kühlung (Microsoft 2024c).

³⁰ Man darf sich Water Replenishment nicht als ein physisches Rückhaltebecken zur Speicherung von Wasser vorstellen. Vielmehr handelt es sich um unterschiedliche Komponenten des Schutzes von Wasser i.S. der 7 sog. „Volumetric Water Benefit Accounting (VWBA) categories“. Diese beinhalten Schutz und Wiederherstellung von Flächen, Verlässlichkeit der Wasserversorgung, Wasserqualität, Wiederherstellung aquatischer Lebensräume, Wasserverwaltung und katalytische Investitionen (z.B. Begleitforschung, Daten, Training, Modellierung etc.). Aus allen diesen Komponenten wird dann das erzielte Volumen an sauberem Wasser errechnet („restore the operational footprint“).

Tabelle 20: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte zur Wasserauffüllung

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Wasserauffüllung	Abfrage bei Betreibern der Rechenzentren	D
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: k.A.		
Ideell summiertes Reservevolumen in Mio m ³	Abfrage bei Betreibern der Rechenzentren	D

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Weitere freiwillige Ziele, die sich durch Indikatoren messen lassen können, umfassen bei Microsoft das „Zero Waste“ Ziel, Schutz von Ökosystemen im Umfeld der Rechenzentren (Biodiversität, öffentlicher Gesundheitsschutz) und die Unterstützung nachhaltigen Wirtschaftens bei den Kunden des Unternehmens (Microsoft 2024).

Aus den oben skizzierten Indikatoren könnte zur Einschätzung und zum regionalen Monitoring ein Kriterienkatalog für Rechenzentren im Rheinischen Revier abgeleitet werden, der in etwa folgende Punkte enthält:

- Energieeffizienz (EnEfG)
- Anteil der erneuerbaren Energien in der Energieversorgung von Rechenzentren (EnEfG)
- Wirkungsgrad der Kühlung der Rechenzentren (EnEfG)
- Wasserverbrauch (EnEfG)
- Abwärmeevolumen (EnEfG)
- Standorte („grün“ oder „braun“) und Fläche der Versiegelung gewichtet mit dem lokalen Raumwiderstand (Flächennutzungsplanung)
- Gesetzlich vorgeschriebene Kompensationsmaßnahmen (Größenordnung und geschätzte Effekte)
- Freiwillig vom Unternehmen angestrebte Kompensation, z.B. Water Replenishment, Zero Waste, Biodiversität u.ä.

Über die oben beschriebenen Indikatoren hinaus macht es daher Sinn, die Unternehmenspolitik des jeweiligen Investors mit zu berücksichtigen. Eigenwerbung mit ökologischen Zielstellungen ist häufig sehr effektiv, sie setzt aber auch gleichzeitig individuelle Standards, an denen sich ein Unternehmen dann messen lassen muss. Zwar sind dabei die jeweiligen räumlichen Besonderheiten und die Konfiguration einer technischen Investition zu berücksichtigen, dennoch sollten alle selbst gesteckten Ziele eines Unternehmens dann auch ernsthaft überprüft werden können. Die folgende Ausführung zum Thema „Wasserauffüllung“ bezieht sich auf das Unternehmen Microsoft, das konkrete Investitionsabsichten im Rheinischen Revier verfolgt. Es ist eine beispielhafte freiwillige Maßnahme, bei anderen Vorhaben / Unternehmen kann es andere entsprechende Maßnahmen geben, wie bspw. Zero Waste, Biodiversität u.ä.

Es gibt darüber hinaus zahlreiche (hunderte) weitere Kennzahlen für spezifisches Monitoring von Umweltauswirkungen von Rechenzentren. Zur Betrachtung der weiteren zahlreichen spezifischen Kennzahlen sei verwiesen auf Schödwel, Ereik und Zarnekow (2013), Schödwel und Zarnekow (2018), Sethuramalingam et al. (2019) und Wang et al. (2022). Die einzelnen Indikatoren beleuchten in der Regel unterschiedliche Facetten und sind je nach Konfiguration eines Rechenzentrums unterschiedlich relevant, sie haben jedoch alle eine Daseinsberechtigung. Eine gesetzliche Berichtspflicht besteht nur zu den wenigen o.g. Kennzahlen.

Hinzuweisen ist schließlich noch auf die Arbeiten des „Center of Expertise for Energy Efficiency in Data Centers“ des berühmten Lawrence Berkeley Laboratory (LBL) der US-Regierung. Dort hat man zur Bewertung der Energieeffizienz der Energiekette und des IT-Equipment wertvolle Berechnungs-Tools erarbeitet, die öffentlich zugänglich sind. Damit ist es zumindest möglich, auch ohne genaue Kenntnis der geplanten Rechenzentrums-Architektur vergleichende Modellrechnungen zu simulieren. Eine Detailanalyse mit Hilfe der gesamten Bandbreite der Tools würde den Rahmen der vorliegenden Untersuchung sprengen. Daher wird auf die umfangreiche Dokumentation des LBL verwiesen (siehe unter: <https://datacenters.lbl.gov/tools>).

Datenverfügbarkeit in Wirkebene Klima

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Erfassung der oben genannten Kriterien einen notwendigen Baustein einer geeigneten Strategie für das Monitoring des Ressourcenbedarfs der Hyperscale-Rechenzentren darstellt. Die für eine umfassende Bewertung der Nachhaltigkeit notwendigen Daten zu den Indikatoren sind teilweise verfügbar, jedoch im Moment noch nicht unmittelbar öffentlich einsehbar. Wesentliche Daten werden aber in das Effizienzregister beim BAFA eingespeist. Es ist zudem mittelfristig vorgesehen, diese Daten öffentlich zugänglich zu machen³¹.

Weitere Daten umfassen den lokalen Raumwiderstand (Flächennutzungsplanung) und Luftbilder, mit denen sich Grundflächen von Gebäudeinfrastruktur messen lassen. Während allgemeine Vergleichsdaten für Energie- und Wasserverbrauch sowie Abwärmenutzung bei Rechenzentren etc. vorliegen, gibt es bislang noch keine detaillierten Angaben zu den spezifischen, geplanten Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier, so dass hier aktuell noch keine Berechnung auf der Basis der oben aufgelisteten Indikatoren vorgenommen werden kann. Ergänzend zu den vorgeschlagenen Indikatoren kann auch eine Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse nach DIN EN ISO 14040 bzw. 14044 erstellt werden. Diese Verfahren sind jedoch sehr aufwändig und müssen jeweils auf den spezifischen Fall angepasst werden. Sie sind daher im Rahmen eines einfachen Monitorings nicht zu leisten.

³¹ Nach telefonischer Aussage einer Vertreterin des Effizienzregisters beim BAFA (08.01.2025)

5.4 Handlungsempfehlungen zur Wirkebene Nachhaltigkeit, Klima und Ressourcenbedarf

Handlungsempfehlung 10: Nachhaltigkeit bei Hyperscale-Rechenzentren ermöglichen – Kommunen stärken

Da die Kommunen von Zielkonflikten zwischen ökologischen Anforderungen und dem eigenen Anspruch berichten, schnelle Verfahren zu gewährleisten, ist eine gezielte Unterstützung auf politischer und administrativer Ebene notwendig. Um den Nachhaltigkeitszielen gerecht zu werden, könnte es helfen, Kommunen mit zusätzlichen Ressourcen und Fachexpertise auszustatten, die ihnen helfen, ökologische Standards trotz Zeitdrucks konsequent durchzusetzen.

Handlungsempfehlung 11: Koordinierung und Unterstützung des Ausbaus der Wärmenetze

Um die Abwärme aus Hyperscale-Rechenzentren effizient zu nutzen, ist ein gezielter Ausbau der Wärmenetze notwendig. Dabei ist es sinnvoll, Gebiete mit hohem Wärmebedarf zu priorisieren und bestehende Förderprogramme wie *progres.nrw* oder die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) gezielt einzusetzen. Die Wirtschaftlichkeit ist entscheidend – sowohl für Betreiber als auch für Abnehmer:innen. Technische Lösungen gelten als machbar, doch der Erfolg hängt maßgeblich von einer übergeordneten Steuerung und Koordinierung ab, die alle relevanten Akteur:innen einbindet und den Infrastrukturausbau strategisch begleitet (Diese Handlungsempfehlung ist wirkebenenübergreifend relevant und wird daher auch in der Wirkebene „Infrastruktur und digitales Ökosystem“ in gleicher Form aufgeführt.)

Handlungsempfehlung 12: Hyperscale-Rechenzentren nachhaltig gestalten – gemeinsam mit Betreibern

Angeichts des hohen Wasser- und Energiebedarfs von Rechenzentren könnten Betreiber dazu verpflichtet werden, innovative Techniken zur Wasser- und Energieeinsparung zu implementieren. Hierzu könnten Richtlinien zur Verwendung erneuerbarer Energien und zur Implementierung wassersparender Kühltechnologien erlassen werden. Dabei wäre es sinnvoll, verbindliche Zielvorgaben und Anreizsysteme zur Einhaltung hoher Ressourceneffizienz zu schaffen, um nachhaltige Praktiken langfristig zu fördern.

Handlungsempfehlung 13: Braunkohleflächen wirtschaftlich nutzbar machen

Die Nachnutzung der teils noch von RWE genutzten Flächen kann wirtschaftlich weniger attraktiv sein, wenn hohe Sanierungskosten und strengere Nutzungsaufgaben für wirtschaftliche Ansiedlungen zu erwarten sind, da dies die den Entwicklungsaufwand und die Kosten erhöht.

Um Altflächen für Investoren attraktiver zu gestalten, sind infrastrukturelle, finanzielle und rechtliche Unterstützungsmaßnahmen möglich. Offene diesbezügliche Fragen zu klären und diese Flächen attraktiver zu machen könnte helfen, den Raummangel zu entschärfen.

Ein gutes Beispiel, wie Kommunen dabei unterstützt werden, ist das Förderangebot „Nachhaltige Wirtschaftsflächen im Rheinischen Revier“.

Kapitel 6: Wirkebene Flächen und Akzeptanz an den Standorten

Einer internationalen Vergleichsstudie (Soares et al. 2024) zu Folge stellt die Planung der Regionalentwicklung eine eigene Wirkebene dar, die vom Ausbau der IT-Infrastruktur betroffen sein wird. Die möglichen Auswirkungen auf regionalplanerische Entscheidungsprozesse hängen eng mit der Frage zusammen, inwieweit der Ausbau der digitalen Infrastruktur regionale Disparitäten beeinflusst, so dass beide Aspekte im Folgenden als gemeinsame Wirkebene betrachtet werden.

Diese Wirkebene behandelt die Auswirkungen der geplanten Ansiedlung der Hyperscale-Rechenzentren auf die Regionalplanung und den Wohnungsmarkt im Rheinischen Revier sowie die erwarteten regionalplanerischen Anforderungen mit Bezug auf den Lebensraum und die kommunalen Angebote. Die Attraktivität der Region für Bewohner:innen und neu zugezogene Fachkräfte und die Akzeptanz der geplanten Ansiedlung wird thematisiert und Handlungsbedarfe werden identifiziert. Diese Wirkebene stellt somit ein Querschnittsthema dar. Regionalplanerische Abwägungen stehen in enger Wechselwirkung mit Fragen der Akzeptanz, wirtschaftlicher Ansiedlungen und der Attraktivität für zuziehende Fachkräfte.

6.1 Einschätzung auf Basis vorhandener Untersuchungen

Stärkung der regionalen Digitalwirtschaft im Rheinischen Revier beabsichtigt, nachteilige Auswirkungen auf andere Regionen insgesamt voraussichtlich begrenzt

Der Abbau regionaler Ungleichgewichte ist das Ziel der regionalen Förderpolitik. Daher ist die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen für Infrastrukturinvestitionen in Regionen mit Förderbedarf folgerichtig. Allerdings bleibt zu berücksichtigen, dass die Errichtung von Hyperscale-Rechenzentren sehr bedeutende Investitionen in die digitale Infrastruktur darstellen. Die regionale Förderpolitik verfolgt neben einem Wachstums- gleichzeitig auch ein Ausgleichsziel. So gehört die „Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse im Bundesgebiet“ nach Art. 72 Abs. 2 des Grundgesetzes zu den Aufgaben der Bundespolitik (Deutscher Bundestag 2023). Wie erläutert, erfolgen die angekündigten Investitionen von Microsoft im Rheinischen Revier unter anderem auch vor

dem Hintergrund entstehender räumlicher Engpässe am deutschen Hauptstandort Frankfurt/Main, so dass die Schaffung ergänzender Kapazitäten auch aus nationaler Sicht wünschenswert sein wird.

Pan et al. (2021) belegen auf Basis einer räumlich-ökonomischen Analyse, dass im Zeitraum 2009 bis 2015 in chinesischen Provinzen Investitionen in die Technologie-Infrastruktur einen im Zeitverlauf invers u-förmigen bzw. konkaven Spillover-Effekt hinsichtlich technologischer Investitionen in Nachbarregionen aufweisen. Das bedeutet, dass höhere Investitionen in die technologische Infrastruktur in einer Region kurzfristig einen Anstieg der Innovationen auch in Nachbarregionen nach sich ziehen. Im weiteren Zeitverlauf kommt es jedoch vermehrt zu Innovationen in der Region mit stärkeren Investitionen. Aussagen in Bezug auf die längerfristigen Auswirkungen der Infrastrukturinvestitionen sind angesichts des relativ kurzen Beobachtungszeitraums der Untersuchung nur begrenzt möglich. Innerhalb der empirischen Analyse tritt der Gegensatz zwischen positiven kurzfristigen und negativen längerfristigen Effekten jedoch sehr deutlich und signifikant hervor.

Da jedoch – anders als bei anderen digitalen Infrastrukturen – die Unternehmen in den anderen NRW-Standorten auch von der Verfügbarkeit der IT-Kapazitäten profitieren, ist die Wahrscheinlichkeit geringer, dass die geplante Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier zu Nachteilen bei anderen NRW-Regionen führen könnte. Auch hinsichtlich der Innovationsförderung in NRW wurde festgestellt, dass in der Vergangenheit hierdurch ein Wissenstransfer zwischen verschiedenen Regionen des Landes gefördert wurde, durch den auch die Regionen profitierten, die nicht im Fokus der Förderung lagen (Prognos 2019). Für die geplante Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren ist ebenfalls davon auszugehen, dass die insgesamt verbesserte IT-Infrastruktur sogar zum Abbau von Distanznachteilen von Regionen außerhalb der Ballungsräume in NRW führen kann (IW Consult 2023a, BMI 2019). Dies deckt sich mit den Einschätzungen zur Wirkebene „Beschäftigung und Löhne“, wo bereits ausgeführt wurde, dass es angesichts der Cloud-Entwicklung in der Natur der Infrastruktur „Rechenzentren“ gehört, dass sie weit über ihren physischen Standort hinaus positive Effekte nach sich ziehen.

Herausforderung an die kommunale bzw. regionale Entwicklungsplanung: Energiebedarf, Ansprüche an Flächen und Infrastruktur

Bei einer Standortentscheidung wie der von Microsoft für das Rheinische Revier geht es auch um raumwirksame Entscheidungsprozesse. Eine Standortentscheidung dieser Größenordnung in Deutschland wird nicht allein von einem Ansiedlungsunternehmen und dem Eigentümer getroffen, vielmehr ist bei einer solchen Entscheidung die Planung auf der kommunalen und ggf. auch auf weiteren administrativen Ebenen mit einbezogen. Bei der Entwicklungsplanung gilt es nach den Ergebnissen der internationalen Vergleichsstudie von Soares et al. (2024), drei Aspekte zu berücksichtigen. Zum einen ist es notwendig, korrekte Energieprognosen zu treffen, um das Stromnetz entsprechend planen und aufrüsten zu können, damit der steigende Energiebedarf ohne Risiken gedeckt werden kann. In Deutschland wird dies auf der Bundesebene umgesetzt. Zum anderen ist es essenziell, eine multiregionale Infrastruktur und flächendeckende Planung vorzunehmen, die die Faktoren Konnektivität, Energie und Konsumenten in Einklang bringt. Somit wäre man in der Lage das Wachstum der digitalen Infrastruktur nachhaltig zu steuern und natürliche Ressourcen nachhaltig zu nutzen. Zudem ist eine Koordination zwischen der nationalen und der regionalen Politikagenda notwendig, um in der Lage zu sein, gezielt politische Maßnahmen durchsetzen zu können. Die Erfahrungen aus sechs Länderfallstudien (Deutschland, Irland, Niederlande, Singapur, USA und Vereinigtes Königreich) zeigen auf, dass der Bau von Rechenzentren in aller Regel zu Anpassungsbedarfen und Korrekturen regionaler Planungsprozesse führt.

An allen sechs Standorten änderten sich die Strategien zur Einrichtung von Rechenzentren im Zeitraum zwischen 2019 und 2023. In drei Fällen gingen den Anpassungen der Rechenzentrumsstrategien erhebliche kurzfristige Unterbrechungen des Wachstums der digitalen Infrastruktur bzw. der Stromnetze voraus (Niederlande, Irland, Singapur). An diesen Standorten wurden zeitliche Aufschubstrategien (Moratorien) verfolgt, um über einen Zeitraum von mehreren Jahren (2019-Anfang 2022 in den Niederlanden und Singapur, 2022-2023 in Irland) Umweltstandards anzuheben (Singapur und Niederlande) und/oder den Ausbau der Stromnetze voranzutreiben (alle Standorte). Wie erläutert handelt es sich etwa bei den europäischen Standorten Amsterdam und Dublin um größere Rechenzentrumsstandorte, an denen Kapazitätsengpässe erreicht

wurden. Im Rheinischen Revier hingegen sind solche Engpässe in naher Zukunft nicht zu erwarten.

Wohnungsmärkte sind wichtiger Katalysator

Die Entwicklung der Wohnungsmärkte wird mit den Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten der Rechenzentren zusammenhängen. Sollte es, so wie es etwa die Planungen Städteregion Aachen, des Rhein-Kreis Neuss und des Rhein-Erft-Kreises vorsehen (Drees & Sommer, NMWP 2023; IHK Aachen et al. 2023 Hrsg.), in Folge des Ausbaus der digitalen Infrastruktur zu einem verstärkten Wirtschafts- und Beschäftigungswachstum im Rheinischen Revier kommen, ist im Zusammenhang mit den Einkommen der dort tätigen Beschäftigten von einem Anstieg der Wohnungspreise und Mieten auszugehen. Über die Kreisgrenzen des Rheinischen Reviers hinweg sowie zwischen Revier und Nachbarregionen finden intensive Pendelbewegungen zwischen Wohn- und Arbeitsort statt (DE-CIX Management 2021), so dass sich ein möglicher Anstieg der Wohnungspreise nicht auf die unmittelbare Umgebung beschränken, sondern auch die Nachbarregionen betreffen würde. Insofern würden – sofern die gewünschten positiven Effekte tatsächlich so eintreffen – diese positiven Effekte auch Nebenwirkungen mit Herausforderungen mit sich bringen, wie beispielsweise ein Preisanstieg auf dem Immobilienmarkt. Preisanstiege in Folge von Infrastrukturmaßnahmen sind in der wissenschaftlichen Literatur belegt. So lag etwa im Dortmunder Stadtteil Hörde nach umfassenden Maßnahmen zur Aufwertung der Umweltqualität im Zusammenhang mit dem Emscherumbau und der Errichtung des Phoenix-Sees der durchschnittliche Preisanstieg für Eigentumswohnungen (in Euro/m²) im Zeitraum 2007-2016 um 4 Prozentpunkte über dem Vergleichswert in den benachbarten Stadtteilen des Dortmunder Südens (d.h. der Anstieg betrug +26,7% in Hörde, 22,7% in Dortmund-Süd) (Neumann und Taruttis 2022).

Erfordernis der Kommunikation mit Betroffenen und Stakeholdern

Die Erstellung kommunaler Konzepte zur Förderung der Digitalwirtschaft in der Städteregion Aachen sowie in den Kreisen Rhein-Erft und Rhein-Kreis Neuss zeigt, dass auf die Kommunen des Rheinischen Reviers – abgesehen von der unmittelbaren Gestaltung der geplanten Hyperscale-Rechenzentren und ihres direkten Umfelds – im Zusammenhang mit dem Ausbau der digitalen Infrastruktur vielfältige planerische Aufgaben zukommen. Darunter fallen auch die gesetzlichen Planungsanforderungen an Kommunen, welche sich hauptsächlich aus dem

Bauplanungsrecht (BauGB, Landesbauordnungen), dem Telekommunikationsrecht in Verbindung mit dem DigiNetz-Gesetz sowie dem Vergaberecht ergeben. Kommunen müssen insbesondere Synergieverpflichtungen beim Infrastrukturausbau beachten und bei ihren Bauleitplanungen auch den Glasfaser- und Mobilfunkausbau berücksichtigen. Hinzu kommen Vorgaben aus dem Straßen- und Wegerecht, den Umwelt- und Immissionsschutzvorschriften und (bei geförderten Projekten) den jeweiligen Fördermittelrichtlinien. Damit die digitale Infrastruktur vor Ort rechtssicher und effizient ausgebaut werden kann, ist es essentiell, diese verstreuten Regelungen frühzeitig und koordiniert in die kommunalen Planungen einzubeziehen.

Hohe Akzeptanz der angekündigten Microsoft-Ansiedlung vor Ort, aber auch Bedenken

Das im vorliegenden Abschnitt angesprochene Erfordernis zur Strategieanpassung in Planungsprozessen deutet bereits darauf hin, dass der Erfolg der geplanten Ansiedlung der Hyperscale-Rechenzentren innerhalb des Strukturwandels des Rheinischen Reviers unter anderem auch davon abhängen wird, auf welche Akzeptanz diese Ansiedlung und der durch sie repräsentierte Bedeutungsgewinn der Digitalisierung vor Ort stoßen wird.

Der im Auftrag des Rhein-Erft-Kreises und des Rhein-Kreises Neuss erstellte „Masterplan Digitalwirtschaft“ betont, dass die digitale Transformation in Wirtschaft und Gesellschaft je nach Zielgruppe zu unterschiedlichen Empfindungen führt. Das neue „Ökosystem“ der Digitalparks kann teilweise bedrohlich wirken, während andere es als Chance betrachten (Drees & Partner, NMWP 2023). Je nach Zielgruppe werden dabei verschiedene Aspekte wie beispielsweise das lokalökonomische „Ökosystem“, der Wandel der Anforderungen an berufliche Tätigkeiten und Umweltbelange im Vordergrund stehen.

Die Digitalisierung bzw. die Digitalwirtschaft stehen an sich oftmals noch Vorbehalten gegenüber, die einer verstärkten Anwendung digitaler Technologie z.T. entgegenstehen, beispielsweise in der Entwicklung des E-Governments (Stember 2020).

Wenig umstritten ist die Bedeutung der Digitalisierung im Allgemeinen und der Hyperscale-Rechenzentren im Besonderen überwiegend im Kreis der Unternehmen und Gewerbetreibenden. So ist etwa nach Ansicht des Bundesverbands der Deutschen Industrie „... eine moderne digitale Infrastruktur, welche

über eine hohe Bandbreite und zugleich geringe Latenz verfügt, eine Voraussetzung für wirtschaftlichen Erfolg im 21. Jahrhundert” (BDI 2024). Dennoch gibt es wie erläutert auch unter Gewerbetreibenden Vorbehalte gegenüber dem mit der Digitalisierung verbundenen Wandel lokalökonomischer Ökosysteme.

Repräsentativen Bevölkerungsbefragungen der EU (2017) zu Folge erwarten 82 Prozent der deutschen Bevölkerung positive Effekte der Digitalisierung auf die wirtschaftliche Entwicklung. Damit liegt die so gemessene positive Einstellung gegenüber der Digitalisierung in Deutschland über dem Mittelwert der EU28 (75 Prozent). Allerdings erwarten in Deutschland nur 54 Prozent positive Auswirkungen auf die Gesellschaft allgemein (soweit es überhaupt sinnvoll ist, zwischen den Auswirkungen auf die Wirtschaft und die Gesellschaft zu trennen), gegenüber 64 Prozent in der EU28.

Die Verwirklichung von Infrastrukturvorhaben, beispielsweise im Kontext des Ausbaus der Verkehrsinfrastruktur, aber auch beim Aus- und Umbau der Energienetze im Zuge der verstärkten Nutzung Erneuerbarer Energien (Hübner et al. 2020), stößt oftmals auf Akzeptanzprobleme und erfordert sehr langwierige Planungsprozesse.

Im Zuge der Errichtung Hyperscale-Rechenzentren werden Planungsprozesse erforderlich, wie bereits im Kontext regionaler Disparitäten und der Regionalplanung diskutiert wurde. Ihr Erfolg, gemessen an der erfolgreichen Ansiedlung unter Berücksichtigung einer ausgewogenen Abwägung verschiedener Ziele und Interessen, wird dabei entscheidend von einem koordinierten Vorgehen zwischen politischen Ressorts und administrativen Ebenen abhängen. Wie erläutert wird zu den Erfolgsvoraussetzungen insbesondere eine zwischen den Akteur:innen koordinierte Kommunikation mit Betroffenen bzw. Stakeholdern und deren Beteiligung an den raumwirksamen Entscheidungsprozessen gehören.

Soweit eine Auswertung der Lokalpresse dies belegen kann, ist die Akzeptanz gegenüber der Errichtung Hyperscale-Rechenzentren auf der kommunalen Politikebene im Rheinischen Revier überwiegend als hoch anzusehen. Bedenken der Bevölkerung werden im Rahmen von aktuell zwei Petitionen in Bezug auf Flächenverbrauch, Umweltwirkungen und Datensicherheit geäußert. KI-Forscher der RWTH Aachen stehen der geplanten Ansiedlung überwiegend positiv

gegenüber, allerdings äußern sie Bedenken gegenüber der Abhängigkeit von amerikanischer KI-Technologie.

Flächenbedarf und Versiegelung

Den Beitrag von Hyperscale-Rechenzentren zu Flächenversiegelung und die einschlägigen Umwelt- und Klimaeffekte betreffend ist die internationale Datenlage sowie der Forschungsstand noch völlig unzureichend. Zu unterstreichen ist die Bedeutung räumlicher Heterogenität für die Wahl des Standorts. In Großstädten, die ohnehin von erheblicher Flächenversiegelung betroffen sind, können die marginalen Versiegelungseffekte bedeutsam für das Mikroklima (urban heat, Hochwasser etc.) sein. In Frankfurt sind die Effekte der zahlreichen Rechenzentren bereits deutlich, siehe auch Kapitel 1.1. Hinzu kommt die Abwärme, die in Agglomerationsräumen einen stärkeren mikroklimatischen Effekt hat. Möglicherweise sind in Städten die negativen Auswirkungen auf die Biodiversität wiederum geringer, insofern die Rechenzentren auf Konversionsflächen entstehen und innerstädtische Grünflächen erhalten bleiben. Sind die Rechenzentren zudem nachhaltig konfiguriert und werden z.B. die Gebäude begrünt (Dach oder Fassaden sowie ein neues Rechenzentrum in Frankfurt-Seckbach³²), ist von deutlich klimapositiven Wirkungen auszugehen. Was die angekündigten Investitionen im Rheinischen Revier betrifft, haben die gewählten Standorte voraussichtlich einen geringeren Einfluss auf innerstädtische Hitzeentwicklung. Die laufende Petition des BUND kritisiert dennoch die Standortwahl, da Microsoft die Hyperscale-Rechenzentren nicht auf Konversionsflächen des Braunkohletagebaus oder Industriebrachen zu errichten plant. Die geplanten Hyperscale-Rechenzentren sollen auf bisher landwirtschaftlich genutzter Fläche errichtet werden, wobei die Flächen schon länger für eine gewerbliche Bebauung vorgesehen waren. Der Verbrauch von Grünland wiederum führt zu einem Eingriff in Biodiversität und verringert entsprechend die Kohlenstoffspeicherung und sonstige Ökosystemleistungen. Genauer lässt sich ohne Angaben zu Größe und der Planung von möglichen Ausgleichsmaßnahmen hier nicht darlegen.

Generell ist es schwierig, die Nachhaltigkeitsschwelle von Flächenversiegelung zu berechnen. Festzustellen ist nur, dass die Kommunen i.d.R. von erkennbaren Fehlanreizen bei der Flächenausweisung geleitet werden. Langer

³² Frankfurter Rundschau 25.09.2024 (Lokalteil)

und Korzhenevych (2018) berechnen für bayerische Kommunen einen deutlichen positiven Effekt von Flächenversiegelung auf die Gewerbesteuerereinnahmen, was einen Anreiz zu weiterer Flächenversiegelung auslöst. Was Versiegelung in Städten betrifft, folgt Flächenversiegelung einem urbanen Skalengesetz, das global sublinear mit einem Exponenten von ca. 0,83 imponiert. Bei hochsignifikanten Regressionsschätzungen mit einem R^2 von knapp unter 1,0 ist es möglich, zusammen mit einer nationalen Orientierungskonstante, einen Schwellenwert für die gesamte urbane Versiegelungsfläche in Deutschland zu schätzen und für jede Stadt die tatsächlich gemessene positive oder negative Abweichung dynamisch über die Zeit festzustellen (Bergs 2024). In Städten und Gemeinden mit Standorten für Rechenzentren kann so der Flächenverbrauchsanteil direkt bestimmt werden. Inwieweit die Bebauung mit Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier die Flächenversiegelung auf einen kritischen Pfad führt, kann so theoretisch berechnet werden. Erforderlich hierzu sind die Versiegelungsdaten zu den geplanten Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier (momentan nicht bekannt) und Raumdaten zur Flächenversiegelung in deutschen Kommunen (z.B. des IÖR-Monitors).

6.2 Ergebnisse der Interviews: Perspektiven der Befragten zu Wirkebene Flächen und Akzeptanz an den Standorten

Region aus vielen Perspektiven als attraktiver Wohnort eingeschätzt

Die Interviewten diskutieren die Attraktivität des Rheinischen Reviers für zuziehende Fachkräfte. Sie hänge von verschiedenen Faktoren ab, darunter Infrastruktur und Mobilität, insbesondere geprägt durch die Anbindung an Großstädte. Auch weiche Standortfaktoren wie Wohnraum, Freizeit- und Kulturangebote sowie Kinderbetreuung wurden explizit als die Wohnortwahl beeinflussende Faktoren genannt.

Kommunen bauen Angebote für ausländische Fachkräfte auf

Insgesamt erwarten die Befragten, dass die für ortsfremde Fachkräfte positiven Rahmenbedingungen auch für Bewohner:innen des Rheinischen Reviers gelten. Um Fachkräfte aus den umliegenden Großstädten anzulocken, müsse gezielt an der Attraktivität gearbeitet werden. Das Potenzial dafür sei vorhanden. Um für Fachkräfte aus dem Ausland attraktiv zu sein, seien jedoch kulturelle und sprachliche Angebote vonnöten, die eine Willkommensatmosphäre schaffen. Dazu würden eine aktive Förderung der Internationalität und der Diversität der Region benötigt. Dies kann mehrsprachige Angebote, Deutschkurse und Informationen für Zuzügler sowie die Schaffung von Begegnungsorten und Vernetzungsmöglichkeiten gehören.

Kristiane von dem Bussche sagt (Stadt Grevenbroich, Gesellschaft für Wirtschaftsförderung und Stadtentwicklung Grevenbroich [GFWS]W: „Wir haben letztes Jahr das erste Mal ein Fest der Kulturen veranstaltet und in Grevenbroich an einem Sonntag sichtbar gemacht. [...] Dass man neugierig ist auf die, die da kommen und sie willkommen heißt in einer Stadt, die auch von Brauchtum und Tradition lebt und da ein gutes Miteinander hinzubekommen, das sind Aufgaben, die gehen weit über Wirtschaftsförderung hinaus.“

Viele Ansätze zum Verbessern der Lebensqualität

Mit Blick auf die Attraktivität für Zugezogene argumentiert Christian Trapp (dall group), dass die Landschaft verbaut sei: „Das ist eine Industrielandschaft, Rübenacker soweit das Auge blickt, das ist ja nichts Besonderes, also das wird wohl jemanden aus Oberbayern nicht anziehen, dort hinzugehen.“ Jedoch gebe es viele Arbeitgeber, die ein attraktives Gehalt zahlen. Das Wohnen im

Rheinischen Revier sei deutlich bezahlbarer als andersorts, und viele Vorteile des außerstädtischen Lebens kämen hinzu. „Sie können hier auch ein gutes Familienleben haben, zu überschaubaren Preisen, wenn das Ihr Weg und Ihr Ziel ist“, sagt Christian Trapp. Es gebe viele weiche Standortfaktoren, die im Marketing mehr Beachtung verdienen. „Wir müssen deutlich mehr bewerben, wie schnell man hier im Grünen sein kann“, sagt Dr. Ruth Laengner (Kreisstadt Bergheim).

Andererseits gebe es zu wenig Neubau und eine gewisse Wohnungsnot. Dr. Eva-Maria Ritter (NetCologne) glaubt, dass gerade vor diesem Hintergrund, das Potenzial, von Städten und Gemeinden im Umland steigt. „Verweilplätze zu schaffen, jüngere Familien und auch den Einzelhandel zu halten, wird wichtig sein, um die Attraktivität für Facharbeitskräfte in der Region zu erhöhen.“ Bei NetCologne haben wir den Fokus auf digitaler Daseinsvorsorge, das bedeutet, „dass diese digitalen Güter, die wir mit zur Verfügung stellen, zu einer besseren Lebensqualität auch in der Region beitragen.“

Rechenzentren müsse man als ein Element wichtiger Transformation betrachten, ist auch Dr. Eva-Maria Ritter überzeugt. „Dass Transformation stattfindet und Wirklichkeit wird, dafür braucht es noch ein bisschen mehr Initiative, mehr Ansiedlungen und mehr Durchmischung als nur Hyperscale-Rechenzentren.“ Neben dem Einzelhandel könne dies auch etwa Gesundheitsdienste betreffen. Auch die Anbindung an den ÖPNV wird von mehreren Befragten angesprochen. Diese sei insbesondere für die wichtig, die in Düsseldorf, Aachen und Köln wohnen und zur Arbeit im Rheinischen Revier pendeln würden.

Jochen Pollotzek hat für die Digitalparks die Vorstellung, dass sie über ein herkömmliches Gewerbegebiet hinaus attraktiv sein müssen: „Und Gastronomie, Restaurants und all so was brauchst du schon, wenn du so einen Digitalpark errichtest. Es muss da schon auch ein bisschen cooler sein, eine gewisse Infrastruktur haben.“

Kommunikation in der Regionalplanung ist wichtig, um Identität als Region weiterentwickeln zu können

Die Identität als wirtschaftlich zentraler Standort in NRW ist fest im regionalen Selbstverständnis verwurzelt. Umso wichtiger ist es daher, regionalplanerische Interessen transparent an die Bevölkerung weiterzugeben. Das Empfinden der Bewohner:innen im Bezug darauf, ob ihre Interessen gegenüber potenziellen

Investoren und den Behörden vertreten werden, spielt im Konsens der Befragten eine wichtige Rolle. Deutlich wird dies beispielsweise im Eindruck der befragten ansässigen Unternehmen, ihr Verbleib in der Region hänge davon ab, wie sehr sie ihre Interessen bezüglich der Energieversorgung und Planungssicherheit berücksichtigt sehen.

Die Akzeptanz der geplanten Ansiedlung wird mit unterschiedlichen Faktoren verknüpft: Zunächst ist es die Rolle von Microsoft und deren kommunikative Arbeit im Prozess, zweitens der erwartete Effekt der geplanten Ansiedlung für die Region. Akzeptanz bildet dabei ein Querschnittsthema – unterschiedliche Akteur:innen sehen Vor- und Nachteile in Bezug auf die anderen Wirkebenen dieser Untersuchung, beispielsweise auf den Arbeitsmarkt oder die Wertschöpfung. Die Identität der Region spielt bei der Akzeptanz von Veränderungen ebenfalls eine Rolle; sie war lange von der Kohleförderung geprägt.

Bei der Bewertung der Äußerungen in den Gesprächen verdient Erwähnung, dass sich die Planung der Ansiedlung zu dem Zeitpunkt noch in einem frühen Stadium befindet, und die Ergebnisse der Interviews daher oftmals spekulativer Natur sind. Zunächst stellt sich heraus, dass die Einbindung lokaler Akteur:innen in die Planung und Durchführung des Prozesses eine Rolle spielt: Die Region erfährt eine intensive Transformation, mit der auch eine Veränderung der Identität des Reviers sowie der Wahrnehmung derselben durch dessen Bewohner:innen sowie ansässiger Unternehmen einhergeht. Aus diesem Grunde sollte der Prozess durch die Politik weiterhin im bisherigen Maße begleitet werden.

Stakeholder fühlen sich unterschiedlich gut informiert

Der gegenwärtige Kenntnisstand über den Prozess der geplanten Ansiedlung wird teilweise als ausbaufähig wahrgenommen. Einige Befragte sehen Optimierungsbedarf in der bisherigen Kommunikationsstruktur und äußern Bedarf nach zusätzlichen Informationen, insbesondere von Seiten des jeweiligen Unternehmens – im aktuellen Fall ist das Microsoft. Von Seiten der Interviewpartner:innen wurde eingebracht, dass z.B. eine allgemeine Kontaktstelle beim Unternehmen hilfreich wäre. Diese könnte beispielsweise über geplante Schulungen des Digitalunternehmens informieren und mit den im Rheinischen Revier eingesetzten Strukturwandelmanagern im regelmäßigen Austausch sein. Aus Sicht der Wirtschaftakteur:innen bestehe ein großes Interesse an ei-

nem wechselseitigen Austausch über die bislang schon involvierten Kommunen hinaus in die Region, über Ziele, Zeiträume und Dimensionen. Denn im Dialog können regionale Interessen besprochen werden, von deren Umsetzung alle Akteur:innen profitieren können.

Eine Thematisierung der Pläne der Prozessgestaltung – in Gremien oder Arbeitsgruppen der Kommunen (über die Standortkommunen hinaus) und Verbänden beispielsweise – könnte aus Sicht einiger Gesprächspartner eine sinnvolle Ergänzung darstellen. Auch die Breite der Gesellschaft scheint noch nicht vollständig erreicht worden zu sein. Ein Unternehmer aus der Region merkt an: „Also wer sich nicht genau auskennt, und das ist ja gar nicht mal so leicht zu verstehen, was die machen, stelle ich fest, vielen haben es kaum wahrgenommen. So erstaunlich, wie viele Leute tatsächlich nicht darüber Bescheid wissen, dass etwas kommt, welche Tragweite das hat und so weiter.“

Auf der anderen Seite stehen jene Akteur:innen, die aufgrund ihrer örtlichen Lage oder ökonomischen Bezug bereits in den Prozess eingebunden sind und waren. Bei dieser Gruppe ist ein positives Bild der geplanten Ansiedlung zu beobachten. Der Leiter des Fachdienstes für Stadtplanung in Bedburg berichtet, dass Pull-Faktoren auf dem Arbeitsmarkt erwartet werden. In Bergheim sieht die Fachbereichsleitung für Strukturwandel und Nachhaltigkeit der Stadt ebenfalls Potentiale, verweist aber auf deren Bedingtheit durch regionalspezifische Nachhaltigkeits- und Energiekonzepte. Der Branchenverband Bitkom beschreibt Ähnliches unter dem Verweis auf eine entsprechend angepasste digitale Infrastruktur; auch hier wird der hohe Energiebedarf eines Rechenzentrums erwähnt.

Die Kommunikation scheint demnach im weiteren Prozess noch ausbaufähig zu sein. Aufgrund des frühen Planungsstadiums der spezifischen Ansiedlung kann dies bei der weitergehenden Entwicklung der Region – und auch bei zukünftigen Ansiedlungen von Hyperscale-Rechenzentren – noch angepasst werden. Dabei gilt es zu beachten, dass unterschiedlich große Rechenzentren unterschiedliche Kommunikation erfordern; bei einem großen Projekt wie dem von Microsoft ist von einem großen Effekt auf die Region auszugehen, eine intensive Kommunikation ist ratsam.

Akzeptanz ist Sektor-, perspektiven- und personenabhängig

Während aus der Sicht von Netzwerkbetreibenden Fragen zu Nachhaltigkeit und technischen Spezifika der geplanten Anlage aufkommen, wirft die Ansiedlung bei Beschäftigten der Kommunalverwaltungen Fragen entlang der Linie der Struktur der Region und deren Entwicklung auf. Übergreifend lässt sich aus den Äußerungen lesen, dass das Potential der geplanten Ansiedlung in deren ökonomischen und sozialen Folgeeffekten gesehen wird. Selten wird die rein technologische Dimension als ausschlaggebend für das Vertrauen in und damit Akzeptanz des Projektes angeführt. Auch die wahrgenommenen Risiken der avisierten Ansiedlung hängen derzeit eher von den antizipierten Folgen der Gesprächsteilnehmenden als von konkreten Erfahrungen mit vergleichbaren Prozessen ab. Das frühe Planungsstadium der Ansiedlung sorgt dafür, dass die Interviewten sich der spekulativen Natur ihrer Antworten bewusst waren. Je nach deren Informations- und Einbindungsgrad liegt hier ein Unterschied in der Natur der Einschätzungen vor.

Kommunikation und Kooperation sind essenziell

Den gegenwärtigen Status des Projekts berücksichtigend, legen die Antworten auf die Frage nach der Rolle Microsofts im Kontext des Strukturwandels nahe, dass die Kommunikation mit den Akteur:innen aus verschiedenen Sphären der Gesellschaft noch ausbaufähig ist. Wenn sie mit ausreichend Informationen versorgt sind, klingen Befragte anders. Die regionale Förderung erschien diesem Befragten nur stockend zu sichtbarem Strukturwandel zu führen, bis die geplante Ansiedlung kommuniziert wurde: „[...] Irgendwie hat man in der Region immer das Gefühl gehabt, von der Wahrnehmung, dass [der geförderte Wandel] nicht so richtig in Fahrt kommt. Und mit der Ankündigung von Microsoft, hier in die Region zu kommen, fühlt es sich so ein bisschen an, als wäre der Knoten wirklich geplatzt“, beschreibt Timothy Fitschen von der Bundesagentur für Arbeit.

In Bezug auf die verfügbaren Informationen neigen andere Befragten zur Skepsis. Sie treffen Annahmen und äußern Bedenken gewissermaßen aus dem Bauch heraus. Microsoft ist ein global agierender Konzern, welcher in der Perspektive einer Region wie dem Rheinischen Revier als Tanker oder Titan wahrgenommen wird. Kritische Stimmen unterstellen dem Konzern eine Handlungslogik entlang der Werte US-amerikanischer Unternehmens- beziehungsweise

Konzernkultur; Gewinnstreben und -maximierung zählen dazu, Zweifel am Beteiligungsinteresse am Wohlergehen der Region schimmern durch die Antworten. Auf der Kehrseite wird jedoch, einen umfangreichen Beteiligungs- und Kooperationsprozess vorausgesetzt, positiv auf den Prozess geschaut. Hier sind Einschätzungen nach Kommunen unterschiedlich gelagert. In von der geplanten Ansiedlung unmittelbar betroffenen Kommunen wird die Kommunikation besser bewertet als andersorts. Ein aktiver Part in der Projektkommunikation auf Seiten Microsofts, lässt optimistischere Töne laut werden. Speziell Schulungsprozesse werden als Konzept positiv bewertet, sofern sie ausreichend kommuniziert werden.

Die mit der geplanten Ansiedlung verbundene Veränderung hin zu einer digital geprägten Branche ist in allen Gesprächen präsent und grundsätzlich begrüßt. Struktur und Handlungsmuster der Digitalwirtschaft werden mit der Vergangenheit des Reviers kontrastiert, die Transformation der Region wird als notwendig, teilweise als unausweichlich wahrgenommen. Hierzu eine Äußerung zum Regionalwandel von Markus Wolff (IHK Aachen):

„[...] Microsoft ist vielleicht aktuell eines der schillerndsten Beispiele, dass der Strukturwandel im Rheinischen Revier generell [funktioniert]. Das Rheinische Revier ist eine sehr dynamische Region, die ihre Chancen ergreift. Der Strukturwandel bietet Chancen durch Flächen, durch Fördergelder und durch handelnde Personen, die sich gerade mit dem Thema auf ganz vielen Ebenen beschäftigen und sich Gedanken machen, wie die Zukunft aussehen kann.“

Dennoch spielt Kommunikation und Informationsmangel eine Rolle bei der Einschätzung der Lage. Die Wirkung des wahrgenommenen Bruchs zwischen lokaler und globaler Dynamik, beziehungsweise Vergangenheit und Zukunft, ist nicht zu unterschätzen. Eine Region mit starker Identität und generationenübergreifender Sozialprägung reagiert sensibel in Bezug auf Veränderungen dieser Natur. Eine Abkehr der Kohlegewinnung und -verstromung ist jedoch in der Breite akzeptiert worden, es ist der antizipierte Umfang der Veränderungen durch die geplante Ansiedlung, der Fragen aufwirft.

Diese Veränderungen können sich – wie beschrieben – auch Besorgnis auslösen. Ein Vertreter einer Handelskammer sieht eine Diskrepanz zwischen der starken Fokussierung auf Großansiedlungen wie Microsoft, bei gleichzeitig gefühlter Wahrnehmung, dass langjährige lokale Unternehmen im Rheinischen

Revier sich durch bürokratische Hürden ausgebremsst fühlen, z. B. bei Bauanträgen für neue Hallen. Diese Diskrepanz werde als problematisch angesehen, insbesondere für die politische Wahrnehmung.

Der physische Standort ist von Relevanz

Verbunden mit den Erwartungen und der Einschätzung der Lage wird häufig thematisiert, dass der Standort sowie die Natur des Gebäudes und die Nutzung der umliegenden Flächen eine Rolle für die Akzeptanz spielen. Die Bedenken sind dabei sowohl ästhetischer als auch praktischer Natur. Sollten, so die Befragten, Anlagen wie Digitalparks oder Hyperscale-Rechenzentren schlecht an Verkehr und Infrastruktur angebunden oder nur schwierig erweiterbar sein, hier wird auf Folgeansiedlungen Bezug genommen, würde die Akzeptanz leiden. Ein Standort mit negativem Effekt auf das Landschaftsbild wird ebenfalls als Risiko für die Akzeptanz genannt. Einschätzungen dieser Art sind naturgemäß subjektiv, spielen aber auch für die Identität der Region und dem wahrgenommenen Umfang der Transformation eine Rolle. Dies dürfte auch in der gesellschaftlichen Breite zutreffen. Insbesondere das letztgenannte Argument hat einen starken Identitäts- und Regionalbezug, den es nicht zu unterschätzen gilt.

Flächenverfügbarkeit

Insbesondere die Kommunen zeigen intensives Interesse an dem Flächenverbrauch der Hyperscale-Rechenzentren sowie deren Einbindung in die gesamte Regionalplanung. Für die Ansiedlung von neuen Unternehmen werden geeignete Flächen benötigt. Ein akutes Problem stellt die prinzipiell positiv zu bewertende, aber zu hohe Nachfrage nach Fläche dar, die an einigen Orten nicht bedient werden kann, so die Aussage von Torsten Stamm (Stadt Bedburg). Den Bebauungsplan schnell zu erstellen, sei in der Regel kein Problem, sagt Torsten Stamm, aber für fast jede neu ausgewiesene Fläche im Außenbereich müssen auch Pläne auf Landes- und Regionalebene angepasst werden. Das Problem sei die Dauer der Verfahren. Wenn zwischen Verfahrensschritten bis 1,5 Jahre vergehen, sei das gegenüber Investoren nicht erklärbar. Aus seiner Sicht müssen Beteiligungs- und Mitteilungsschleifen neu gedacht werden, um die Verfahrensdauer zu verkürzen.

Die Ankündigung der Ansiedlung von Microsoft hat zu einer erhöhten Flächennachfrage geführt. Die politische Aufgabe, die Nachfrage zu bedienen und Ansiedlungen zu ermöglichen, ist zentral für den Umgang mit der Ansiedlung von

Hyperscale-Rechenzentren. Gelingt dies, können daraus positive wirtschaftliche Effekte resultieren. Die in Kapitel 5.2 detailliert thematisierte Versiegelung der Flächen spielt hier eine bedeutende Rolle. Einzelne Akteur:innen, wie etwa Torsten Stamm (Stadt Bedburg) weisen mit Blick auf die Flächenverfügbarkeit darauf hin, dass es für ein Nutzen der „Jahrhundertchance“ wichtig sei, diese „in der gebotenen Schnelligkeit“ zu nutzen“, was sich aus seiner Sicht schwierig darstellt. Nach Ansicht mehrerer Interviewter sind die Flächen der stillgelegten Kraftwerke zwar für eine künftige Nutzung interessant, stehen jedoch erst in vielen Jahren zur Verfügung und bieten somit keine kurzfristige Lösung.

Sollte insgesamt die Nachfrage nicht bedient werden können, gefährde der Mangel an verfügbaren Flächen das Momentum des wirtschaftlichen Wachstums und der strukturellen Erneuerung, welches die Ansiedlung von Unternehmen erzeugen.

Andere Akteur:innen hingegen sind zuversichtlich, ihre lokale Flächennachfrage mittelfristig bedienen zu können. Torsten Heerz (Rhein-Erft-Kreis) prognostiziert: „Ich glaube, dass wir in den nächsten fünf bis sechs Jahren nach Verabschiedung des Regionalplans zumindest so viele Flächen zur Verfügung haben.“

Die Gesprächspartner wünschen mehrheitlich beschleunigte und in der Koordination optimierte Planungsverfahren, lange Zeiträume werden als Hemmnis wahrgenommen. Nicolai Dwinger (IHK Mittlerer Niederrhein) erwähnt den 2024 von Ministerin Mona Neubauer mit vielen Bürgermeistern und Landräten der Region geschlossenen Pakt für Planungsbeschleunigung, der Bemühungen aufzeige, Verwaltungsakte in der lokalen Verwaltung zu beschleunigen. Der Pakt biete eine Richtlinie, im Rahmen der Möglichkeiten schneller und besser zu handeln.

Nutzungskonflikte und weitere Flächenvoraussetzungen erschweren die Nachnutzung der Bergbauflächen

Die konkurrierenden Flächennutzungsansprüche zwischen Industrie, Landwirtschaft, Wohnen und Natur sind eine weitere Komponente der Herausforderungen, welche Koordination zwischen den Planungsebenen benötigt. Belange des Umwelt- und Naturschutzes seien zu berücksichtigen. Zusätzlich merkt eine interviewte Person an, seien hohe Investitionen nötig, um ehemalige Bergbauflächen wieder verfügbar zu machen, beispielsweise um eventuelle Konta-

minationsprobleme zu beseitigen, oder um Denkmalschutzauflagen einzuhalten. Dies gehe mit geringerer Attraktivität der Flächen bei Investoren einher und führe zu Vorbehalten gegen die Flächennachnutzung.

Christian Trapp (dalli group) merkt zusätzlich an, die großen Flächen, die durch die Kohle- und Kraftwerksindustrie in Anspruch genommen werden, seien nach ihrer Stilllegung für die Landwirtschaft als Acker oder als Waldfläche unbrauchbar. Daher sei es besonders wichtig, dass die zukünftige Flächennutzung intelligent und ökologisch orientiert gestaltet wird. Er sagt: „Bei uns in der Region gibt es unglaubliche Industriebrachen und damit muss was passieren. Das ist mir persönlich ein Anliegen.“

Um den Flächenverbrauch möglichst nachhaltig zu gestalten, sollen vorrangig bereits versiegelte oder brachliegende Flächen genutzt werden. Außerdem sei es wichtig, die Belange von Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Wohnungsbau bei der Flächenplanung zu berücksichtigen und Nutzungskonflikte zu vermeiden. Innovative Konzepte wie die Mehrfachnutzung von Flächen für Erneuerbare Energien und Gewerbe könnten dabei hilfreich sein. Christian Dieckhoff (BCIX) hält es für eine der größten politischen Stellschrauben, angebotene Flächen für Unternehmen stärker an Regularien zu knüpfen: „Das könnte ebenso sein, dass man sagt: Klar, ihr kriegt von uns die Fläche für euer Rechenzentrum, aber dann müsst ihr euch auch bitte dazu verpflichten, Eure Daten auszutauschen.“ Die Aussage von Christian Dieckhoff bezieht sich zwar auf politische Vorgaben zur Konnektivität, vergleichbare Voraussetzungen für die Flächenvergabe sind jedoch auch zur Sicherstellung einer ökologisch nachhaltigen Flächennutzung anwendbar.

Die Nachnutzung der Flächen aus dem Kohleabbau ist daher zusammenfassend durch die bis 2030 sehr eingeschränkte Verfügbarkeit, die zusätzlichen Anforderungen an die Fläche sowie die einhergehenden Vorbehalte erschwert.

Insgesamt zeigt sich, dass die Bereitstellung ausreichender und geeigneter Gewerbeflächen eine zentrale Herausforderung für die Entwicklung der Region darstellt. Hier ist vor allem eine enge Abstimmung zwischen den politischen Entscheidungsträgern auf kommunaler und auf Landesebene gefordert, die notwendigen Rahmenbedingungen zu schaffen, um den Strukturwandel und die Ansiedlung zukunftssträchtiger Unternehmen zu ermöglichen. Ein Inter-

viewpartner sagt dazu: „Es funktioniert alles nur mit einem vernünftigen Flächenkonzept. Das heißt, es braucht vernünftige Ausweisungen, Geschwindigkeit und Möglichkeiten bei dem Thema Schaffung neuer Gewerbegebiete.“

Zwischenfazit

In diesem Kapitel sind Literatur und Interviewergebnisse weitgehend übereinstimmend. Die Literatur beschreibt, dass die Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren regionale Ungleichgewichte verringern und die Infrastrukturentwicklung fördern könnte, was durch die Interviews bestätigt wird. Die Interviewten betonen die Attraktivität der Region für Fachkräfte und die Rolle der Kommunen bei der Schaffung einer Willkommenskultur, was zur Akzeptanz der Hyperscale-Rechenzentren beiträgt. Allerdings äußern sie auch Bedenken über den potenziellen Einfluss auf das Landschaftsbild und die aktuell noch ausbaufähige Kommunikation seitens der Unternehmen, was die Akzeptanz beeinträchtigen könnte. Beide Perspektiven erkennen die Vorteile für die regionale Entwicklung, weisen aber auch auf die Notwendigkeit einer optimierten Kommunikation und eines ausgewogenen Planungsansatzes hin.

6.3 Erfolgsindikatoren in Wirkebene Flächen und Akzeptanz an den Standorten

Indikator 18: Regionale Disparitäten

In Bezug auf regionale Disparitäten sind prinzipiell die Indikatoren von Interesse, die hinsichtlich der Wirkebenen 1-5 auf der Ebene der Kreise und kreisfreien Städte bzw. der Gemeinden gemessen werden. Allerdings wird es nur begrenzt möglich sein, auf Basis dieser Indikatoren einen „Erfolg“ der geplanten Ansiedlung hinsichtlich ihrer Wirkung auf regionale Disparitäten abzuleiten. Sollte in der näheren Zukunft etwa eine Bedeutungszunahme der Digitalwirtschaft im Rheinischen Revier festgestellt werden, wird davon auszugehen sein, dass diese durch die Ansiedlung des Rechenzentrums beeinflusst wurde. Weil jedoch viele weitere Faktoren für die Entstehung bzw. Prosperität eines entsprechenden Branchenschwerpunkts verantwortlich sind, wird man die Höhe des Einflusses nicht präzise quantifizieren können (vgl. Tab. 21).

Tabelle 21: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Regionale Disparitäten

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Regionale Disparitäten	Umfragen in der Bevölkerung zur Wahrnehmung der regionalen Disparitäten (neu entstandene Arbeitsplätze, Industrien, Infrastrukturen ect.) und statistische Analysen der Spillover-Effekte der Hyperscale-Rechenzentren in Standort- und Nachbarregionen	K

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 19: Flächen

Hinsichtlich der Auswirkungen der Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren auf regionale Planungsprozesse kann auf Indikatoren zugegriffen werden, die die Flächennutzung auf der Ebene der Kreise und kreisfreien Städte bzw. der

Gemeinden charakterisieren. Eng korrespondierende Sachverhalte, insbesondere die Entwicklung des Energieverbrauchs, werden im Rahmen der Wirkungsebene „Umwelt“ und „Infrastruktur“ betrachtet.

Die laufende Raumbeobachtung des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) stellt über den aktiven Online-Atlas INKAR (www.inkar.de) Daten zur Flächeninanspruchnahme bzw. zum Anteil der Freifläche zur Verfügung. Die Daten liegen als Zeitreihe mit jährlichen Angaben für den Zeitraum 2016-2022 vor. Aktuell (2022) liegt der Wert im Rheinischen Revier bei 1.596 m² Freifläche je 10.000 Einwohner.

Weitere Daten zur Siedlungs- und Freiraumentwicklung stellt der IÖR-Monitor des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung (IÖR) unter der Internetadresse <https://www.ioer-monitor.de/> zur Verfügung (s. Tab. 22). Indikatoren mit Bezug zu den möglichen Auswirkungen der Ansiedlung von Hyper-scale-Rechenzentren auf regionale Planungsprozesse können zudem auf Basis von Daten zur Bevölkerungs- und Unternehmensdichte auf der räumlichen Ebene der 1 km²-Raster erstellt werden, die beispielsweise vom Forschungsdatenzentrum Ruhr am RWI (RWI-GEO-GRID) vertrieben werden. Zum Gegenstand der Untersuchung auf Basis dieser Indikatoren gehört die Veränderung der Bevölkerungs- und Unternehmensdichte im näheren Umfeld des Rechenzentrumsstandorts.

Tabelle 22: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte zu Flächen

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Anteile der Siedlungs-, Wohn- und Freifläche	Online-Atlas INKAR (www.inkar.de)	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: 1.596 m ² Freifläche je 10.000 Einwohner (Stand: 2022)		
Veränderung der Bevölkerungs- und Unternehmensdichte	IÖR-Monitor des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung (IÖR) https://www.ioer-monitor.de/	S

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Rechenzentren imponieren als großflächige Gebäude. Daher beanspruchen sie bis dahin unversiegelte bzw. potenziell renaturierbare Fläche, je nachdem,

wo sie errichtet werden (s. Tab. 23). Ähnlich dem Energie- und Wasserverbrauch hat Flächenverbrauch lokale und globale ökologische Auswirkungen. Das EnEfG fordert in Anlage 3, Abs. 1 auch die Angabe zur Gesamtgröße der Gebäudefläche. Diese wird im Leitfaden (BAFA 2024) aber als Nutzfläche des jeweiligen Rechenzentrums definiert (S. 8). Daraus lässt sich nicht eindeutig die durch das RZ versiegelte Fläche berechnen, weil Geschossflächen nicht identisch und funktionell gleichmäßig verteilt sein müssen. Informationen zu versiegelter Fläche lassen sich aus dem Kataster herauslesen. Einfacher ist es jedoch, mit Hilfe von GIS-Software und vorliegenden Luftbildern die durch Rechenzentren bebaute Flächen und deren mögliche Veränderung über die Zeit auszulesen. Allerdings wäre hierbei auch die ökologische Resilienz der bebauten Böden zu differenzieren. Als mögliche Differenzierungskennzahl könnte hierbei die Variable „Raumwiderstand“ verwendet werden. Es handelt sich dabei um den Grad der Vereinbarkeit des Projekts mit den Naturraumpotenzialen oder Qualitätsminderung der Umweltgüter, die im betroffenen Raum bei Beanspruchung durch das Vorhaben zu erwarten ist. Daten bzw. Karten zu den unterschiedlichen Raumwiderstandsklassen hierzu liegen flächendeckend vor und werden für die Flächennutzungsplanung oder für Umweltverträglichkeitsprüfungen verwendet.

Tabelle 23: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte zur Flächenversiegelung

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Flächenversiegelung durch RZ	Kataster, Luftbilder, GIS, Bezirksregierung	S ³³
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: k.A.		
Versiegelte Grundfläche durch Rechenzentren nach Raumwiderstandsklassen.	Die Angaben müssen erhoben bzw. aus mehreren Datenangaben geschätzt werden (s.o.)	S

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

³³ Die gesetzliche Vorschrift ergibt sich indirekt, da ein Rechenzentrum Flächennutzung darstellt und die Investition mit dem Flächennutzungsplan korrespondieren muss.

Indikator 20: Akzeptanz verschiedener Zielgruppen

Mittels Umfragen in verschiedenen Sektoren ließe sich die Stimmung zur Akzeptanz erfassen (s. Tab. 24). Eine anschließende Ableitung von Maßnahmen und Schaffung pointierter Zugänge zur Verbesserung der Situation wären somit besser möglich. Daten dieser Art können in Fokusgruppen, Telefoninterviews oder Umfragen gewonnen werden, digital oder analog.

Tabelle 24: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Akzeptanz

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Akzeptanz	Umfrage in verschiedenen Sektoren	K

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 21: Informationsverfügbarkeit

Es kann helfen, bei großen und weitreichenden Veränderungen, die die Bevölkerung betreffen werden, entsprechend zu informieren. Das gilt nicht für jeden einzelnen Schritt und v.a. für größere Vorhaben. Eine selektive Verbreitung von Informationen – auch von Seiten des jeweiligen Unternehmens – könnte ggf. zu Verlust von Vertrauen und damit Akzeptanz führen. Der Kenntnisstand über geplante Maßnahmen kann in Umfragen gut abgefragt werden (s. Tab. 25).

Tabelle 25: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Informationsverfügbarkeit

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Informationsverfügbarkeit	Umfrage in der Bevölkerung und relevanten weiteren Zielgruppen (u.a. Unternehmen verschiedener Branchen) hinsichtlich Informationsstands und Grad der Akzeptanz	K

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 22: Stand des Stakeholder-Involvements

Förder- und Kommunikationsprogramme können bei der Integration unterschiedlicher Akteur:innen helfen. Potenzielle ökonomische Synergieeffekte und die Perspektive regionalen Fortschritts sind nur in Kooperation möglich. Die Beteiligung möglichst vieler Stakeholder ist für den Erfolg relevant. Die Zugehörigkeit zu verschiedenen Stakeholdergruppen kann ebenfalls gut in regelmäßigen Zeiträumen abgefragt und verglichen werden (s. Tab. 26).

Tabelle 26: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Stakeholder-Involvement

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Stand des Stakeholder-Involvements	Umfrage	K

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

6.4 Handlungsempfehlungen zur Wirkebene Flächen und Akzeptanz an den Standorten

Handlungsempfehlung 14: Kommunale Zusammenarbeit bei der Flächenentwicklung fördern

Die interkommunale Kooperation ist entscheidend, um Bedarfe an neue Gewerbeflächen im Rheinischen Revier vor dem Hintergrund der dynamischen Entwicklungen zu erkennen und abzustimmen. Hier braucht es Koordinierungsinstrumente, die im Rahmen regulativer Vorgaben eine höchstmögliche Flexibilität schaffen. Ein positives Beispiel ist der durch das MWIKE gesteuerte Austausch im Rahmen der Ansiedlung von Microsoft.

Handlungsempfehlung 15: Fachkräfte gewinnen durch gelebte Willkommenskultur

Um sich als attraktiven Standort für Fachkräfte aus dem In- und Ausland zu positionieren, ist eine aktive Förderung der regionalen Identität und eine gezielte Willkommenskultur für das Rheinische Revier entscheidend. Dazu gehört das Schaffen von Netzwerken und Treffpunkten, an denen Einheimische, Zugewogene und Pendler:innen aus den umliegenden Großstädten in Austausch treten können. Informations- und Service-Angebote in mehreren Sprachen, kulturelle Veranstaltungen sowie Programme zur Einführung in das regionale Leben und in die Geschichte des Rheinischen Reviers tragen dazu bei, dass dieses nicht nur als Wirtschaftsstandort, sondern auch als lebenswerte Region wahrgenommen wird.

Handlungsempfehlung 16: Erfolgreiche Projekte durch breite Beteiligung

Förder- und Kommunikationsprogramme können bei der Integration unterschiedlicher Akteur:innen helfen. Potenzielle ökonomische Synergieeffekte und die Perspektive regionalen Fortschritts sind nur in Kooperation möglich. Die Beteiligung möglichst vieler Stakeholder ist für den Erfolg relevant, wie beispielsweise der vom MWIKE gesteuerte Ansiedlungsfall Microsoft gezeigt hat. Die Zugehörigkeit zu verschiedenen Stakeholdergruppen kann ebenfalls gut abgefragt werden.

Handlungsempfehlung 17: Ein neues Selbstbild für das Rheinische Revier

Regionale Identitäten fördern Zusammenhalt. Transformative Prozesse wie der vorliegende können diese Identitäten aufbrechen und Narrative obsolet machen. Die Schaffung eines neuen Narrativs, die Anregung einer neuen Identität und die Unterstützung bei deren Verständnis ist zentral. Eine deutliche Kommunikation von Zielbildern und Zukunftsszenarien kann hierbei helfen. Bürgerzentrierte Kommunikation und klare Handlungsabsichten können Teil davon sein. Im Geiste eines erfolgreichen Change-Managements muss eine Begeisterung und Offenheit für Technologiewandel hergestellt werden – eine bloße Akzeptanz könnte langfristig nicht genug sein. Es ist sinnvoll, die Erzählung einer Erfolgsregion und wirtschaftlich hoch relevanten lokalen Struktur auf die neuen Technologien zu beziehen.

Handlungsempfehlung 18: Partizipation als Schlüssel zum Erfolg

Die Integration aller Beteiligten in das Projekt ist entscheidend. So bieten sich zu geeigneten Zeitpunkten beispielsweise Informationsveranstaltungen wie Stakeholderdialoge und Bürger:innendialoge an. Eine enge Zusammenarbeit mit den beteiligten Unternehmen ist wichtig, um Planungssicherheit zu schaffen. Dabei kann auf die Erfahrungen aus dem Beteiligungsprozess zum Wirtschafts- und Strukturprogramm zurückgegriffen werden.

Fazit inkl. Indikatoren im Überblick

Die Untersuchungen zeigen, dass die geplanten Investitionen von Microsoft in Hyperscale-Rechenzentren in der Region substantielle wirtschaftliche und infrastrukturelle Effekte entfalten und damit die Lebenswirklichkeit der Menschen im Rheinischen Revier prägen können. Im Zentrum stehen die Stärkung der regionalen (IT-)Infrastruktur, der Ausbau der Wertschöpfung und Innovationskraft sowie die Unterstützung des Strukturwandels hin zu einer klimaneutralen Digital- und -Industrieregion.

Indikatorik und zukünftiges Monitoring

Um die Auswirkungen der geplanten Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren auf die wirtschaftliche und nachhaltige Entwicklung des Rheinischen Reviers nachvollziehen zu können, wird ein Monitoring auf Basis geeigneter Indikatoren erforderlich sein. Diese Indikatoren können teilweise aus vorhandenen regionalstatistischen Datenquellen gewonnen werden, erfordern jedoch zum Teil auch Sonderauswertungen sowie eigene Erhebungen bei Hyperscale-Rechenzentren, Digitalparks, Kommunen und gegebenenfalls beteiligten Unternehmen. In Hinblick auf die selbst zu erhebenden Daten erscheint ein zwei-Jahres-Rhythmus als ausreichend.

Erfolgsindikatoren im Zusammenhang mit den Wirkungsebenen lassen sich in drei Kategorien unterteilen: Kontextindikatoren, Strukturindikatoren und Detailindikatoren. Kontextindikatoren spiegeln die regionalökonomischen Rahmenbedingungen wider. Sie zeigen jedoch erst langfristig Effekte durch die geplanten Hyperscaler-Ansiedlungen und basieren auf regelmäßig aktualisierten regionalstatistischen Daten. Strukturindikatoren messen spezifischere Größen auf Kreisebene, die enger mit den Hyperscale-Rechenzentren verbunden sind, wie etwa die Zahl der Hightech-Gründungen. Diese Daten müssen oft durch kostenpflichtige Sonderauswertungen bezogen werden. Detailindikatoren erfassen kurzfristige und direkte Auswirkungen der geplanten Hyperscale-Rechenzentren auf das Rheinische Revier und erfordern meist eigene Datenerhebungen. Als Grundlage zur Messung der Nachhaltigkeit von Hyperscale-Rechenzentren lassen sich die Indikatoren zusätzlich danach differenzieren, ob es sich um eine gesetzlich vorgeschriebene Kennzahl oder um weitere durch das Unternehmen selbst angestrebte Ziele handelt.

Die hier nochmals genannten Indikatoren, an dieser Stelle dann als Gesamtüberblick der Indikatoren, bilden die Basis für ein zukünftiges Monitoring.

Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Wertschöpfung, Innovationen und Gründungen

Die angekündigten Investitionen von Microsoft und mögliche weitere Ansiedlungen von Rechenzentren können nachhaltige Wertschöpfungsimpulse auslösen, die weit über die Region hinausreichen. Die Nähe zu den geplanten Hyperscale-Rechenzentren bietet für datenintensive Branchen wie KI, IoT und Cloud-Computing Wettbewerbsvorteile durch geringe Latenzzeiten und schnelle Datenverarbeitung. Dabei ist es wichtig, die Attraktivität für Folgeansiedlungen in der Region durch zusätzliche Maßnahmen zu steigern, die über die Nähe zu Hyperscale-Rechenzentren hinaus gehen. Innovationskraft und Gründungsaktivitäten könnten durch gezielte Vernetzung von Forschungseinrichtungen und Unternehmen gestärkt werden. Allerdings ist eine strategische Unterstützung für die Skalierung von Start-ups und die Ansiedlung innovativer Firmen erforderlich, um das volle Potenzial der Hyperscale-Rechenzentren auszuschöpfen.

Indikator 1: Umsätze, Wertschöpfung und Produktivität

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Bruttowertschöpfung (in 1.000 Euro):	www.regionalstatistik.de ;	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier (in 1.000 Euro): 87.667.575 (Stand: 2022)		
Produktivität (Bruttowertschöpfung je Erwerbstätigen, in Euro):	www.inkar.de ;	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier (in Euro): 69.952 (Stand: 2021)		
Anzahl der Unternehmen, die Vorleistungen ³⁴ für die geplanten Hyperscale-Rechenzentren erbringen; Anzahl von Unternehmen im Digitalpark (jeweils insgesamt, nach Wirtschaftszweigen)	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus beim Betreiber der Rechenzentren und der Digitalparks.	D
Umsätze der Hyperscale-Rechenzentren und der Digitalparks	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus beim Betreiber der Rechenzentren und der Digitalparks.	D

Quelle: eigene Darstellung: Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

³⁴ Der Begriff Vorleistung meint den Wert der Güter, welche die die Rechenzentren betreibenden Unternehmen von anderen Unternehmen kaufen,

Indikator 2: Hightech-Gründungen

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Anzahl der Unternehmensgründungen:	www.regionalstatistik.de	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: 7.555 (Stand: 2021)		
Gründungsintensität	www.regionalstatistik.de ; Stand 2021	S
Sektorverteilung der Unternehmensneugründungen und neu angesiedelten Unternehmen (Neu gegründete Technologie- und wissensorientierte Unternehmen insgesamt, nach Branchen – forschungsintensive Industrie, Software, sonstige technologieorientierte Dienstleistungen, sonstige wissensorientierte Dienstleistungen)	ZEW, Sonderauswertung des Gründungspanels	S
Anzahl der IT-Neugründungen pro Tsd. Betriebe	ZEW (Sonderauswertung), IAB	S
Anzahl der neu angesiedelten Unternehmen in einem Umkreis von 2 bzw. 30 km nach Wirtschaftszweigen; neu geschaffene Unternehmen im IKT-Sektor, in Bereichen, in denen eine geringe Latenzzeit wichtig ist (siehe Tabelle 3);	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei den Betreibern des Digitalparks und den beteiligten Kommunen.	D
Unternehmensneugründungen im Digitalpark insgesamt, nach Wirtschaftszweigen, technologie- und wissensorientierte Gründungen	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei den Digitalparks und den beteiligten Kommunen.	D

Quelle: eigene Darstellung: Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 3: Unternehmensansiedlungen und Unternehmensstruktur

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Anzahl der Betriebe der IT-Branche pro Tsd. Beschäftigte	VGR der Länder (Daten der Arbeitsagentur)	S
Anzahl der neu angesiedelten Unternehmen nach Wirtschaftszweigen; neu geschaffene Unternehmen im IKT-Sektor, in Bereichen, in denen eine geringe Latenzzeit wichtig ist (insgesamt; innerhalb – außerhalb der Digitalparks). Anzahl der in diesen Unternehmen neu geschaffenen Arbeitsplätze.	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei den Betreibern des Digitalparks und den beteiligten Kommunen.	D

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 4: Patentanmeldungen

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Patentintensität (Patentanmeldungen je 10.000 Einwohner)	ZEW, Sonderauswertung der Patentstatistik	S
Patentanmeldungen nach Technologiefeldern (Felder, die besonders vom Hyperscaler profitieren)	ZEW, Sonderauswertung der Patentstatistik	S
Patente im Rheinischen Revier, nach Technologiefeldern (35 WIPO-Technologiefelder); Patentanmeldungen von Unternehmen, Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Privaten	ZEW Patentdaten (Sonderauswertung)	S
Anzahl der neu angemeldeten Patente aus den Digitalparks heraus	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei den Betreibern des Digitalparks.	D

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 5: FuE-Aufwendungen

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Interne FuE-Aufwendungen, FuE-Intensität	Sonderauswertung des SV Wissenschaftsstatistik	S
FuE-Aufwendungen von Unternehmen im Digitalpark	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei den Betreibern des Digitalparks und den Unternehmen im Digitalpark.	D

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Beschäftigung und Löhne

Rechenzentren schaffen direkte und indirekte Beschäftigungsmöglichkeiten, insbesondere im IT- und Baubereich. Hinzu kommen induzierte Effekte durch gesteigerte Nachfrage in anderen Sektoren. Allerdings zeigt die Untersuchung, dass die Fachkräftesicherung eine zentrale Herausforderung bleibt. Der zunehmende Bedarf an hochqualifizierten IT-Spezialisten erfordert gezielte Bildungs- und Weiterbildungsprogramme sowie eine stärkere Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Hochschulen.

Indikator 6: Beschäftigung und Löhne

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (SVB)	www.regionalstatistik.de ;	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier (in 1.000 Euro): 869.376 (Stand: 2023)		
Verfügbares Einkommen je Einwohner:	www.inkar.de ;	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier (in Euro): 23.640 (Stand: 2021)		
Anteil der Beschäftigten im Rheinischen Revier in Telekommunikation, IT- und Informationsdienstleistungen an allen SV-Beschäftigten	Sonderauswertung der Bundesagentur für Arbeit, muss beauftragt werden	S
Neu geschaffene Arbeitsplätze nach Qualifikationsniveau im Rheinischen Revier; neu geschaffene Arbeitsplätze in IKT-Sektoren im Rheinischen Revier	Sonderauswertung der Bundesagentur für Arbeit, muss beauftragt werden	S
Beschäftigte in Rechenzentren des Rheinischen Reviers sowie in Bereichen oder Unternehmen, die Vorleistungen für die Rechenzentren erbringen, sowie in Gewerbe- bzw. Digitalparks, die in Folge der Rechenzentren-Ansiedlung entstehen werden	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei den Betreibern der Rechenzentren und der Digitalparks sowie den beteiligten Unternehmen.	D

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 7: Arbeitsmarkt

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Arbeitslosenquote (in %)	www.regionalstatistik.de	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: 6,7 (Stand: 2023)		
Langzeitarbeitslose (in % aller Arbeitslosen)	www.inkar.de	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: 43, 2 (Stand: 2022)		
Neu geschaffene Arbeitsplätze nach Qualifikationsniveau; neu geschaffene Arbeitsplätze in IKT-Sektoren	Sonderauswertung der Bundesagentur für Arbeit, muss beauftragt werden	S

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Infrastruktur und digitales Ökosystem

Die (digitale) Infrastruktur des Rheinischen Reviers wird durch die geplanten Hyperscale-Rechenzentren gestärkt. Sie bilden das Rückgrat für ein digitales Ökosystem, das durch leistungsfähige Glasfasernetze, stabile Energieversorgung und nachhaltige Wärmenutzung ergänzt werden muss. Die Untersuchung zeigt, dass bereits eine solide Basis – insbesondere bei der Glasfaserabdeckung – vorhanden ist. Ausbaupotenziale bestehen etwa im Bereich nachhaltiger Energiequellen und bei Wärmenetzen. Die geplanten Digitalparks bieten eine Plattform, um das Potenzial der Hyperscale-Rechenzentren durch Unternehmensansiedlungen und Synergieeffekte zu maximieren. Bei allen Überlegungen müssen Aspekte der Cybersicherheit mitgedacht werden.

Indikator 8: Investitionen der Unternehmen

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Investitionen in der Industrie	Statistische Ämter des Bundes und der Länder (www.regionalstatistik.de).	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier (in 1.000 Euro je Beschäftigten): 9,0 (Stand: 2021)		
Bruttoanlageinvestitionen der Unternehmen in Informations- und Kommunikationstechnologien (WZ J)	Statistisches Bundesamt, Sonderauswertung auf Kreisebene	S
IT-Investitionen von Unternehmen im Zusammenhang mit den geplanten Hyperscale-Rechenzentren, Digitalparks	Erhebung bei den beteiligten Unternehmen, Vorschlag ist ein Zweijahres-Rhythmus.	D
IT-Investitionen der öffentlichen Hand im Rheinischen Revier	Abfrage bei Kommunen	D

Quelle: eigene Darstellung; Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator

Indikator 9: IT-Netzwerkinfrastruktur

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Anteil der Haushalte mit Breitbandverfügbarkeit von mindestens 100/1.000 Mbit/s.	Breitbandatlas des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/Breitbandatlas/start.html); www.inkar.de	S
Anteil der Glasfaseranschlüsse in % der Haushalte	https://www.gigabit.nrw.de/breitbandausbau-in-nrw/glasfaseratlas.html	S
Aktueller Wert für Glasfaser-Anschlüsse in NRW (Juni 2024): 37,2,0%		
Größe der Internetknoten innerhalb des Bundeslandes/eines Umkreises	Relevant ist nach aktuellen Informationen der Internetknoten in Düsseldorf. Die Größe sollte bei den entsprechenden Anbietern erhoben werden, also bspw. bei DE-CIX und ECIX (Megaport).	S
Rechenzentrumskapazitäten im Rheinischen Revier / der Region Köln/Düsseldorf über Kapazität in MW	Erhebung bei den Rechenzentrationbetreibern.	D
Die Rechenzentrumskapazitäten in der Region Köln/Düsseldorf lagen im Dezember 2024 bei 105 MW (Müller 2024).		

Quelle: eigene Darstellung; Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator

Indikator 10: Strominfrastruktur

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Stromverbrauch in KWh/a	Energieatlas NRW. https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarten/rheinisches_revier	S
Aktueller Wert für 2023: 18.092 GWh		
Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch	Energieatlas NRW. https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarten/rheinisches_revier	S
Aktueller Wert für 2023: 34,6%		
Anteil erneuerbarer Energien am Verbrauch der Hyperscale-Infrastruktur (Hyperscaler und Digitalparks)	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus beim Betreiber des Rechenzentrums und des Digitalparks.	D

Quelle: eigene Darstellung; Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator

Indikator 11: Wärmeinfrastruktur

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Investitionen in den Ausbau der Wärmenetze	Abfrage im zwei-Jahres-Rhythmus bei Kommunen	D
Genutzte industrielle Abwärme	Energieatlas NRW. https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarten/rheinisches_revier	S
Aktueller Wert der genutzten industriellen Abwärme im Rheinischen Revier (2018): 1055 GWh/a		
Genutzte Abwärme von den geplanten Hyperscalern in GWh	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus bei Betreibern des Rechenzentrums.	D

Quelle: eigene Darstellung; Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator

Klima und Ressourcenbedarf

Die Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren birgt Herausforderungen im Bereich der Nachhaltigkeit, insbesondere in Bezug auf den Energiebedarf. Positiv hervorzuheben ist das Potenzial zur Abwärmenutzung, das innovative Ansätze für klimafreundliche Energieversorgung eröffnet. Die Region muss jedoch sicherstellen, dass der Energiebedarf von Hyperscale-Rechenzentren durch erneuerbare Quellen gedeckt wird. Die geplante Integration von Abwärmenetzen in städtische und gewerbliche Gebiete ist ein vielversprechender Schritt, der allerdings eine präzise Planung und zügige Umsetzung erfordert.

Indikator 12: Energieverbrauchseffektivität nach DIN EN 50600-4-2

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Energieverbrauchseffektivität (PUE):	Effizienzregister beim BAFA	S
Deutschland-Wert ca 1,6. ³⁵ Effektive große Rechenzentren: Wert liegt unter 1,2 Aktueller Wert für das Rheinische Revier k.A.		
Summe aus den PUE-Werten aller lokaler RZ jew. multipliziert mit ihrer Größengewichtung und dann dividiert durch die Anzahl der RZ.	Die Daten sollen nach Aussage der BAFA in Kürze öffentlich zugänglich sein.	S

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

³⁵ <https://www.datacenter-insider.de/kennzeichengutersensorenimrechenzentrum-a-f41d2926c620a35b260b448123ecd47e/>, Abruf vom 07.04.2025.

Indikator 13: Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtstromverbrauch nach DIN EN 50600-4-3

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Stromverbrauch in KWh/a	Energieatlas NRW. https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarten/rheinisches_revier	S
Aktueller Wert für 2023: 18.092 GWh		
Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch	Energieatlas NRW. https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarten/rheinisches_revier	S
Aktueller Wert für 2023: 34,6%		
Anteil erneuerbarer Energien am Verbrauch der Hyperscale-Infrastruktur (Hyperscaler und Digitalparks)	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus beim Betreiber des Rechenzentrums und des Digitalparks.	D

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 14: Wirkungsgrad der Kühlung (CER) nach DIN EN 50600-4-7

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Wirkungsgrad der Kühlung (CER)	Effizienzregister beim BAFA	S
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: k.A.		
Die Kennzahl CER beschreibt das Verhältnis der innerhalb eines Jahres (12 Monate) vom Kühlsystem (KS) des Rechenzentrums abgeführte Wärmemenge zur dazu eingesetzten elektrischen Energie des gesamten Kühlsystems. Für ein regionales Monitoring wäre ein entsprechend gewogener Mittelwert der CER-Wert aller lokalen RZ zu bilden.	Die Daten sollen nach Aussage der BAFA in Kürze öffentlich zugänglich sein.	S

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 15: Effizienzkennzahl der Wassernutzung (WUE) nach DIN EN 50600-9

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Effizienzkennzahl der Wassernutzung (WUE)	Effizienzregister beim BAFA	S
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: k.A.		
Water Usage Effectiveness bemisst die Effizienz der Wassernutzung als Quotient der Menge des Wasserverbrauchs und des Energieverbrauchs der IT eines RZ innerhalb eines Jahres. Für ein regionales Monitoring wäre die Summe des Wasserverbrauchs aller lokalen RZ durch die Summe des IT-Energieverbrauchs aller lokalen RZ zu dividieren.	Die Daten sollen nach Aussage der BAFA in Kürze öffentlich zugänglich sein.	S

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 16: Abwärme

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Investitionen in den Ausbau der Wärmenetze	Abfrage im zwei-Jahres-Rhythmus bei Kommunen	D
Genutzte industrielle Abwärme	Energieatlas NRW. https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarten/rheinisches_revier	S
Aktueller Wert der genutzten industriellen Abwärme im Rheinischen Revier (2018): 1055 GWh/a		
Genutzte Abwärme von den geplanten Hyperscalern in GWh	Erhebung im Zwei-Jahres-Rhythmus beim Betreiber des Rechenzentrums.	D

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 17: Freiwillig vom Unternehmen angestrebte Kompensation (hier das Beispiel „Wasserauffüllung“)

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Wasserauffüllung	Abfrage bei Betreibern der Rechenzentren	D
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: k.A		
Ideell summiertes Reservevolumen in Mio m ³	Abfrage bei Betreibern der Rechenzentren	D

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Regionalplanung und gesellschaftliche Akzeptanz

Die geplanten Hyperscale-Rechenzentren können als Katalysator für den Strukturwandel im Rheinischen Revier dienen. Sie erhöhen die Sichtbarkeit der Region als Standort für digitale Innovation und nachhaltige Entwicklung. Die gesellschaftliche Akzeptanz hängt jedoch davon ab, wie die Kommunen und das Land die Bevölkerung in die Planung einbeziehen und transparente Kommunikationsstrategien umsetzen. Ein Schwerpunkt liegt auf der Schaffung eines ausgeglichenen Verhältnisses zwischen wirtschaftlicher Entwicklung und Lebensqualität, insbesondere durch nachhaltige Flächennutzung und effiziente Verkehrsplanung.

Indikator 18: Regionale Disparitäten

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Regionale Disparitäten	Umfragen in der Bevölkerung zur Wahrnehmung der regionalen Disparitäten (neu entstandene Arbeitsplätze, Industrien, Infrastrukturen ect.) und statistische Analysen der Spillover-Effekte der Hyperscaler in Standort- und Nachbarregionen	K

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 19: Flächen

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Anteile der Siedlungs-, Wohn- und Freifläche	Online-Atlas INKAR (www.inkar.de)	K
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: 1.596 m ² Freifläche je 10.000 Einwohner (Stand: 2022)		
Veränderung der Bevölkerungs- und Unternehmensdichte	IÖR-Monitor des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung (IÖR) https://www.ioer-monitor.de/	S
Flächenversiegelung durch Rechenzentren	Kataster, Luftbilder, GIS, Bezirksregierung	S ³⁶
Aktueller Wert für das Rheinische Revier: k.A.		
Versiegelte Grundfläche durch Rechenzentren nach Raumwiderstandsklassen.	Die Angaben müssen erhoben bzw. aus mehreren Datenangaben geschätzt werden (s.o.)	S

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 20: Akzeptanz verschiedener Zielgruppen

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Akzeptanz	Umfrage in verschiedenen Sektoren	K

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

³⁶ Die gesetzliche Vorschrift ergibt sich indirekt, da ein Rechenzentrum Flächennutzung darstellt und die Investition mit dem Flächennutzungsplan korrespondieren muss.

Indikator 21: Informationsverfügbarkeit

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Informationsverfügbarkeit	Umfrage in der Bevölkerung und relevanten weiteren Zielgruppen (u.a. Unternehmen verschiedener Branchen) hinsichtlich Informationsstands und Grad der Akzeptanz	K

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Indikator 22: Stakeholder-Involvement

Indikator	Quelle/Verfügbarkeit	Art des Indikators
Stand des Stakeholder-Involvements	Umfrage	K

Quelle: eigene Darstellung. Siehe Kapitel 2.3 für eine detaillierte Erläuterung der Indikatorik. K steht für Kontextindikator, D für Detailindikator und S für Strukturindikator.

Schlussfolgerung

Die Ansiedlung von Hyperscale-Rechenzentren im Rheinischen Revier eröffnet enorme Chancen für die wirtschaftliche, technologische und ökologische Transformation der Region. Um die Potenziale voll auszuschöpfen, ist eine koordinierte Strategie erforderlich, die auf den fünf Wirkebenen aufbaut. Die enge Zusammenarbeit zwischen Landesregierung, Kommunen und Unternehmen sollte weiterhin fortgeführt werden. Dabei ist besonders eine aktive Einbindung der Bevölkerung entscheidend, um den Wandel nachhaltig und inklusiv zu gestalten. Das Rheinische Revier hat die Möglichkeit, sich zu einer prosperierenden und nachhaltigen Digitalregion zu transformieren – ein Ziel, das mit konsequentem Handeln erreicht werden kann.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollen helfen, Chancen und Herausforderungen der Rechenzentrumsansiedlung frühzeitig zu erkennen und gezielt zu

steuern. Die Untersuchung bietet keine belastbare Prognose, sondern ein exploratives Basisszenario³⁷, das als Ausgangspunkt für ein Wirkungsmonitoring dienen kann. Basierend auf den hier aufgeführten Indikatoren ist ein Monitoring der Entwicklung der nachhaltigen Digitalregion Rheinisches Revier möglich. Darauf aufsetzend können in zukünftigen Arbeiten konkrete Szenarien und Effekte quantifiziert und prognostiziert werden.

³⁷ Ein Basisszenario ist eine Vorstellung davon, wie die Zukunft aussehen könnte, wenn bestimmte Dinge so laufen, wie man es heute annimmt. Es ist keine Vorhersage, sondern eher ein mögliches Bild der Zukunft, das hilft, sich besser auf verschiedene Entwicklungen vorzubereiten. Dabei geht man häufig „explorativ“ vor. In anderen Worten, dass man ergebnisoffen an eine Fragestellung herangeht, um mögliche Entwicklungen zu erkunden, ohne sich vorab auf eine bestimmte Richtung festzulegen.

Interviewleitfaden

Im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen erarbeiten wir, VDI Technologiezentrum GmbH, RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung und Planung & Forschung (PRAC) eine Studie zu den Folgeeffekten der Ansiedlung von Hyper-scale-Rechenzentren im Rheinischen Revier. Wir sind an Ihren Einschätzungen zu den Auswirkungen für das Rheinische Revier interessiert. Die folgenden Fragen dienen der Strukturierung des Gesprächs. Gerne greifen wir auch weitere Aspekte auf, die Ihnen wichtig sind.

Wertschöpfungseffekte (Cluster Digitalwirtschaft, Vernetzung, Neuan-siedlung)

a) Bestandsstruktur

- Was wissen Sie zu den Hyperscalern? Inwieweit betrifft die Ansiedlung Sie?
- Beschreiben Sie die Digitalwirtschaft in der Region.
- Wie nutzt die Region aus Ihrer Sicht die Ankündigung der Ansiedlung von Hyperscaler?
- Wie richten sich die Bestandsunternehmen auf die anstehende Ansiedlung aus?
- Für wen ist das ökonomisch relevant?
- Ist die Region ausreichend gut aufgestellt für eine Digitalwirtschaft? Wenn ja, wie?
- Und wie kann der Ausbau zur Digitalisierung gelingen?
- Wie ist das vorhandenes Fachkräftepotenzial darauf vorbereitet?
- Welche Rolle spielt die Digitalisierung für Nachhaltigkeitsthemen?
- Was für Impulse im Bereich Nachhaltigkeit erwarten Sie?

b) Neue Wertschöpfung und neue Strukturen durch die Ansiedlung

- Wie wird sich Ihrer Meinung nach die Wertschöpfung in der Region verändern?
- Inwiefern gehen Sie davon aus, dass neue oder weitere Infrastrukturen entstehen werden?
- Was für Anreize gibt es oder erwarten Sie, um die Versorgung mit erneuerbarer Energie auszubauen und der Region zuzuführen?
- Inwiefern wird die Ansiedlung von Microsoft einen Effekt auf den Strukturwandel im Rheinischen Revier haben?

c) Neue Unternehmen: Ansiedlung und Sichtbarkeit der Region

- Welche Auswirkungen wird die Ansiedlung der Hyperscaler auf die Sichtbarkeit der Region haben?
- Erwarten Sie Folge-Ansiedlungen weiterer Unternehmen?
- Was ist Ihre Einschätzung zur Politik der Digitalwirtschaft in der Region?

Arbeitsmarkt und Fachkräftebedarf

- Welche Auswirkungen hat aus Ihrer Sicht die Entwicklung einer Digitalregion auf die regionale Berufswelt?
- Wird es unterschiedliche Effekte auf nicht-akademische und akademischen Berufe geben?
- Wie steht es um die Fachkräftegewinnung für die Digitalwirtschaft in der Region?
- Wo glauben Sie werden diese Fachkräfte leben?
- Welche kommunalen Angebote sind aus Ihrer Sicht für Fachkräfte wichtig?
- Wie sieht es mit den Kapazitäten für Fortbildungs- oder Umschulungsmaßnahmen aus?
- Welche Hürden und Gefahren sehen Sie bzgl. des Themas Fachkräfte in Bezug auf den Wandel im Rheinischen Revier?

Ausblick

- Welche Vorstellungen, Hinweise, Handlungsempfehlungen haben Sie, um die Microsoft-Ansiedlung bestmöglich in der Region nutzen zu können?
- Haben Sie darüber hinaus noch Anmerkungen, die aus Ihrer Sicht wichtig erscheinen und die bislang noch nicht zur Sprache kamen?

Übersicht der befragten Expert:innen

Sektor/Fokus	Organisation	Funktion	Ort	Name
Kommunen				
Strukturwandel	Rhein-Kreis Neuss	Kreisdirektor Dezernat I/II u.a. für Soziales, Strukturwandel, Planung und Sport	Grevenbroich	Dirk Brügge
Strukturwandel	Rhein-Kreis-Erft	Amt für Strukturwandel, Fördermittelmanagement und Digitale Ökosysteme	Bergheim	Torsten Heerz
Strukturwandel	Kreis Euskirchen	Stabsstelle Struktur- u. Wirtschaftsförderung (Stabsstellenleitung)	Euskirchen	Iris Poth
Strukturwandel	Stadt Bergheim	Fachbereich 9 – Strukturwandel und Nachhaltigkeit Fachbereichsleitung	Bergheim	Dr. Ruth Laengner
Strukturwandel	Stadt Grevenbroich	Stadtentwicklung und Strukturwandel - 61.3	Grevenbroich	Christian Eßer
Strukturwandel	Stadt Bedburg	Fachdienst 5 – Stadtplanung, Bauordnung, Wirtschaftsförderung	Bedburg	/ Torsten Stamm
Forschung & Bildung				
Forschung & Bildung	Forschungszentrum Jülich	Head of Jülich Supercomputing Centre	Jülich	Prof. Dr. Dr. Thomas Lippert
Verbände und Kammern				
Strukturwandel	Industrie- und Handelskammer Aachen (IHK Aachen)	IHK-Innovationsberater	Aachen	Markus Wolff
	Agentur für Arbeit Brühl	Projektleiter Rheinisches Revier	Brühl	Timothy Fitschen
Strukturwandel	IHK Mittlerer Niederrhein	Industrie Klimaschutz und Mobilität	Krefeld	Nicolai Dwinger

Sektor/Fokus	Organisation	Funktion	Ort	Name
Energie und Umwelt	Industrie- und Handelskammer Köln	Rheinisches Revier, Energie und Umwelt	Köln	Christian Vossler
Handwerk	Handwerkskammer	Hauptgeschäftsführer von HANDWERK.NRW	Düsseldorf	Prof. Dr. Hans Jörg Hennecke
Telekommunikation- und Netzbetreiber				
Internet-Knoten	eco – Verband der Internetwirtschaft e.V.		Köln	Andreas Weiss, Roland Broch und Hauke Timmermann
Internet-Knoten	BCIX	Vorstand	Berlin	Christian Dieckhoff
Infrastruktur, Netzwerk	NetAachen GmbH	Head of Public Affairs	Aachen	Dr. Eva-Maria Ritter
Wirtschaftsunternehmen				
Spezialpapierhersteller	SCHOELLERSHAMMER GmbH	Referentin Management-Systeme, Nachhaltigkeit und Digitalisierung	Düren	Dr. Tobias Boland
Aluminium	Speira GmbH	Geschäftsführung	Grevenbroich	Volker Backs
Online-Versandhändler	Hintzen Logistik GmbH	Geschäftsführung	Bergheim	Heinz Hintzen
Feinchemikalien	CABB GMBH	Geschäftsführung	Hürth - Chemiepark Knapsack	Wolfgang Schick
Waschmittel und Drogerie	dalli group	Leiter der IT	Düren	Christian Trapp
Branchenverband der deutschen Informations- und Telekommunikationsbranche	Bitkom e.V.	Bereichsleiterin Landespolitik & Digitale Gesellschaft	Berlin	Kilian Wagner
Gesellschaft zur Außenwirtschaftsförderung	NRW.Global Business	Bereichsleitung Rheinisches Revier		Jochen Pollotzek

Glossar

Digitalwirtschaft umfasst alle wirtschaftlichen Aktivitäten, die auf digitalen Technologien basieren. Dazu gehören Unternehmen, die digitale Produkte und Dienstleistungen entwickeln, nutzen oder anbieten, wie Software, Apps, digitale Plattformen und Online-Dienste. Die Digitalwirtschaft spielt eine zentrale Rolle in der modernen Wirtschaft und treibt Innovation und Wachstum voran.

Digitale Geschäftsmodelle sind Geschäftsstrategien, die auf der Nutzung digitaler Technologien basieren, um Wert zu schaffen und zu liefern. Beispiele hierfür sind E-Commerce, Abonnementdienste, Plattformmodelle (wie Uber oder Airbnb) und Freemium-Modelle, bei denen Basisdienste kostenlos angeboten werden, während für Premiumdienste Gebühren anfallen.

Digitalpark bezeichnet ein speziell entwickeltes Gebiet oder ein Campus, der Unternehmen und Start-ups aus der Digitalwirtschaft beherbergt. Diese Parks bieten oft moderne Infrastruktur, Co-Working-Spaces, Forschungs- und Entwicklungszentren sowie Netzwerkmöglichkeiten, um Innovation und Zusammenarbeit zu fördern. Ein Digitalpark ist folglich eine Gewerbefläche, die für die Ansiedlung von Unternehmen der Digitalwirtschaft optimiert ist und in räumlicher Nähe zu großen Rechenzentren liegt. Diese Definition eines Digitalparks im Sinne der Planung im Rheinischen Revier ist nicht allgemeingültig. In anderen Regionen steht der Begriff für andere planerische Absichten, in Frankfurt am Main beispielsweise meint er speziell für Rechenzentren ausgewiesene Gewerbegebiete.

Direkte, indirekte und induzierte Effekte; siehe Input-Output-Analyse.

Der Energy Reuse Factor (ERF), zu Deutsch Energiewiederverwendungsfaktor, ist eine Kennzahl zur Bewertung der Energienutzung in Rechenzentren gemäß der Norm DIN EN 50600-4-7. Er beschreibt den Anteil der insgesamt aufgenommenen Energie, der in Form von nutzbarer Abwärme wiederverwendet wird – zum Beispiel zur Gebäudeheizung oder für industrielle Prozesse.

$$ERF = \frac{\text{wiederverwendete Energie}}{\text{gesamte Energieaufnahme}}$$

Ein hoher ERF-Wert bedeutet, dass ein großer Teil der eingesetzten Energie außerhalb des Rechenzentrums weitergenutzt wird, was die Gesamtenergieeffizienz verbessert und zur Reduktion von Emissionen beiträgt.

Die Erhebung und Ausweisung des ERF ist insbesondere dann sinnvoll, wenn Rechenzentren in ein übergreifendes Energiekonzept eingebunden sind. Sie unterstützt nachhaltige Betriebsstrategien und fördert die Integration von Rechenzentren in kommunale Wärme- und Energienetze.

Input-Output-Analyse (I/O-Analyse): Modellansatz, um die gesamtwirtschaftlichen Wirkungen eines Nachfrageimpulses (z.B. die Investition in ein Rechenzentrum) auf die Bruttonproduktion, die Bruttowertschöpfung und die Beschäftigung in den einzelnen Sektoren der Volkswirtschaft zu betrachten.

Als Datenbasis für das Input-Output-Modell (I/O-Modell) dienen **Input-Output-Tabellen** (I/O-Tabellen), die für die Bundesrepublik Deutschland regelmäßig durch das Statistische Bundesamt veröffentlicht werden und nach 72 Produktionsbereiche, mehreren Kategorien der Wertschöpfung und der Endnachfrage untergliedert ist. Eine I/O-Tabelle beschreibt die Entstehung und Verwendung der sektoralen Produktion. Die Produktion in einem Bereich entsteht durch die Verarbeitung von Vorleistungen (z.T. aus anderen Branchen) und die dabei entstehende Wertschöpfung. Die Verwendung der Produktion findet entweder in Form von Vorleistungen in Produktionsprozessen anderer Branchen statt oder die Produktion bedient die Endnachfrage nach Waren und Dienstleistungen. Die Vorleistungsbeziehungen der Produktionsbereiche untereinander werden als **Vorleistungsverflechtung** bezeichnet.

Im Ergebnis werden verschiedene Effekte auf die sektorale Produktion bzw. die Bruttowertschöpfung und die Beschäftigung dargestellt, deren Summe die gesamtwirtschaftlichen Wirkungen eines Nachfrageimpulses bilden:

- **Direkter Effekt:** beschreibt die Produktion und Wertschöpfung, die zur unmittelbaren Herstellung der nachgefragten Güter erforderlich ist. In der Höhe entspricht dieser Effekt dem Nachfrageimpuls.

- **Indirekte Effekte:** umfasst alle Vorleistungen, die auf vorgelagerten Produktionsstufen erforderlich sind, um die nachgefragten Güter zu produzieren.
- **Induzierte Effekte:** Zusätzliche **Investitionsgüternachfrage**, die ausgelöst wird, wenn die ursprünglich nachgefragten Güter die vorhandenen Produktionskapazitäten überauslasten. Dies induziert einen zusätzlichen Nachfrage- und Produktionskreislauf und führt zu weiteren gesamtwirtschaftlichen Produktions- und Beschäftigungswirkungen. Zu den induzierten Effekten zählen zudem die zusätzlichen **Konsumausgaben** der Beschäftigten, die von dem Nachfrageimpuls profitieren.

Werden die Gesamteffekte in Relation zum auslösenden Nachfrageimpuls (= direkter Effekt) gesetzt, lassen sich die Ergebnisse der I/O-Analyse in Form von **Multiplikatoren** darstellen.

Latenz oder **Latenzzeit** bezeichnet die Verzögerung bei der Netzwerkkommunikation bzw. die Zeit, die Daten für die Übertragung durch das Netzwerk benötigen. Netzwerke mit einer längeren Verzögerung weisen eine hohe Latenz bzw. Latenzzeit auf, Netzwerke mit schnellen Reaktionszeiten eine geringe Latenz.

Multiplikatoreffekte; siehe Input-Output-Analyse.

Power Usage Effectiveness, (PUE), zu Deutsch Stromnutzungseffizienz, beschreibt einen Indikator zur Ressourceneffizienz eines Rechenzentrums und wird berechnet als der Quotient aus Gesamtenergieverbrauch eines Rechenzentrums und des Energieverbrauch der IT-Systeme des Rechenzentrums:

$$PUE = \frac{\text{Gesamtenergieverbrauch}}{\text{Energieverbrauch der IT}}$$

Rechenzentren sind spezialisierte Örtlichkeiten wie z.B. ein Gebäude, in denen sich IT-Infrastruktur befindet. Neben Computersystemen sind verschiedene Komponenten wie Telekommunikations- und Speichersysteme unterge-

bracht. In Rechenzentren werden große Mengen an Daten gespeichert, verarbeitet und verwaltet. Als Teil der kritischen Infrastruktur werden dabei hohe Standards der Sicherheit, Klimatisierung und Stromversorgung gewährleistet.

Strukturwandel bezeichnet die Veränderung von Wirtschaftsstrukturen innerhalb einer Region, häufig durch technologische Entwicklungen, wirtschaftliche Umstrukturierungen oder gesellschaftliche Veränderungen. Im Rheinischen Revier bezieht sich der Strukturwandel auf die Transformation weg von Kohleabbau und -verstromung hin zu zukunftsorientierten Wirtschaftssektoren wie digitalen Technologien unter Nutzung erneuerbarer Energien. Die Entscheidung, sich im Revier bis spätestens 2030 von fossilen Energieträgern zu verabschieden, macht tiefgreifende politische Maßnahmen und Investitionen erforderlich.

Twin Transformation ist die gleichzeitige und sich gegenseitig begünstigende Umsetzung der digitalen und grünen Transformation. Beispielsweise können ressourcenschonende Produktionsprozesse unter Einsatz digitaler technologischer Innovationen wie Künstlicher Intelligenz gleichzeitig zu ökonomischen wie ökologischen Zielen beitragen.

Vorleistungsverflechtung; siehe Input-Output-Analyse.

Water Usage Efficiency (WUE), zu Deutsch Wassernutzungseffizienz, beschreibt einen Indikator zur Ressourceneffizienz eines Rechenzentrums (RZ) und wird berechnet als:

$$WUE = \frac{WU_{RZ}}{\text{Energieverbrauch der IT – Systeme}}$$

Wirkungsgrad der Kühlung (Cooling Efficiency Ratio, CER)

Die Energieeffizienz des Kühlsystems muss gemäß der Norm DIN EN 50600-4-7 mit dem Kennwert *Cooling Efficiency Ratio* (CER) bewertet werden. Der

CER ist eine Kenngröße zur Beurteilung der Energieeffizienz der Kühltinfrastruktur in Rechenzentren. Er beschreibt das Verhältnis zwischen der für die Kühlung eingesetzten elektrischen Energie und der abgeführten Wärmelast.

$$CER = \frac{\text{abgeführte Wärmelast (kW)}}{\text{elektrische Energie für Kühlung (kW)}}$$

Ein hoher CER-Wert steht für eine effiziente Kühlung, kann jedoch zu einem Zielkonflikt mit der Nutzung der Abwärme führen. Effiziente Kühlsysteme senken die Temperatur der abgeführten Luft oder Flüssigkeit stark ab, wodurch das Temperaturniveau der Abwärme reduziert wird. Das erschwert deren Weiterverwendung, etwa für Heizzwecke oder industrielle Prozesse. Die gewonnene Wärme kann zwar als ergänzende Energiequelle dienen, eignet sich jedoch in der Regel nicht als primäre Energieversorgung für Haushalte oder Unternehmen.

Erhebung und Ausweisung des CER sind grundsätzlich möglich und empfehlenswert, da sie helfen, die Betriebskosten zu senken und die Umweltbelastung zu reduzieren. Moderne Rechenzentren setzen daher zunehmend auf energieeffiziente Kühlsysteme, um den Gesamtenergieverbrauch zu reduzieren.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:Übersicht der Wirkebenen.....	9
Abbildung 2: Verteilung der Rechenzentren in Frankfurt am Main (Stand 2020). Rechenzentren sind blau markiert, die Stadtfläche von Frankfurt am Main ist rot eingefärbt.....	20
Abbildung 3: Prognose: Exponentielles Wachstum der RZ-Leistung in FRM	23
Abbildung 4: Szenarien des IKT-Beitrags zu THG in Deutschland.....	115
Abbildung 5: Index zum Verbrauch von Rechenzentren	116

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Geschätzte Effekte verschiedener Investitionsvorhaben für Hyperscale-Rechenzentren	29
Tabelle 2: Geschätzte Effekte der Rechenzentren und der Digitalparks im Rheinischen Revier gemäß aktuellem Planungsstand im Vergleich.....	34
Tabelle 3: Wichtige Bereiche, in denen niedrige Latenzzeiten eine Rolle spielen.....	38
Tabelle 4: Erfolgsfaktoren für Technologieparks	40
Tabelle 5: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Wertschöpfung und Produktivität.....	59
Tabelle 6: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Hightech-Gründungen ...	61
Tabelle 7: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Unternehmensansiedlungen und Unternehmensstruktur.....	63
Tabelle 8: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Patentanmeldungen	64
Tabelle 9: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: FuE-Aufwendungen	65
Tabelle 10: Geschätzte Beschäftigungseffekte (pro Jahr) verschiedener Investitionsvorhaben für Hyperscale-Rechenzentren	76
Tabelle 11: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Beschäftigung und Löhne	88
Tabelle 12: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Arbeitsmarkt.....	89
Tabelle 13: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Unternehmensinvestitionen	104
Tabelle 14: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Größe und Effizienz der Internetknoten IT-Netzwerkinfrastruktur.....	106
Tabelle 15: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Strominfrastruktur	107
Tabelle 16: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Wärmeinfrastruktur....	108
Tabelle 17: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte zum Energieverbrauch	135
Tabelle 18: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte zur Kühlung	136
Tabelle 19: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte zur Wassernutzung	137

Tabelle 20: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte zur Wasser- auffüllung.....	139
Tabelle 21: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Regionale Disparitäten	162
Tabelle 22: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte zu Flächen	163
Tabelle 23: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte zur Flächen- versieglung	164
Tabelle 24: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Akzeptanz.....	165
Tabelle 25: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Informations- verfügbarkeit.....	165
Tabelle 26: Datenverfügbarkeit und Bestandswerte: Stakeholder- Involvement.....	166

Hinweis: Die Tabellen im Fazit sind eine Wiederholung der Tabellen aus den vorherigen Kapiteln und werden daher hier im Verzeichnis nicht doppelt aufgeführt.

Literaturverzeichnis

Acceldata (2025), What Is Data Latency and Why It Matters. <https://www.acceldata.io/blog/what-is-data-latency-and-why-it-matters> (Aufgerufen am 15.04.2025).

Acemoglu, D. und P. Restrepo (2018), The race between machine and man: implications of technology for growth, factor shares and employment. *American Economic Review* 108(6): 1488-1542.

Acemoglu, D. und P. Restrepo (2020), Robots and jobs: evidence from US labor markets. *Journal of Political Economy* 128(6): 2188-2244.

Al-Kez, D., A.M. Foley, D. Laverty, D.F. Del Rio und B. Sovacool (2020), Exploring the sustainability challenges facing digitalization and internet data centers, *Journal of Cleaner Production* 371, 2022:133633.

Arntz, M., T. Gregory, T. und U. Zierahn (2017), Revisiting the risk of automation. *Economics Letters* 159: 157–160.

Autor, D.H. (2015), Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of Economic Perspectives* 29(3): 3-30.

Autor, D.H., D. Dorn und G.H. Hanson (2015), Untangling trade and technology: evidence from local labor markets. *Economic Journal* 125(584): 621–646.

Autor D.H., F. Levy und R.J. Murnane (2003), The skill content of recent technological change: An empirical exploration. *Quarterly Journal of Economics* 118(4): 1279–1333.

Bachmann, R., M. Gonschor, M., P. Lewandowski, P., K. Madoń, K., (2022), The Impact of Robots on Labour Market Transitions in Europe. IZA DP No. 15303. IZA – Institute of Labor Economic. Bonn.

BAFA Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2024), Leitfaden zu den Datenpunkten im Rechenzentrumsregister (RZReg): Informationen für Betreiber von Rechenzentren gemäß der §§ 13, 14 Energieeffizienzgesetz Version 1.1. Eschborn: BAFA.

BDI Bundesverband der Deutschen Industrie (2024), Digitale Infrastrukturen: Weißbuch setzt wichtige Impulse. <https://bdi.eu/artikel/news/digitale-infrastrukturen-weissbuch-setzt-wichtige-impulse>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Bennett, D. L. (2019). Infrastructure investments and entrepreneurial dynamism in the US. *Journal of Business Venturing* 34(5): 105907.

Berger J., 2021, Interactivity test: Distance to server impact on latency and jitter. https://www.rohde-schwarz.com/us/solutions/critical-infrastructure/mobile-network-testing/stories-insights/article-interactivity-test-distance-to-server-impact-on-latency-and-jitter_255082.html. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Bergs, R. (2024) The policy relevance of urban scaling laws: A study on impervious ground in German cities. *Journal of Economic Analysis* (online first August 2024).

Bytes2Heat (2023), Förder- und Politikübersicht zur Abwärmenutzung aus Rechenzentren: Für mehr Durchblick im Regularien- und Förder-Dschungel. Berlin, Stuttgart.

Blum, A. (2012), Kabelsalat. Wie ich einem kaputten Kabel folgte und das Innere des Internets entdeckte. München: Knaus.

BMI Bundesministerium des Innern und für Heimat (2019), Digitale Infrastruktur als regionaler Entwicklungsfaktor. Nachnutzbare Ideen für Kommunen aus dem Modellvorhaben MOROdigital. MORO Praxis Heft 13/2019. Berlin.

BMI Bundesministerium des Innern und für Heimat (2024), Mit unserem Gesetz zum Schutz kritischer Infrastrukturen machen wir Deutschland krisenfester! <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/kurzmeldungen/DE/2024/11/kabinett-kritis.html>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Bosse S., Nahhas A., Turowski K. (2020) Quantitative Analysis of the Effects of Different Carbon Tax Levels on Emissions and Costs of Data Centers. 15th International Conference on Economic Informatics, March 08-11, 2020, Potsdam, Germany.

Brutlag, J. (2009), Speed Matters for Google Web Search, https://services.google.com/fh/files/blogs/google_delayexp.pdf. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Bryan Hovey (2018), Latency in a Data Centre Move, <https://calnexsol.com/spotlight-on-latency-during-a-data-centre-move/#:~:text=Net-work%20related%20delays%20can%20be,user%20can%20double%20the%20latency>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

BSI Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2024), Definition eines Rechenzentrums. https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/Empfehlungen-nach-Angriffszielen/Hochverfuegbarkeit/Rechenzentren/Rechenzentren_node.html. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Bundesnetzagentur (2022), Strategiepapier: Resilienz der Telekommunikationsnetze, Bonn; <https://www.bitkom.org/Themen/Technologien-Software/Rechenzentren-IT-Infrastruktur/Welche-Rechenzentren-sind-Kritische-Infrastrukturen-und-was-hat-es-mit-gemeinsamen-Anlagen-auf-sich>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Bundesregierung (2024), Microsoft plant Milliardeninvestitionen in KI <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/milliardeninvestitionen-ki-2259864>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Cassia, A., I. Costa und G. Cardoso de Oliveira Neto (2024), Assessment of the effect of IT infrastructure on the relationship between knowledge sharing and technological innovation capability: survey in multinational companies. *Technology Analysis & Strategic Management* 36(5): 1016-1036.

Chiacchio, F., G. Petropoulos, D. Pichler (2018), The impact of industrial robots on EU employment and wages: A local labour market approach. Working Paper. Brussels.

CIO Insight (2024), Digital universe expands at an alarming rate. <https://www.cioinsight.com/it-strategy/digital-universe-expands-at-an-alarming-rate>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Clausen, Jens, Hintemann, Ralph, Hinterholzer, Simon (2022), Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Deutschland. Update August

2022. https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2022/08/Abwaerme-nutzung_Rechenzentren_Update_2022.pdf. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

T. Cremonini Entringer und L. Lacopo da Silva (2020), Critical success factors in science and technology parks: a bibliographic review and analysis. Independent Journal of Management and Production Vol. 11 No. 2, 343-359.

Dauth, W. S. Findeisen, J. Südekum, N. Woessner (2021), The Adjustment of Labor Markets to Robots, Journal of the European Economic Association 19(6): 3104–3153.

Dehio, J., R. Janssen-Timmen, R., und M. Rothgang, M., (2024). Economic Measurement of the Environmental Benefits of Information and Communication Technologies: Experiences for Germany. Journal of Innovation Economics & Management (erscheint demnächst).

DE-CIX Management, Deutsche Telekom Business Solutions, Detecon International, WIK-Consult und Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (2021), Zukunft regional – digital: Das Rheinische Revier. Machbarkeitsstudie Dateninfrastrukturen im Rheinischen Revier. Studie im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie (MWIDE) des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE NRW). Düsseldorf.

Destatis (2023) Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder: Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung in den kreisfreien Städten und Landkreisen in der Bundesrepublik Deutschland 1992 und 1994-2022 (Tabelle vgrdl_r2b1_bs2023).

Deutsches Architekturforum (2024) Rechenzentrums-Hauptstadt Frankfurt. <https://www.deutsches-architekturforum.de/thread/14221-rechenzentrums-hauptstadt-frankfurt/?pageNo=1>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Dörder P (2022) Urban green spaces in transition: Planning and urban social-ecological resilience in the Frankfurt Rhine-Main region. Diss. FB Architektur an der TU Darmstadt.

Drees & Sommer, NMWP (2023), Masterplan Digitalparks im Rhein-Kreis Neuss und im Erftkreis. Köln, Düsseldorf.

EU European Union (2017), Attitudes towards the impact of digitisation and automation on daily life. Special Eurobarometer 460, Wave EB87.1. Brüssel.

EEA (2024) Greenhouse Gases – Data viewer. www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/greenhouse-gases-viewer-data-viewers. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Ewim D. et al. (2023), Impact of Data Centers on Climate Change: A Review of Energy Efficient Strategies. The Journal of Engineering and Exact Sciences 9(6).

Fernández-Cerero D., A. Fernández-Montes und A. Jakóbbik (2019), Limiting global warming by improving data-centre software. IEEE Access 8: 44048-44062.

Ferreira J., G. Callou, A. Josua, D. Tutsch, P. Maciel (2019), An Artificial Neural Network Approach to Forecast the Environmental Impact of Data Centers. Information 2019(10): 113.

Flucker S., B. Whitehead, R. Tozer und D. Andrews (2017), Energy and Water Environmental Trade-Offs of Data Center Cooling Technologies. LSBU Open Research <https://openresearch.lsbu.ac.uk> . (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Freitag C., M. Berners-Lee, K. Widdicks, B. Knowles, G.S. Blair, A. Friday et al. (2021) The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends and regulations. Patterns 2 (9).

Gantz J., und D. Reinsel (2012), The digital universe in 2020: Big data, bigger digital shadows and biggest growth in the Far East. IDC Iview December 2012.

Gazzola V. et al. (2023), Analysis of Territorial Risks and Protection Factors for the Business Continuity of Data Centers. Sustainability 2023, 15: 6005

GDA German Datacenter Association (2024a), Data Center Impact Report 2024. Frankfurt: GDA.

GDA German Datacenter Association (2024b), Überblick zu den Anforderungen zum Energieeffizienz-Gesetz für Rechenzentren <https://www.german-datacenters.com/news/detail/ueberblick-enefg-fuer-rechenzentren/> (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

GIMI German ICT & Media Institute (2022), Geschäftspotenziale und Geschäftsmodelle für Edge-Investitionen. Anwendungen, Nutzung und notwendige Infrastruktur- maßnahmen im Rheinischen Revier. Köln.

Goecke H et al. (2024) Spillover-Effekte von Rechenzentren: Rückgrat der KI-Revolution in Deutschland. Köln: Institut der Deutschen Wirtschaft.

Google & Deloitte (2023), Data Center Impact Report 2023. Loudoun County, Virginia. Mountain View, London.

Graetz, G. und G. Michaels (2018), Robots at Work. Review of Economics and Statistics 100(5): 753–768.

Grant Thornton (2018), A Study of the Economic Benefits of Data Centre Investment in Ireland. IDA Ireland. Dublin.

Gröger J., F. Behrens, R. Liu, L. Ackermann, F. Chwoyka und A. Schlösser (2023), Umweltzeichen Blauer Engel für Rechenzentren - Hintergrundbericht zur Erarbeitung der Vergabekriterien DE-UZ 228: UBA, Dessau-Roßlau-

Grünfeld, L., C. Wang Gierløff und L. Stemland Eide (2017), Economic impact of a hyperscale data center establishment in Norway. Menon Publication 39/2017. Oslo: Menon Economics.

Gupta U., G.K Young, S. Lee, J. Tse, S. Hsien-Hsin, G.Y. Wei, D. Brooks und C.J. Wu (2021), Chasing carbon: The elusive environmental footprint of computing. 2021 IEEE International Symposium HPCA. <https://doi.org/10.1109/HPCA51647.2021.00076>.

Harvey R.O, Clark W.A.V. (1965) The nature and economics of urban sprawl. Land Economics 41(1).

Herrlin M. (2024), Guidance on identifying Zombie servers in data centers, Berkeley: LBL.

Hintemann, R. und J. Clausen (2018), Bedeutung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Chancen und Herausforderungen für Rechenzentren im internationalen Wettbewerb. Berlin: Borderstep Institut.

Hintemann R und S. Hinterholzer (2020), Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung, Borderstep-Institut, Berlin.

Hintemann, R, Clausen, J, Beucker, S, Hinterholzer, S (2021), Studie zu Nachhaltigkeitspotenzialen in und durch Digitalisierung in Hessen. Wiesbaden: Hessische Staatskanzlei. <https://digitales.hessen.de/sites/digitales.hessen.de/files/2022-04/nachhaltigkeitsstudie.pdf>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Hintemann, R., S. Hinterholzer und H. Seibel (2023). Bitkom-Studie Rechenzentren in Deutschland: Aktuelle Marktentwicklungen – Update 2023. Berlin: Borderstep Institut.

Horizon2020 (2018), Projektstudie 2018. What do night satellite images and small-scale grid data tell us about functional changes in the rural urban environment and the economy? Case studies Frankfurt-Rhein/Main and Ljubljana Urban Region. Horizon2020 project Rural-Urban. Europe: <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5bf23901b&appld=PPGMS> . (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Hua, Y. und H. Zhang (2024), Labour misallocation and digital infrastructure: evidence from a quasi-natural experiment of "broadband China strategy". Applied Economics Letters, 1–7.

Huawei (2017), Low Latency Underpins Carrier's Ability to Compete & Succeed in Vertical Markets, <https://carrier.huawei.com/en/technical-topics/fixed-network/low-latency-underpins>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Huawei Forum (2023), How does data center location impact its performance and latency, especially in the context of global data distribution? <https://forum.huawei.com/enterprise/en/what-is-an-edge-data-center/>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Hübner, G., J. Pohl, J. Warode et al. (2020), Akzeptanzfördernde Faktoren erneuerbarer Energien. BfN-Skripten 551. Bonn: BfN.

IHK Aachen et al. (2024) (Hrsg.), Dynamik und Einflüsse auf die IT-Infrastruktur der Zukunft in der Region Aachen. Aachen u.a.

IW Consult (2023a), Der digitale Faktor. Wie Deutschland von intelligenten Technologien profitiert. Studie im Auftrag von Google. Köln.

IW Consult (2023b). Fachkräftebedarf im Rheinischen Revier in Folge der Strukturförderung. Studie für das Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes NRW (MWIKE). Köln.

Janović I. (2023), Frankfurt vertreibt die Datacenter. Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 20.06.2023, <https://www.faz.net/aktuell/rhein-main/frankfurt/frankfurt-vertreibt-die-rechenzentren-stroengere-baurichtlinien-18975791.html> (Zuletzt abgerufen am 09.05.2025).

Kiese, M. (2012), Regionale Clusterpolitik in Deutschland. Bestandsaufnahme und interregionaler Vergleich im Spannungsfeld von Theorie und Praxis. Marburg:Metropolis.

Koomey J, und E. Masanet (2021), Does not compute: Avoiding pitfalls assessing the internet's energy and carbon impacts. Joule 5(7): 1625–1628.

Koomey J, E. Masanet, N. Horner, I..Azevedo und W. Lintner (2016), United States Data Center Energy Usage Report. Berkeley: LBL.

JLL Jones Lang LaSalle (2024), Rechenzentren in Deutschland. Marktüberblick 2024. Berlin u.a..

Lannelongue L. et al (2023), GREENER principles for environmentally sustainable computational science. Nature Computational Science 3: 514-521.

Lechner S. et al. (2023), Abschlussbericht zum Forschungsprojekt „Innovative Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Hessen am Beispiel von Offenbach“, THM, Gießen. https://publikationsserver.thm.de/xmlui/bitstream/handle/123456789/295/Lechner_Stefan.pdf?sequence=3. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Lei, N., und E. Masanet (2022), Climate- and Technology-Specific PUE and WUE Predictions for U.S. Data Centers using a Physics Based Approach. Resources, Conservation and Recycling 182: 106323.

Li, M., L. Zhang und Z. Zhang (2023), Impact of Digital Economy on Inter-Regional Trade: An empirical analysis in China. Sustainability 15(15).

Luipold U., Ring P, Spath C (2015) Räumlich-funktionales Entwicklungskonzept Gewerbe Frankfurt am Main im Rahmen des Masterplans Industrie. Berlin: Regioverlag.

Lutz H 2020 Rechenzentrums-Hotspot Frankfurt am Main: Stadtentwicklung und Datacenter-Ansiedelung, <https://www.datacenter-insider.de/stadtentwicklung-und-datacenter-ansiedlung-a-258d122dc799387f651d309e026288b4/>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Mangum Economics (2020), The impact of data centers on the state and local economies of Virginia. NVTC Northern Virginia Technology Council NVTC Data Report 2020. Richmond, Virginia.

Microsoft (2023), Water replenishment: Our learnings on the journey to water positive. <https://query.prod.cms.rt.microsoft.com/cms/api/am/binary/RW1eAAY>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Microsoft (2024a), Fit für das KI-Zeitalter. <https://news.microsoft.com/de-de/fit-fuer-das-ki-zeitalter-microsoft-investiert-32-milliarden-euro-um-ki-infrastruktur-und-cloud-kapazitaeten-in-deutschland-mehr-als-zu-verdoppeln-so-wie-fachkraefte-zu-qualifizieren/>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Microsoft (2024b), KI-Rechenzentren für das Rheinische Revier und ganz Deutschland: Microsoft stellt Pläne in NRW vor und startet Qualifizierungsoffensive. 18. März 2024. <https://news.microsoft.com/de-de/ki-rechenzentren-fuer-das-rheinische-revier-und-ganz-deutschland-microsoft-stellt-plaene-in-nrw-vor-und-startet-qualifizierungsoffensive>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Microsoft (2024c), Microsoft Environmental Sustainability Report 2024. 16. März 2024. <https://news.microsoft.com/de-de/microsoft-environmental-sustainability-report-2024/>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Microsoft (2024d), Häufig gestellte Fragen zu unseren Rechenzentren - Microsoft Local. <https://local.microsoft.com/de/blog/frequently-asked-questions-about-our-datacenters/> (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Midas (2023), Why Does Data Center Location Matter, <https://mid.as/blog/why-data-center-location-matters/>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Mix (2023), Why is low latency important in the age of digitalization?, <https://www.mix-it.net/en/why-is-low-latency-important-in-the-age-of-digitalisation/>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Müller, N. (2024), Ein neuer Magnet für Deutschlands Daten, <https://www.faz.net/pro/digitalwirtschaft/kuenstliche-intelligenz/ein-neuer-magnet-fuer-deutschlands-daten-110166571.html> (zuletzt abgerufen am 16.06.2025).

NASA (2021) Global High Resolution Daily Extreme Urban Heat Exposure (UHE-Daily), 1983-2016. <https://www.earthdata.nasa.gov/data/catalog/sedac-ciesin-sedac-sdei-uhe-1.00>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Neos Networks (2024), What is low latency and why is it needed?, <https://neosnetworks.com/resources/blog/what-is-low-latency-why-is-it-needed/>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Neumann, U. und L. Taruttis (2022), Sorting in an urban housing market - is there a response to demographic change? Review of Regional Research 42(2): 111-139.

Noction Network Intelligence (2012), Understanding the impact of network latency on Service Providers' business, [Understanding the impact of network latency](#). (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Omrani, N., N. Rejeb, A. Maalaoui, M. Dabic und S. Kraus (2024), Drivers of Digital Transformation in SMEs. IEEE Transactions on Engineering Management 71.

Oxford Economics (2022a), The Economic Impact of Google Data Centers in Europe, Google_Europe_Nov_2022.pdf. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Oxford Economics (2022b), The Economic Impact of Google Data Centers in the United States, Google_US_Oct_2022.pdf. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Qin, J., B. van der Rhee, V. Venkataraman und T. Ahmadi (2021), The impact of IT infrastructure capability on NPD performance: The roles of market knowledge and innovation process formality. *Journal of Business Research* (133), 252-274.

Pan, X., S. Guo, M. Li und J. Song (2021), The effect of technology infrastructure investment on technological innovation ——A study based on spatial durbin model. *Technovation* 107: 102315.

Partanen, J., M. Kohtamäki, P.C. Patel and V. Parida (2020), Supply chain ambidexterity and manufacturing SMEs performance. The moderating roles of network capability and strategic information flow. *Int. J. Prod. Econ.* 221: 107470.

Pasek, A., H. Vaughan und N. Starosielski (2023), The world wide web of carbon: Toward a relational footprinting of information and communications technology's climate impacts. *Big Data & Society*, 10(1).

Paolini, M. (2018), Whiter Paper Latency matters, https://www.exfo.com/contentassets/49201c4a29d44694a3a89e402f854f8e/exfo_flyer_latency-matters_senzafili_exfo_v1_en.pdf (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Perform/IHK Darmstadt (2023) Zukunftsfähige Flächen für die Wirtschaft in Frankfurt/Rhein-Main. Darmstadt.

Prognos, DLR, Sprint und InWIS (2019), Evaluierung des OP EFRE NRW 2014-2020: Beitrag der Innovationsförderung zur Entwicklung der NRW-Leitmärkte. Spezifische Evaluierung 1.1. Düsseldorf.

Rejeb, A. und J. Keogh (2021), 5G Networks in the Value Chain. *Wireless Personal Communications*. 117. 1-23. 10.1007/s11277-020-07936-5.

Santos, A.M., I. Barbero, S. Salotti, A. Conte (2023), Job creation and destruction in the digital age: Assessing heterogeneous effects across European Union countries. *Economic Modelling* 126: 106405

Schmidt, C.M., L. Feld, D. Christofzik und S. Elstner (2021), The German productivity paradox: A homegrown affair. *VOX CEPR Policy Portal*, 22.11.2021. (Zuletzt abgerufen am 9.8.2024).

Schödwell B., Ereik K., Zarnekow R. (2013), Data Center Green Performance Measurement: State of the Art and Open Research Challenges. Proceedings of the Nineteenth Americas Conference on Information Systems, Chicago, Illinois, August 15-17, 2013.

Schödwell B., Zarnekow R. (2018), Kennzahlen und Indikatoren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen Anwendbarkeit. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Sethuramalingam R., A. Asthana und P. Weston P. (2019), Review of Waste Heat Utilisation from Data Centres. In: Al-Habibeh A. et al. (eds.) The International Conference on Energy and Sustainable Futures (ICESF). Nottingham Trent University Publications.

Siddik M.A.B, A. Shehabi und L. Marston (2021), The environmental footprint of data centers in the United States. Environmental Research Letters 16: 046017.

Soares, I.V., M. Yarime und M. Klemun (2024), Balancing the trade-off between data center development and its environmental impacts: A comparative analysis of data center policymaking in Singapore, Netherlands, Ireland, Germany, USA, and the UK. Environmental Science & Policy 157: 103769.

Stadt Frankfurt am Main/ F.A.Z.-Karte lev. (2020): Ein Plan für die Rechenzentren. <https://www.faz.net/aktuell/rhein-main/rechenzentren-stellen-frankfurt-vor-neue-herausforderungen-17004009.html> (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Stadt Frankfurt am Main/AG Rechenzentren (2023) Leitlinien für den Bau und Einrichtung neuer Rechenzentren in Frankfurt am Main. Frankfurt.

Stember, J. (2020), Digital Economy – Digitalwirtschaft: Wissenschaftlicher Zugang und Konsequenzen für das Forschungsprojekt Reallabor Digital Economy. Reallabor Diskussionspaper 20-01. Halberstadt: Hochschule Harz.

Stimpson A. (2024), Here's what happens when big data takes over a small town: In Virginia, the planet's largest proposed data center threatens local ecosystems. Sierra, 12 September 2024.

Tagesschau (2024), Amazon investiert 10 Milliarden Euro in Deutschland. Stand: 19.06.2024 15:33 Uhr. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/digitales/amazon-10-milliarden-deutschland-investition-100.html>. (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Teutsch O. (2023), Frankfurt: Elf neue Rechenzentren in Fechenheim. Frankfurter Rundschau vom 19.07.2023.

Tanbits (2024), The Adoption of Low-Latency Applications and their Impact on Industries, (Zuletzt aufgerufen: 31.10.24)

Trang, S., M. Mandrella, M. Marrone, und L.M. Kolbe (2022) Co-creating business value through IT-business operational alignment in inter-organisational relationships: empirical evidence from regional networks. *European Journal of Information Systems* 31(2).

Turek D, Radgen D. (2021), Optimized data center site selection—mesoclimatic effects on data center energy consumption and costs. *Energy Efficiency* 14: 33.

U.S. Department of Energy, Office of Electricity, 2024, Latency Implications for Grid Communications, part of a series of white papers on Secure Pathways for Resilient Communications (SPARC), SPARC Series - Latency Whitepaper.

Wang, F., Nian V., et al (2022), Do 'green' data centres really have zero CO2 emissions?. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 53(2022): 102769.

Wang, S., J.-Y. Mao und F. Wang (2024), Generativity of enterprise IT infrastructure for digital innovation. *Internet Research* 1066-2243.

Weber H, Kaiser A (2022) Short Paper: Data Center Update Deutschland: Aktuelle Trends am Markt für Rechenzentren. Köln: Art Invest.

Widdicks, K, F. Lucivero, G. Samuel, L. Somavilla Croxatto, M.T. Smith et al. (2023), Systems thinking and efficiency under emissions constraints: Addressing rebound effects in digital innovation and policy. *Patterns* 4, 10 Februar 2023.

Wiss. Dienste des Bundestags (2019), Energieverbrauch von Rechenzentren, WD 8-3000 - 041/19

Xie X. et al (2020) To What Extent Can the Green Belts Prevent Urban Sprawl?—A Comparative Study of Frankfurt am Main, London and Seoul. Sustainability 12(679).

Yang, H., L. Liu und G. Wang (2024), Does large-scale research infrastructure affect regional knowledge innovation, and how? A case study of the National Supercomputing Center in China. Humanit Soc Sci Commun 11.

Yuan et al. (2023), Waste heat recoveries in data centers: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 188: 113777.

Zacchello, M. (2023), What is Latency, and How Can You Address It?, <https://blog.equinix.com/blog/2023/03/01/what-is-latency-and-how-can-you-address-it/>.

Zhang, S. (2022), A Study of the economic impact of data centres on the nation's growth and development. MPRA Paper 115811.

Zukunftsagentur Rheinisches Revier (Hrsg.) (2021), Innovationsstudie 2021. Leuchttürme im Rheinischen Revier. Analyse der regionalen Innovationspotenziale und des Innovationstransfers im Rheinischen Revier.

Zukunftsagentur Rheinisches Revier (Hrsg.) (2022), Wirtschafts- und Strukturprogramm für das Rheinische Zukunftsrevier 1.1 (WSP 1.1). Jülich. https://www.rheinisches-revier.de/wp-content/uploads/2022/04/wsp_1.1.pdf (Zuletzt abgerufen am 15.04.2025).

Impressum

Herausgeber

Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen

Tel.: + 49 (0) 211/61772-0

Fax: + 49 (0) 211/61772-777

Internet: www.wirtschaft.nrw

E-Mail: poststelle@mwike.nrw.de

Stabsstelle Strukturwandel Rheinisches
Revier

Referat SRR 1

Strategie, Programmentwicklung, Kommuni-
kation

Diese Untersuchung wurde vom VDI Technologie-
zentrum GmbH in Zusammenarbeit mit RWI –
Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung e. V und
PRAC Bergs u. Issa Partnerschaftsgesellschaft im
Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Industrie,
Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-
Westfalen erstellt.

Bildnachweise

Titelbild: generiert mit KI

© MWIKE NRW/Csaba Mester - Foto Berger Allee

Autoren

Dr. Oliver Arentz, VDI Technologiezentrum GmbH
Dr. Katharina Friz, VDI Technologiezentrum GmbH
Jascha Lennefer, VDI Technologiezentrum GmbH
Moritz Timm, VDI Technologiezentrum GmbH
Dr. Uwe Neumann, RWI – Leibniz-Institut für Wirt-
schaftsforschung e. V.
Dr. Michael Rothgang, RWI – Leibniz-Institut für
Wirtschaftsforschung e. V.
Dr. Rolf Bergs, PRAC Bergs u. Issa Partnerschafts-
gesellschaft

Mediengestaltung

VDI Technologiezentrum GmbH

Die Publikation ist auf der Homepage des Ministeriums für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen unter www.wirtschaft.nrw/broschuerenservice als PDF-Dokument abrufbar.

Hinweis

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Nordrhein-Westfalen herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerber:innen oder Wahlhelfer:innen während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden.

Dies gilt auch für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen sowie für die Wahl der Mitglieder des Europäischen Parlaments.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Eine Verwendung dieser Druckschrift durch Parteien oder sie unterstützende Organisationen ausschließlich zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder bleibt hiervon unberührt. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin oder dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

**Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen**
Berger Allee 25, 40213 Düsseldorf
www.wirtschaft.nrw

