

Forschung und Entwicklung



**AGFW-Orientierungshilfe zur
Digitalisierung in der
Fernwärmebranche**

Herausgeber:
AGFW | Der Energieeffizienzverband für
Wärme, Kälte und KWK e. V
Stresemannallee 30
D-60596 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 6304-200
Telefax: +49 69 6304-391
E-Mail: h.huther@agfw.de
Internet: www.agfw.de

Auftragnehmer:
GEF Ingenieur AG
Indevo GmbH
HDPadvision GmbH

Redaktion
AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung,
Information und Standardisierung mbH,
Bereich Forschung und Entwicklung

Verlag:
AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung,
Information und Standardisierung mbH
Stresemannallee 30

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
Vorwort	IV
1. Einleitung	1
2. Grundlagen der Digitalen Transformation.....	3
2.1 Zweck der Digitalen Transformation.....	5
2.2 Handlungsfelder der Digitalen Transformation	7
2.3 Strategische Bedeutung der Digitalen Transformation	8
3. Stand der Technik	9
3.1 Digitale Datenübertragung	9
3.1.1. Leitungsgebundene Infrastrukturen	9
3.1.2. Kabellose Datenkommunikation	11
3.2 Digitale Trendthemen.....	20
3.2.1. Künstliche Intelligenz.....	20
3.2.2. Cloud Computing	21
3.2.3. Big Data.....	21
3.2.4. Predictive Analytics	23
3.2.5. Deep Learning.....	23
3.2.6. Virtual Reality	24
3.2.7. Augmented Reality	24
3.2.8. Digital Twins	25
4. Matrix als Landkarte für die Digitale Transformation	26
4.1 Anwendungsbereiche in der Fernwärmebranche.....	26
4.1.1. Spezifische Handlungsfelder.....	26
4.1.2. Planungsgegenstand.....	27
4.2 Struktureller Aufbau	28
4.2.1. Vertikale Transformation: Ressourcen	32
4.2.2. Horizontale Transformation: Prozesse	33
4.3 Funktion und Nutzung der Matrix.....	36
4.3.1. Positionsbestimmung und Definition von Zielen	36
4.3.2. Auswertung	37
4.4 Exemplarische Anwendung (Praxisbeispiele).....	38
4.4.1. Anwendungsfall 1: Von der <i>Ressource</i> zum <i>Prozess</i>	38
4.4.2. Anwendungsfall 2: Vom <i>Prozess</i> zur <i>Ressource</i>	38
5. Zusammenfassung.....	40

5.1	Ergebnisse.....	40
5.2	Mehrwerte.....	41
5.3	Ausblick.....	42
6.	Anlagen.....	43

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Historie der Digitalisierung und Eingrenzung der "Digitalen Revolution"	3
Abbildung 2: Stufen und Aspekte der „Digitalen Transformation“	4
Abbildung 3: Einsatz von Informationstechnologie (IT) zur Prozessoptimierung	5
Abbildung 4: Hierarchisches System der Planung	6
Abbildung 5: Ausgewählte Standards und Produkte für kabellose digitale Datenkommunikation	12
Abbildung 6: Kontextuelle Eingrenzung des Internets der Dinge (Internet of Things)	13
Abbildung 7: Typische Datenquellen in Big Data-Szenarien	22
Abbildung 8: Handlungsfelder in der Fernwärmebranche und ihre Abhängigkeiten	26
Abbildung 9: Stufen der Konkretisierung	28
Abbildung 10: Gliederungsschema der Matrix und Anwendungsprinzip als „Score-Card“	29
Abbildung 11: Universeller Aufbau der Matrix	31
Abbildung 12: Ausgangssituation anwendungsbezogene Positionsbestimmungen (schematische Darstellung)	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich etablierter LPWAN-Standards bzw. Produkte	19
Tabelle 2: Ausprägungen der Transformationsstufe 1 - Vernetzung (Datenvorlauf)	32
Tabelle 3: Ausprägungen der Transformationsstufe 1 - Vernetzung (Datenrücklauf)	33
Tabelle 4: Ausprägungen der Transformationsstufe 2 - Information	34
Tabelle 5: Ausprägungen der Transformationsstufe 3 - Wissen	34
Tabelle 6: Ausprägungen der Transformationsstufe 4 - Genese	35
Tabelle 7: Ausprägungen der Transformationsstufe 5 - Autonomie	35

Vorwort

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

die gesamte deutsche Energiebranche sieht sich den Herausforderungen der Reduktion des fossilen Brennstoffeinsatzes und der Emission von Treibhausgasemissionen gegenüber. Die Fernwärme leistet bereits heute einen maßgeblichen Beitrag zur umweltfreundlichen Wärmeversorgung für Millionen von Haushalten und Industriekunden und wird diesen in Zukunft durch die Nutzung klimafreundlicher Wärmeerzeuger weiter steigern.

Die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien zur Vernetzung technischer Anlagen unterstützt die Fernwärmebranche auf ihrem Weg in der Wärmewende. Jedoch ermöglichen nicht nur die technischen Entwicklungen und Veränderungen am eigentlichen Energiesystem Beiträge der Fernwärme zur Transformation in ein Energiesystem der Zukunft. Vielmehr sind es begleitende Maßnahmen und Schritte, die technische Lösungen und Optimierungen wie auch veränderte Geschäftsprozesse und -modelle umsetz- und steuerbar werden lassen. Diese begleitenden Maßnahmen werden in der Diskussion oft unter der Überschrift Digitalisierung subsummiert. Da die Nutzung des Begriffs häufig undifferenziert erfolgt, kann für das Wort Digitalisierung mitunter der Eindruck der Beliebigkeit entstehen.

Der AGFW und die Fernwärmeunternehmen sind erfahrene Gestalter der Transformation und wissen um die bestehenden und kommenden Herausforderungen. Unser Ziel ist es, die Beitragspotenziale, die Fernwärmesysteme für die Wärmewende erbringen können, optimal zur Entfaltung zu bringen. Aus diesem Grund beschäftigt sich Ihr AGFW über die Bereichsgrenzen hinweg mit der genauen Bedeutung, sowie den Chancen und Risiken und rechtlichen Aspekten der Digitalisierung.

Die vorliegende durch AGFW beauftragte „Orientierungshilfe zur Digitalisierung in der Fernwärmebranche“ soll Ihnen als Mitgliedsunternehmen dabei helfen, die Maßnahmen, die unter dem Begriff der „Digitalisierung“ zusammengefasst werden, strukturiert aufzuzeigen und Ihnen dabei helfen, für Ihr Unternehmen spezifische, anforderungsgerechte Lösungen einzuführen. Als Branchenverband möchten wir weiter auf dem Weg voranschreiten, aktuelle Themen mit Ihnen und für Sie zu begleiten und freuen uns daher auf Ihre Rückmeldung zum vorliegenden Bericht.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß bei der Lektüre der Studie!

Ihre



Werner R. Lutsch

Geschäftsführer des AGFW e.V.



Dr. Heiko Huther

Geschäftsführer der AGFW-Projekt GmbH

Bereichsleiter Forschung & Entwicklung

1. Einleitung

Fernwärme leistet durch den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung sowie die Einbindung erneuerbarer Wärmequellen und industrieller Abwärme einen integralen Beitrag zum Ressourcen- und Klimaschutz. Damit ist die Fernwärme unverzichtbarer Bestandteil einer effizienten und nachhaltigen Energieversorgung. Darüber hinaus nimmt sie innerhalb eines immer dynamischeren und zunehmend z. B. durch Sektorkopplung vernetzten Energiesystems eine integrale Schnittstellenposition ein, deren gesamtsystemische Bedeutung im Zuge der Energiewende noch weiter zunehmen wird.

Der Fernwärmesektor steht daher seit einigen Jahren im Fokus des energie- und forschungspolitischen Interesses. Dabei ist Konsens, dass für das Gelingen der Energiewende nur eine Sicherung des gegenwärtigen Status Quo oder der flächenbezogene Ausbau der Fernwärmeversorgung allein nicht ausreichen werden. Um die ambitionierten Zielsetzungen der Klimapolitik erreichen zu können, muss auch der Fernwärmesektor als ein zentrales Schlüsselement für eine klimaneutrale Energieversorgung seine Effizienz weiter steigern. Hierfür wurden bereits zahlreiche technische Lösungsansätze mit zum Teil erheblichen Potenzialen entwickelt und erprobt. Deren Implementierung ist jedoch größtenteils auch mit gravierenden wirtschaftlichen Konsequenzen für die Fernwärmeversorgungsunternehmen verbunden. Besonders deutlich zeigt sich dies beim Wandel hin zu innovativen „Wärmenetzen der vierten Generation“¹, der u. a. durch die Diversifizierung, Dezentralisierung, Flexibilisierung und Dekarbonisierung der Wärmeeufbringung tiefgreifende Restrukturierungsmaßnahmen erforderlich macht.

Die Fernwärmebranche trägt somit einen großen Teil der Lasten für das Gelingen der angestrebten Energie- und Wärmewende, aus denen gleichsam ebenso große Chancen erwachsen. Diese Chancen ergeben sich nur zum Teil durch unmittelbare Veränderungen des Wärmeversorgungssystems und seiner technischen Komponenten. Vielmehr ist es der gezielte Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT), der sowohl operative Optimierungen innerhalb des Systems und Interaktionen zwischen Systemen als auch angepasste Geschäftsmodelle überhaupt erst plan- und steuerbar macht.²

Die Maßnahmen zur Einführung, Umstellung oder Ausbreitung von IKT-Lösungen in Wirtschaft und Gesellschaft werden im gegenwärtigen Diskurs meist unter dem Schlagwort **Digitalisierung** subsumiert. Der Begriff ist jedoch nicht klar und eindeutig definiert. Seine Benutzung erfolgt daher häufig undifferenziert und vage, sodass mitunter der Eindruck der Beliebigkeit oder Missverständnisse entstehen können. Um dieses oft unscharfe Thema für Unternehmen der Fernwärmebranche besser greifbar zu machen, lautet das Ziel dieser Grundlagenstudie, die aktuellen Trends der Digitalisierung nachvollziehbar zu strukturieren, kontextuell einzugrenzen und zu konkretisieren. Im Kern geht es dabei um die Veränderungen der Geschäftsmodelle, Unternehmensprozesse und -strukturen, die durch eine Einführung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien ausgelöst oder erforderlich werden. Dieser Umgestaltungs- und Evolutionsprozess wird im Rahmen dieser Studie durch den Begriff der „**Digitalen Transformation**“ zusammengefasst.

Dem AGFW ist bewusst, dass auch die Fernwärmebranche sich mit den Chancen und den Risiken der Digitalen Transformation auseinandersetzt. Der Themenkomplex ist für viele Mitgliedsunternehmen aber noch nicht hinreichend greifbar, um zielführend damit umgehen zu können. Der AGFW hat daher diese

¹ Lund H., Werner S., Wilthire R., Svendsen S., Thorsen J.E., Hvelplund F., Mathiesen B.V.: *4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems*. In: *Energy* 68, S. 1-11, Elsevier 2014

² de Beaufort R., Schelle Jensen S., Johansson C., Hellmer R., Jungic M., Kaasinen V., Karstoft M., Schache A., Schmidt R.-R., Song P., Vanhoudt D., Zhao X.: *Digital Roadmap for District Heating & Cooling*. DHC+ Technology Platform, Euroheat&Power, Brüssel 2018

Grundlagenstudie beauftragt, um das Thema Digitalisierung strukturiert, objektiv und lösungsneutral zu konkretisieren.

Ziel der Studie ist es, den Mitgliedsunternehmen des AGFW eine Handreichung anzubieten, die ihnen den Umgang mit der Digitalen Transformation ermöglicht und erleichtert. Hierfür werden folgende Produkte erarbeitet:

1. Schaffung eines gemeinsamen Grundverständnisses durch Erläuterung der technischen Grundlagen und vereinheitlichter Begriffsbestimmungen,
2. Umfassende, möglichst lückenlose Abbildung und Strukturierung des Untersuchungsgegenstands,
3. Die Entwicklung einer verständlichen und einfach handhabbaren Vorgehensweise zur Bestimmung der eigenen Ist-Position im Kontext der Digitalen Transformation,
4. Unterstützung bei der Formulierung zielführender Digitalisierungsstrategien durch Bereitstellung einer Methodik zur individuellen Festlegung zweckmäßiger Ziel-Positionen sowie zur Ableitung entsprechender Roadmaps zur Erreichung dieser Zielsetzungen,

Dementsprechend befasst sich Kapitel 2 zunächst mit dem Verständnis der Digitalen Transformation. Kapitel 3 erläutert den aktuellen Stand der Technik und stellt die Definition und Erläuterung der zentralen Begriffe, Inhalte und Trends dar. In Kapitel 4 wird die Strukturierung des Untersuchungsfeldes Fernwärme als Matrix hergeleitet und ihre Funktion beschrieben. Greifbar wird die Anwendung der Matrix durch eine Illustration exemplarischer Praxisbeispiele. In Kapitel 5 werden zunächst die Ergebnisse dieser Grundlagenstudie zusammengefasst und ihre Mehrwerte herausgearbeitet. Abschließend wird ein Ausblick zum weiteren Vorgehen gegeben.

2. Grundlagen der Digitalen Transformation

Die ursprüngliche und eigentliche Bedeutung des Begriffs *Digitalisierung* liegt in der Umwandlung von analogen Informationen in digitale Signale. Im allgemeinen Sprachgebrauch hat sich die inhaltliche Bedeutung des Begriffs nach und nach auch auf die strukturellen Veränderungen von Ereignissen, Verfahren und Objekten ausgeweitet, die im Zuge einer Einführung digitaler Werkzeuge und Methoden erfolgen.³ Die durch Informations- und Kommunikationstechnologien ausgelösten Umwälzungen wirken sich dabei immer stärker auf die Systeme selbst aus und haben teilweise gravierende Konsequenzen für die Lebens- und Arbeitsgewohnheiten. Aus diesem Grund steht *Digitalisierung* auch für die *Digitale Transformation* in Wirtschaft und Gesellschaft, d. h. für den tiefgreifenden Wandel hin zu neuen sozialen Verhaltensweisen, Geschäftsmodellen, Produkten und Prozessen.

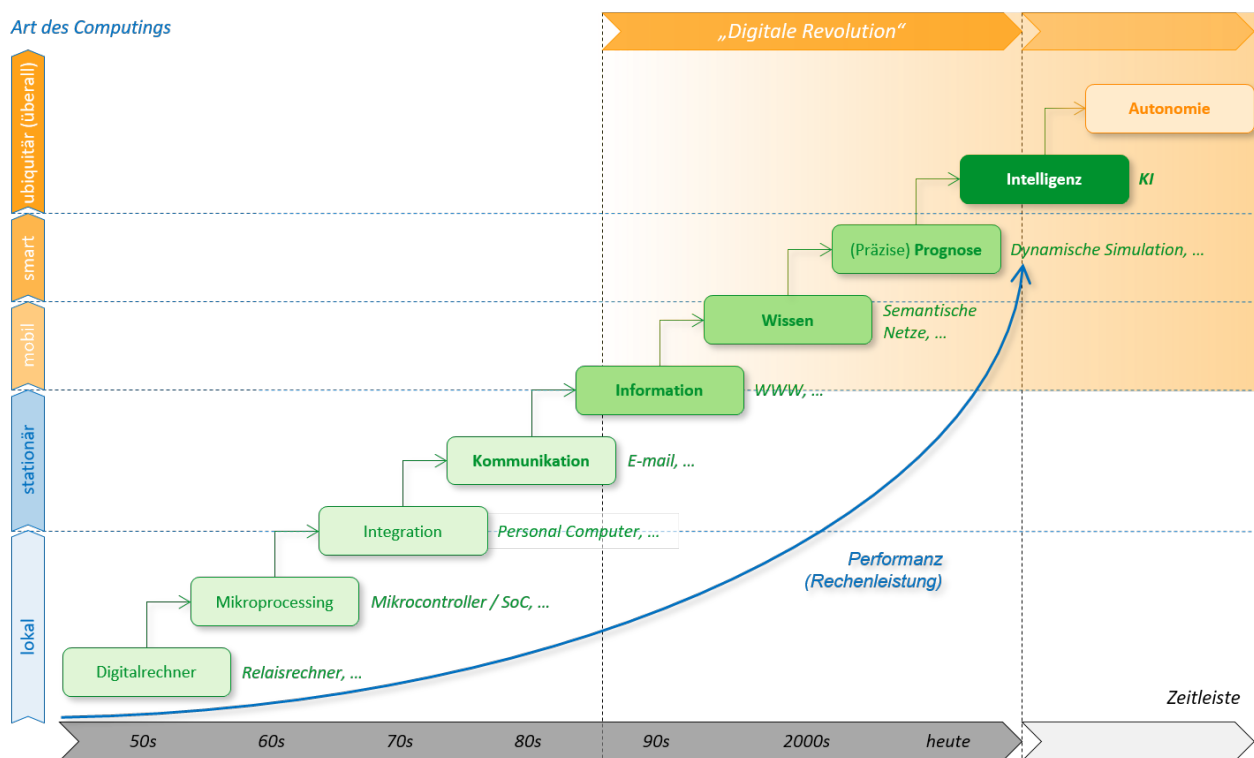


Abbildung 1: Historie der Digitalisierung und Eingrenzung der "Digitalen Revolution"⁴

Die Entwicklung digitaler Technologien hat sich in den letzten Jahrzehnten stark beschleunigt und der durch ihre Einführung ausgelöste Umbruch in nahezu allen Lebensbereichen immer mehr an Dynamik gewonnen, sodass mittlerweile auch von dem *Digital-* oder *Informationszeitalter* oder einer *vierten industriellen Revolution* die Rede ist. Diese *Digitale Revolution* wird – zumindest im deutschen Sprachraum – ebenfalls unter dem Oberbegriff Digitalisierung zusammengefasst. Sie beginnt jedoch nicht mit der Erfindung der digitalen Signalverarbeitung, sondern frühestens mit der flächendeckenden Verbreitung des Internets (vgl. Abbildung 1). Die *Digitale Transformation* wird in der Wirtschaft mit Schlagworten wie „Industrie 4.0“, „Digitale Fabrik“, „Internet der Dinge“, „Ubiquitous Computing“, „Big Data“ oder „Künstliche Intelligenz“ beschrieben.

³ Bendel, O.: *Digitalisierung*. In: *Gabler Wirtschaftslexikon – Grundlagen der Wirtschaftsinformatik*. Online: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/digitalisierung-54195>, zugegriffen am 13.05.2019

⁴ nach Brüggemann, T.: *Digitization of DHC – Digitization will transform the District Heating and Cooling Business*. Keynote, 16th INTERNATIONAL SYMPOSIUM on District Heating and Cooling, IEA DHC, Hamburg 2018

Eine eindeutige Belegung des Begriffs *Digitalisierung* ist somit nicht möglich. Um den Gegenstand der *Digitalen Transformation* in der Wirtschaft im Allgemeinen und der Fernwärmebranche im Speziellen zu definieren, bedarf es daher einer entsprechenden Eingrenzung und Fokussierung des Themenfeldes.

Vorrangige Aufgabe der Digitalen Transformation mit dem Ziel einer Produktivitätssteigerung ist es, durch Verknüpfung zahlreicher, für Unternehmensprozesse relevanter Informationen Wissen zu repräsentieren und dieses Wissen durch innovative Methoden der Datenverarbeitung sukzessive zu verdichten bzw. zu erweitern. Die erste Stufe des Wandlungsprozesses besteht demnach in einer umfassenden Erhebung von Sachdaten innerhalb des Unternehmens und seinem peripheren Umfeld sowie in ihrer Kommunikation an einen oder mehrere (zentrale) Orte der Weiterverarbeitung.

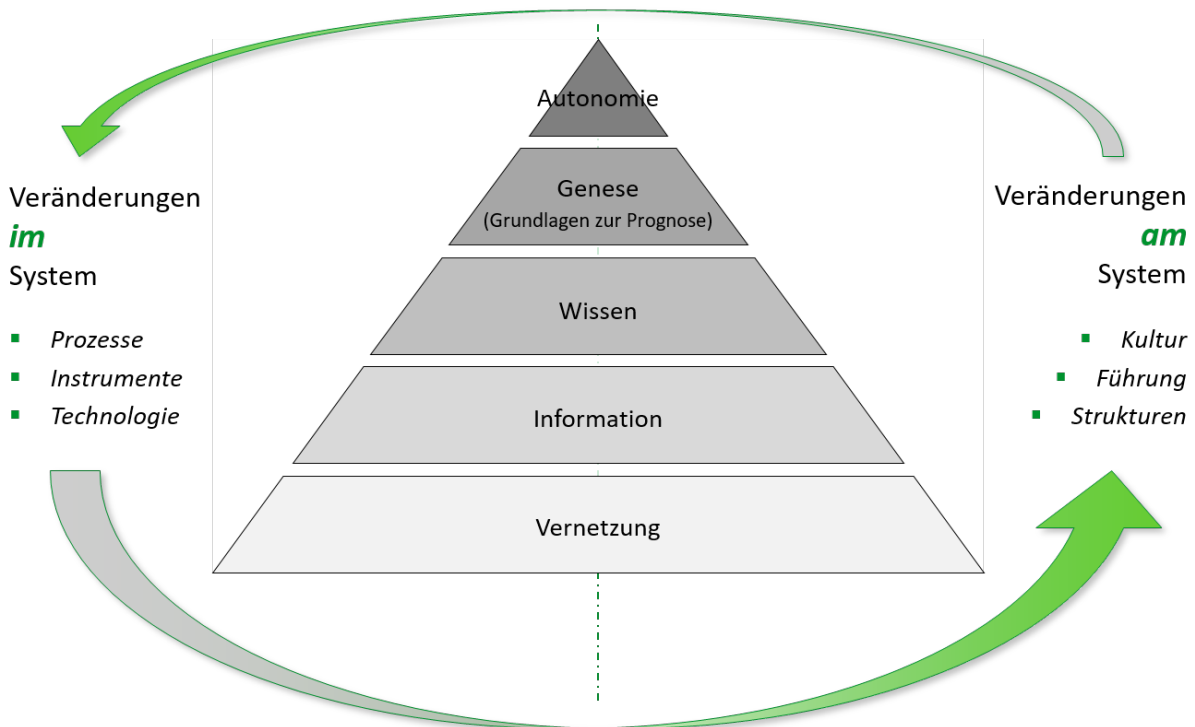


Abbildung 2: Stufen und Aspekte der „Digitalen Transformation“⁵

In einem mehrstufigen Modell⁵ (siehe Abbildung 2), das die Digitale Transformation in chronologisch und konditional aufeinander aufbauende Dimensionen gliedert, wird der initiale Datenerfassungs- und Kommunikationsvorgang als Vernetzung deklariert. Die Gliederung des Stufenmodells wird von der digitalen Prozesskette abgeleitet und fokussiert gleichermaßen den inhaltlichen Gegenstand der Digitalen Revolution. Entsprechend folgt mit der Stufe Information die Strukturierung der Daten sowie mit Wissen ihre semantische Vernetzung, Analyse und Verdichtung. Analog zur digitalen Prozesskette werden alle Instrumente zur Erweiterung des Wissenshorizonts (Prognose) sowie der eigenen Fähigkeiten (Optimierung, Automatisierung und maschinelles Lernen) in der Stufe Genese zusammengefasst. Die Beherrschung von Methoden des maschinellen Lernens bildet schließlich auch die erforderliche Grundlage zum Erreichen der obersten Stufe Autonomie. Ein System ist dann autonom, wenn es selbstbestimmt dazu in der Lage ist, eine Zielstellung auch unter sich ändernden Umgebungsvariablen eigenständig und souverän zu lösen. Es muss befähigt sein, aus den Anforderungen an die Zielerreichung Aufgaben zu entwickeln und sich dabei ggf. auch mit anderen Systemen zu koordinieren oder mit ihnen zu kollaborieren.

⁵ nach Prüß H., Zopff C., Richter S.: *Digitalisierung als Mittel zur Prozessexzellenz in der Fernwärme – Teil 1*. In: *EuroHeat&Power*, 47. Jg (2018), Heft 6

Dazu wird einem autonomen System volle, im Regelfall jedoch kontrollierte Entscheidungs- und Handlungsfreiheit innerhalb eines vorgegebenen Regelwerks (Restriktionen) eingeräumt.

Ein Transformationsprozess nach dem 5-Stufen-Modell (vgl. Abbildung 2) löst durch die Einführung neuer Instrumente (Technologien bzw. Werkzeuge oder Methoden bzw. Prozesse) unmittelbar Veränderungen *innerhalb* des Systems aus. Gleichzeitig bedingt eine erfolgreiche Einführung dieser Instrumente jedoch auch Änderungen *am* System selbst. So müssen bspw. auch die Geschäftsmodelle und Unternehmensstrukturen den neuen Begebenheiten angepasst werden. Dagegen können kulturelle Prägungen innerhalb einer Unternehmenshierarchie Schritte zu einer Digitalen Transformation sowohl befördern als auch verhindern.⁵

2.1 Zweck der Digitalen Transformation

Die *Digitale Transformation* eines Unternehmens ist kein Selbstzweck, sondern ein *Instrument* und somit Mittel zum Zweck. Dieser Zweck besteht grundsätzlich in einer Steigerung der Effizienz von Unternehmensprozessen. Effizienz drückt sich entweder dadurch aus, dass der Ressourcenaufwand bei Beibehaltung eines bestimmten Grads der Zielerfüllung gesenkt wird oder dass bei gleichbleibendem Ressourceneinsatz der Grad der Zielerfüllung erhöht wird.

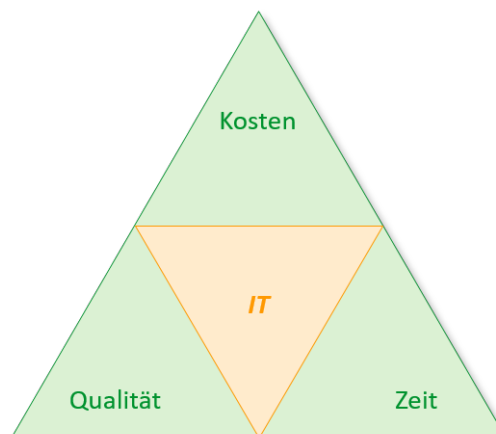


Abbildung 3: Einsatz von Informationstechnologie (IT) zur Prozessoptimierung

Für die Optimierung eines Unternehmensprozesses gibt es generell nur die drei Ansatzpunkte Kostenreduzierung, Qualitätssteigerung oder zeitliche Beschleunigung. In einem definierten System können aufgrund kausaler Wechselwirkungen jedoch immer nur maximal zwei dieser Aspekte gleichzeitig „optimiert“ werden. Möchte man bspw. ein bestimmtes Ergebnis schneller erreichen, bedarf es eines erhöhten Ressourceneinsatzes, sodass als unmittelbare Konsequenz auch die Kosten steigen. Möchte man dagegen einen Prozess beschleunigen, um die Kosten zu reduzieren, geht dies unweigerlich zulasten der Qualität seines Ergebnisses. Soll ein Unternehmensprozess für eine effektive Steigerung der Produktivität insgesamt optimiert werden, muss man also das System selbst verändern. Möglichkeiten dazu bestehen entweder in einer Anpassung der Unternehmensstrukturen, z. B. durch die Veränderung der Personalkompetenzen und -zuständigkeiten, oder durch den Einsatz geeigneter Instrumente (Werkzeuge und Methoden). Die digitale Informationstechnologie bietet mit einem umfassenden Spektrum an Lösungsansätzen im Hard- und Softwarebereich dabei eine Vielzahl zweckmäßiger Instrumente, bei gleichzeitig geringen und im Regelfall beherrschbaren Risiken (siehe Abbildung 3).

Jedes Management- bzw. Planungssystem ist hierarchisch organisiert und besteht – unabhängig davon, wem die einzelnen Aufgaben und Kompetenzen letztlich übertragen werden – aus mindestens drei Ebenen (siehe Abbildung 4). Auf der obersten, *strategischen* Managementebene werden langfristige Ziele definiert, ggf. priorisiert und Kennzahlen zu ihrer Erreichung vorgegeben. Die Akteure auf der Managementebene verfügen innerhalb des zu verwaltenden Systems über weitreichende Entscheidungskompetenz, müssen ihren umfangreichen Zuständigkeitsbereich dafür jedoch ganzheitlich überblicken können. Dies drückt sich durch einen sehr großen lokalen und zeitlichen Betrachtungshorizont aus. Die eigentliche Planung konkreter Maßnahmen findet auf der untergeordneten *taktischen* Ebene statt. Der Betrachtungshorizont und die Entscheidungskompetenz der dortigen Akteure konzentrieren sich dabei immer auf das jeweilige Projekt zur Umsetzung bestimmter strategischer Zielvorgaben. Die technische Ausarbeitung der projektierten Maßnahmen erfolgt schließlich auf der untersten, *operativen* Ebene. Ihre Akteure beschäftigen sich mit der Lösung einzelner Aufgaben und verfügen nur über eingeschränkte Entscheidungsbefugnisse, benötigen dagegen aber ein hohes Maß dedizierter Fachkompetenz.

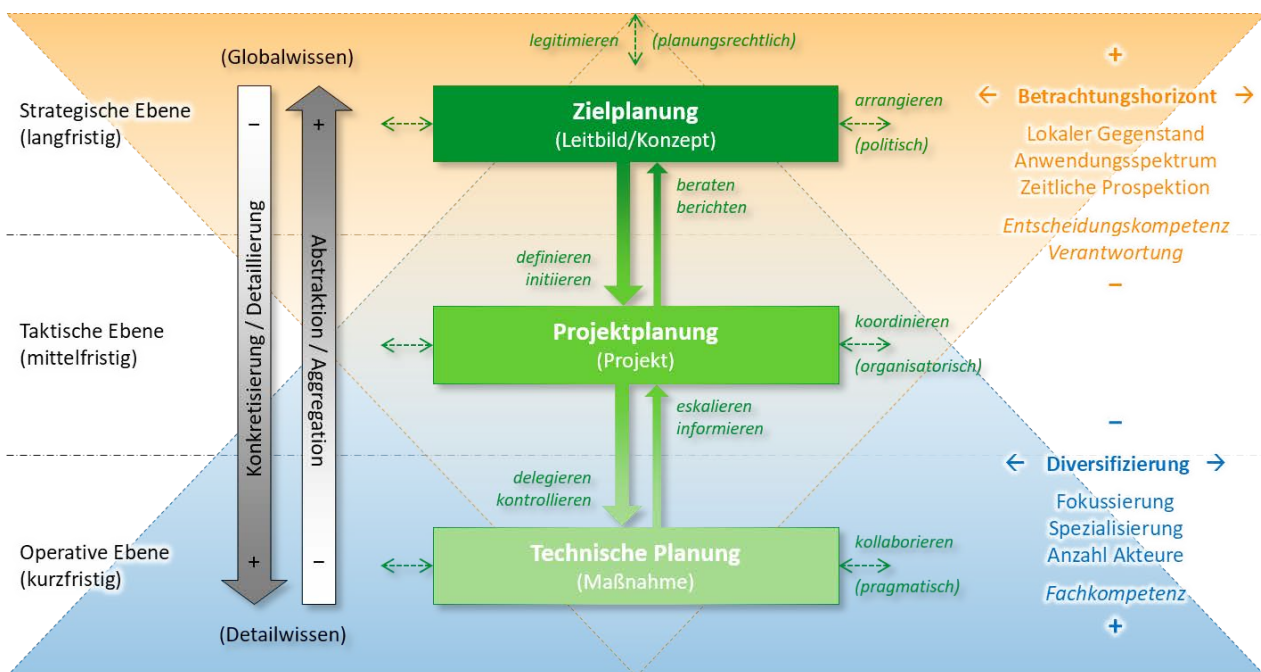


Abbildung 4: Hierarchisches System der Planung ⁶

Kennzeichnend für das hierarchische Planungssystem ist seine zunehmende Fokussierung von der strategischen bis zur operativen Ebene. Damit einhergehend nehmen die Anzahl und fachliche Spezialisierung der Akteure sowie die Konkretisierung des Bearbeitungsgegenstands schrittweise zu. Inhaltlich zeichnet sich das System also durch verschiedene Detaillierungsstufen (Datengranularitäten) aus. Für zielführende Planungsprozesse muss daher eine reibungslose Kommunikation sowohl innerhalb, als auch zwischen den hierarchischen Ebenen gewährleistet sein. Gerade bei komplexen unternehmerischen Aufgaben wie der Digitalen Transformation ist es daher von Bedeutung, zweckmäßige Konzepte für eine transdisziplinäre fachliche Kooperation einerseits und für eine zielführende Koordination des Gesamtprozesses andererseits anzuwenden. Da sich die Effekte strategischer Entscheidungen in der Regel erst langfristig einstellen sowie nicht immer unmittelbar und eindeutig auf bestimmte planerische Maßnahmen zurückzuführen sind, bedarf es zudem geeigneter Methoden für fortlaufendes Monitoring der

⁶ nach Brüggemann T., von Both P.: *Das integrierte Leistand-Produktmodell – Multidimensionales AEC-Produktmodell für das Leistand-basierte Baustellenmanagement großer Infrastrukturmaßnahmen*. In Kirn S., Müller M. (Hrsg.): *Autonome Steuerung in der Baustellenlogistik – Modelle, Methoden und Werkzeuge für den autonomen Erdbau*. Cuvillier Verlag, Göttingen 2013

Prozesse. Um die Nachhaltigkeit von Entscheidungen schließlich bewerten und als Erfahrung für zukünftige Fragestellungen nutzen zu können, muss das Wissen von der operativen bis zur strategischen Ebene wieder zurückfließen. Hierfür sind Aggregationsmechanismen nötig, da auf jeder übergeordneten Stufe weniger technische Details betrachtet werden können.

Entscheidend für den Erfolg und die Risikominimierung jeder digitalen Transformation von Unternehmensprozessen ist die Auswahl des für den spezifischen Einsatzzweck am besten geeigneten Instrumentariums. Auf der strategischen Managementebene werden zunächst klare Ziele formuliert und ggf. priorisiert. Voraussetzung für eine zweckmäßige Zieldefinition ist vor allem verifiziertes Wissen über die eigene Ausgangssituation (bzw. *Ist-Position*) sowie ein Überblick über das gegenwärtige Spektrum an Entwicklungsmöglichkeiten zur Bestimmung der angestrebten *Ziel-Position* des Unternehmens. Sind die Ziele definiert, können auf der taktischen Projektmanagementebene technische Anforderungen an die Instrumente abgeleitet werden. Diese Anforderungen sollten prinzipiell lösungsneutral formuliert sein, um a priori keine Optionen zur technischen Umsetzung auszuschließen. Voraussetzung für eine zielführende Spezifikation wiederum sind, neben sachlicher Kompetenz, vor allem detaillierte Informationen über den Planungsgegenstand bzw. die zu behebende Problemstellung. Im letzten Schritt werden auf Grundlage des Anforderungskatalogs im operativen Unternehmensbereich schließlich konkrete Lösungen analysiert und Maßnahmen zur Umsetzung geplant. Hierfür sind vor allem spezifisches Fachwissen und dezidierte Kenntnisse über den aktuellen Stand der Technik erforderlich.

Die Zielstellung für die Entwicklung einer Landkarte zur Abbildung des Themenfeldes „Digitalisierung in der Fernwärmebranche“ besteht also einerseits darin, der strategischen Managementebene von Versorgungsunternehmen ein Hilfsmittel anzubieten, um die aktuelle Ist-Position im digitalen Transformationsprozess verorten, die individuelle Ziel-Position festlegen und eine *Roadmap* zur Erreichung dieser Ziel-Position erstellen zu können. Zum anderen sollte sich diese Landkarte auch für den unternehmensinternen Kommunikationsprozess der weiteren Projekt- und Maßnahmenplanung (vgl. Abbildung 4) einsetzen lassen. Hierfür muss die Landkarte in der Lage sein, unterschiedliche Detaillierungsgrade und Aggregationsniveaus des Untersuchungsgegenstands kohärent abbilden zu können.

2.2 Handlungsfelder der Digitalen Transformation

Für die Digitale Transformation in der Wirtschaft existieren verschiedene, thematisch abgegrenzte Anwendungsbereiche, welche die organisatorischen Strukturen, Ressourcen und Geschäftsmodelle der Unternehmen grob widerspiegeln.

In der Impuls-Studie „Industrie 4.0-Readiness“⁷ des VDMA wurden bereits sechs anwendungsbezogene Sektoren bzw. thematische *Handlungsfelder* für den Maschinen- und Anlagenbau identifiziert. Das Handlungsfeld „Smart Operations“ umfasst dabei alle integrativen Prozesse, die zur Herstellung eines Produkts erforderlich sind. Hierzu zählen bspw. die Betriebsplanung und -führung, d. h. die Steuerung und Kontrolle der eingesetzten Assets. Sie interagieren also unmittelbar mit den betrieblichen Anlagen, die wiederum ein eigenes abgegrenztes Handlungsfeld bilden, das unter dem Begriff „Smart Factory“ zusammengefasst wird. Alle thematischen Aspekte im direkten Zusammenhang mit dem angestrebten Endresultat der „Smart Operations“ – also dem herzustellenden Produkt – werden dagegen durch das Handlungsfeld „Smart Products“ beschrieben.

⁷ Lichtblau K., Stich V. et al.: *INDUSTRIE 4.0-Readiness*. Studie im Auftrag der IMPULS-Stiftung des VDMA, Aachen und Köln, 2015

Als weitere Handlungsfelder identifizierten die Macher der Studie „Strategie und Organisation“, „Mitarbeiter“ sowie „Data-driven-Services“. „Strategie und Organisation“ adressiert dabei die Kultur (bspw. Zielplanung, Compliance, Innovations- und Investitionsbereitschaft), die Führung (bspw. Leitbilder und Managementmethoden) sowie die Organisation (bspw. Unternehmensstrukturen, Verwaltungsroutinen und Regeln) eines Unternehmens. Beim Handlungsfeld „Mitarbeiter“ geht es dagegen um die Kompetenz, Verfügbarkeit und die Partizipation (Kapazität und Einsatzbereitschaft) des Personals. Nicht inbegriffen sind die Definitionen kompetenzbezogener Rollen und die Zuordnung von Zuständigkeiten. Hierbei handelt es sich um integrale Bestandteile der Definition von Unternehmensstrukturen, die im Bereich „Strategie und Organisation“ verortet werden. Das letzte Handlungsfeld „Data-driven Services“ umfasst als Querschnittsthema schließlich datenbasierte Analysen, Auswertungen und Dienstleistungen über alle Unternehmensbereiche und Handlungsfelder hinweg.

2.3 Strategische Bedeutung der Digitalen Transformation

Die laufende Fortentwicklung eines Unternehmens – sowohl in Bezug auf die Steigerung der Produktivität als auch hinsichtlich einer erfolgreichen Positionierung am Markt durch Entwicklung adäquater Kundenlösungen (Produkte und Dienstleistungen) – ist zentrale Aufgabe des Managements. Das Management bedient sich dazu zielführender Instrumente, d. h. geeigneter *Methoden* und *Werkzeuge* (Managementverständnis). Die moderne Informations- und Kommunikationstechnik bietet zahlreiche disruptive Technologien, die etablierte Geschäftsmodelle und -verfahren binnen kurzer Zeit weitestgehend verdrängen oder vollständig ersetzen. Ihre Einführung bietet jedoch erhebliche Potenziale, die im Vergleich zu etablierten Instrumenten wie bspw. Restrukturierungsmaßnahmen, Standortverlagerungen oder Aufstockungen der Personalkapazitäten ungleich höher sind. Außerdem ist davon auszugehen, dass es sich mit dem Risiko einer Nichtnutzung der beträchtlichen Chancen ebenso verhalten wird wie in den historischen Phasen der Industriellen Revolution. Es existieren bereits zahlreiche prominente Belege für gescheiterte Unternehmensstrategien, die gravierende Umbrüche in der digitalen Entwicklung nicht oder zu spät erkannt haben. Hierzu zählen bspw. Nokia (einstiger Weltmarktführer in der Sparte der Mobiltelefone), das den Trend zu Smartphones unterschätzte, ebenso wie Kodak (digitale Fotografie) oder das ehemalige Versandhaus Quelle.

Vor der Einführung neuer Instrumente sollte ihre Zweckdienlichkeit zunächst in Bezug auf ihre Eignung (Wirksamkeit) und ihre Verhältnismäßigkeit (Kosten- bzw. Schaden-/Nutzen-Verhältnis) geprüft werden. Die Managementaufgabe besteht demzufolge darin, den Einsatz der Mittel der Digitalisierung zielführend, maßvoll und verantwortungsbewusst zu gestalten. Auf diese Weise lässt sich schließlich auch der maßgebliche Beitrag der Fernwärme zur Gestaltung des Energiesystems für heute, morgen und die kommenden Jahrzehnte sicherstellen.

3. Stand der Technik

Im folgenden Kapitel wird auf zwei wichtige Themenkomplexe im Bereich der Digitalisierung eingegangen. Im Abschnitt „Digitale Datenübertragungstechnologien“ wird das „Rückgrat“ der Digitalisierung mit seinen technischer Bedeutung und möglichen Technologien beschrieben. Im Abschnitt „Digitale Trendthemen“ wird auf derzeit häufig genutzte Begrifflichkeiten eingegangen, sowie deren Bedeutung für die verschiedenen Bereiche der Fernwärme erläutert.

3.1 Digitale Datenübertragung

Die digitale Datenübertragung ist das wesentliche Instrument der ersten Digitalisierungsstufe (vgl. Abbildung 2). Sie bildet die Voraussetzung für eine Vernetzung der Unternehmensressourcen und damit auch die Basis für alle weiteren Schritte der Digitalen Transformation.

Moderne Kommunikationslösungen zur einfachen Überbrückung großer räumlicher Distanzen sind dabei nicht nur, aber vor allem für solche Unternehmen interessant, deren zu steuernde oder kontrollierende Assets eine weite lokale Verteilung aufweisen. Dies trifft grundsätzlich auf alle Fernwärmesysteme zu. Durch den zunehmenden Druck zur Dezentralisierung und Flexibilisierung der Netze im Zuge der Wärmewende werden geeignete Instrumente zur digitalen Datennah- und -fernübertragung jedoch zu einer zwingenden Voraussetzung für die nachhaltige Unternehmensentwicklung.

3.1.1. Leitungsgebundene Infrastrukturen

Die leitungsgebundene Datenübermittlung bildet nach wie vor das Rückgrat der digitalen Kommunikation. Ihre prinzipiellen Vorteile im Vergleich zu erd- oder satellitengestützten Funktechnologien liegen in einer stärker skalierbaren Kapazität, der Realisierung maximaler Bandbreiten sowie in ihrer Stabilität, da sie generell unempfindlicher gegenüber externen Störungseinflüssen (bspw. durch das Wetter, kosmische Ereignisse oder Überlagerung elektromagnetischer Wellen) sind. Aus diesem Grund werden die primären globalen Datenströme über ein internationales Netzwerk weitestgehend unabhängiger Knotenpunkte („Internet Backbone“) gelenkt, die über lokal fixierte Datenkabel mit- bzw. untereinander verbunden sind. Zudem erlaubt die leitungsgebundene Kommunikation grundsätzlich auch ein höheres Maß an Sicherheit, da sich übermittelte Signale nicht ohne einen direkten physischen Zugriff auf das Netzwerk abfangen lassen und sich eine reale, ortsgebundene Leitungsinfrastruktur theoretisch lückenlos überwachen lässt.

Die Nachteile der kabelgebundenen Datenübertragung liegen dagegen in den Investitions- und Instandhaltungskosten für ihre Leitungsinfrastruktur sowie einer ausschließlich stationären Nutzbarkeit (bei allen unmittelbaren Verbindungen).

3.1.1.1. Lokale leitungsgebundene Netze

Bei kritischen Anforderungen an die Performanz, Stabilität und Sicherheit bei der Datenübertragung in geschlossenen Systemen – bspw. innerhalb von staatlichen Einrichtungen, Firmen und Organisationen – werden noch heute bevorzugt lokale leitungsgebundene Netze eingesetzt. Diese sog. *Local Area Networks (LAN)* werden in der Regel innerhalb von Gebäuden oder zusammenhängenden Gebäudekomplexen aufgebaut und verfügen normalerweise über eine dedizierte Leitungsinfrastruktur. Für die unmittelbare Benutzung (also vorbehaltlich eines mittelbaren Zugriffs über Subnetze mit Funktechnologie) muss der Anwender sein Endgerät über eine physische Kopplung direkt mit dem Leitungsnetzwerk verbinden. Der Datenaustausch erfolgt dabei über serielle Hardwareschnittstellen.

Im Laufe der Zeit konnten sich verschiedene technische Standards und Normen für LAN etablieren. Während ältere Technologien für die Übertragung noch einadrige Koaxialleitungen nutzten, realisieren aktuelle Standards wesentlich höhere Bandbreiten durch den Einsatz vieladriger Kupferkabel (z. B. *RJ-45 Twisted Pair CAT-5/6/7/8*) oder hochperformanter Lichtwellenleiter (z. B. *OM1/2/3*). Der Einsatz lichtwellenleitender Glasfaserkabel ermöglicht dabei auch störungs- und verlustfreie Verbindungen über große Distanzen hinweg.

Eine kostengünstige Alternative der leitungsgebundenen Kommunikation zu dedizierten LAN stellt die Nutzung der bereits vorhandenen stromführenden Verkabelung von Gebäuden dar. Mit *Powerline Communication (PLC)* bzw. *PowerLAN*⁸ lassen sich digitale Nachrichtensignale simultan mit der Stromzuführung über die Leitungen eines lokalen Niederspannungsnetzes übertragen. Hiermit ist ebenfalls ein hoher Datendurchsatz möglich, der jedoch nicht an die Kapazität von dedizierten LAN heranreicht. Außerdem ist die Stabilität von PLC aufgrund elektromagnetischer Interferenzen mit dem Stromnetz eingeschränkt. Die maximale Reichweite einer störungsfreien Verbindung zwischen Sender und Empfänger ist daher begrenzt. Negative Einflüsse auf die Funktion empfindlicher elektrischer Verbraucher können zudem nicht ausgeschlossen werden.

Für besondere Einsatzzwecke, bspw. in industriellen Anlagenparks, oder bei sehr restriktiven Anforderungen an die Kommunikationssicherheit innerhalb von Einrichtungen kommen außerdem proprietäre lokale Datenleitungsnetze zum Einsatz. Bei diesen anwendungsspezifischen *Corporate Networks (CN)* handelt es sich zumeist um isolierte Inselnetze, die nicht auf einheitlichen Industriestandards aufbauen oder allgemeinen normativen Spezifikationen genügen müssen.

3.1.1.2. Regionale leitungsgebundene Netze

Aufgrund ihrer skalierbaren Kapazität und hohen Stabilität sind kabelgebundene Netze für den Datenaustausch über mittlere bis größere Distanzen im urbanen bzw. regionalen Raum unerlässlich. Breitbandige Verbindungen zwischen den Telekommunikationsnetzbetreibern und Endkunden sowie sekundären Subnetzen erfolgen heute noch in erster Linie über physische, ortsgebundene Leitungsinfrastrukturen.⁹

Aktuell wird für diesen Zweck vornehmlich das öffentliche Telefonnetz (*Public Switches Telephone Network, PSTN*) genutzt, bei dem spezielle Übertragungsschichten im verfügbaren Frequenzband für die digitale Datenübertragung mittels *DSL-Technik (Digital Subscriber Line)* reserviert werden. Das PSTN ist grundsätzlich national verfügbar, seine Kapazität variiert regional aber noch stark. Während die Leitungsinfrastruktur in urbanen Räumen sukzessive auf moderne Glasfaserkabel umgerüstet und das Frequenzband ständig ausgebaut wird, dominieren in ländlichen Regionen noch immer alte Kupferleitungen mit limitierter Bandbreite für die digitale Datenübertragung. Dem weiteren Ausbau der Glasfaserinfrastruktur wird das größte Potenzial bei der Steigerung der Übertragungsraten zugeschrieben.

Eine öffentlich zugängliche Alternative zum PSTN besteht in den TV-Kabelnetzen, die in den letzten Jahren ebenfalls ausgebaut und schrittweise auf Glasfaserleitungen umgerüstet wurden. Mit ihnen lassen sich höhere Bandbreiten als mit aktueller DSL-Technik erreichen, jedoch sind die Kabelbreitbandnetze nicht flächendeckend verfügbar und konzentrieren sich nahezu ausschließlich auf dicht besiedelte Ballungsräume.

⁸ IEEE Standards Organisation: 1901-2010 – *IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks*. Online: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5678772>, zugegriffen am 15.03.2019

⁹ Kammeyer K.-D., Bossert M.: *Nachrichtenübertragung*. Vieweg + Teubner, Wiesbaden 2011

Die mangelhafte Flächenabdeckung bei performanten Breitband-Kommunikationsanbindungen stellt bis heute ein gravierendes Defizit für die digitale Transformation der deutschen Volkswirtschaft dar. Ein vielversprechender Lösungsansatz liegt daher auch in der *Smart Powerline-* bzw. *Trägerfrequenz-Technologie (Trägerfrequenz-Nachrichten-Übertragung über Hochspannungsnetze, TFH)*. Damit ist es grundsätzlich möglich, simultan zur Stromführung auch Nachrichtensignale über das flächendeckend ausgebaute Hoch- und Mittelspannungs-Elektrizitätsnetz bis zum Endkunden zu transportieren. Aufgrund problematischer Interferenzen mit der Stromübertragung konnte die Technik bislang jedoch nicht in die Praxis überführt werden und hat bis heute einen prototypischen Status.¹⁰ Einige Stromnetzbetreiber setzen TFH jedoch in eingeschränktem Rahmen für eigene Zwecke ein.

Neben der öffentlich zugänglichen, kommerziellen Datenübertragungsinfrastruktur existieren auch im urbanen, regionalen oder überregionalen lokalen Kontext noch zahlreiche *Corporate Networks*. Dabei handelt es sich zumeist um isolierte Inselnetze zur ausschließlich privaten Nutzung. Betreiber großer Privatnetzwerke sind sowohl staatliche als auch private Einrichtungen mit verteilten Standorten wie bspw. die Bundeswehr oder die Deutsche Bahn AG. Viele Unternehmen koppeln über solche Datenverbindung einzelne Standorte oder sichern sich eine stabile und performante Breitbandanbindung durch den direkten Anschluss an zentrale Internetknotenpunkte über proprietäre Leitungsinfrastrukturen (Standleitungen). Aber auch bei den integrierten Datenleitungen zur Leckageortung in Kunststoffmantelrohrsystemen handelt es sich p. D. um Corporate Networks, die den Fernwärmenetzbetreibern ggf. auch für erweiterte Anwendungszwecke offenstehen.

3.1.2. Kabellose Datenkommunikation

Die technischen Fortschritte bei der kabellosen Datenübertragung waren ein maßgeblicher Auslöser des beschleunigten digitalen Wandels in Wirtschaft und Gesellschaft. Dieser Transformationsprozess ist auch heute noch nicht abgeschlossen. Eine wesentliche Grundlage für die Digitale Transformation ist die allgegenwärtige, durchdringende und flexible Vernetzung von Menschen und Dingen. Daher gewinnen gerade die funkgestützten Kommunikationstechnologien immer mehr an Bedeutung und haben sich in den letzten Jahren rasant weiterentwickelt.

3.1.2.1. Überblick

Ein Großteil des digitalen Datenverkehrs wird heute über hybride Infrastrukturen abgewickelt, bei denen Nutzer über funkgestützte, verteilte Einwahlknoten Zugang zum globalen, zumeist leitungsgebundenen Kommunikationsnetzwerk erhalten. Der mobile Zugriff auf digitale Dienstleistungen erhöht einerseits die Flexibilität der Nutzer; andererseits werden dadurch auch das Anwendungsspektrum der digitalen Dienstleitungen entscheidend erweitert und neue Möglichkeiten geschaffen.

Mittlerweile konnten sich zahlreiche Standards und Produkte für die kabellose digitale Datenkommunikation etablieren (siehe Abbildung 5).¹¹ Diese Technologien sind jedoch nicht oder nur teilweise austauschbar, sondern zumeist für spezifische Anwendungskontexte ausgelegt. Wesentliche Unterschiede bestehen einerseits in ihrer Bandbreite, also dem maximalen Datendurchsatz pro Zeiteinheit, und andererseits in ihrer Reichweite, also der maximalen räumlichen Distanz zwischen Sender und Empfänger für einen stabilen Verbindungsaufbau. Ein weiteres wichtiges Unterscheidungsmerkmal für mobile Kommunikationseinheiten besteht außerdem in ihrem Stromverbrauch, da Kapazität und Größe der Akkumulatoren

¹⁰ LEW Verteilnetz GmbH: *Pilotprojekt Smart Powerline*. Online: <https://www.lew-verteilnetz.de/stromnetz/netz/aktuelle-projekte/pilotprojekt-smart-powerline>, zugegriffen am 15.03.2019

¹¹ 3rd Generation Partnership Project (3GPP): *Technologies*. Online: <https://www.3gpp.org/technologies>, zugegriffen am 14.03.2019

oder Batterien über die maximale Einsatzdauer und damit auch die Mobilität entscheiden. Je höher der Stromverbrauch einer Einheit, desto kürzer ihre maximale Einsatzdauer bzw. desto größer und schwerer die für eine bestimmte Einsatzdauer benötigte Batterie (zulasten der Transportfähigkeit bzw. des energetischen Transportaufwands).

Der sinnvolle Einsatz einer bestimmten Technologie hängt also von den individuellen Anforderungen des jeweiligen Anwendungskontexts ab. Manche Standards wurden auch für sehr spezifische Einsatzzwecke konzipiert. Die digitalen Funktechnologien lassen sich grundsätzlich fünf verschiedenen, teilweise funktionsbezogenen Kategorien zuordnen: den *Wireless Personal Area Networks (WPAN)*, terrestrischen *Mobilfunknetzen*, *Smart Home* Netzwerken, der *Near Field Communication (NFC)*, den *Low Power Wide Area Networks (LPWAN)* sowie satellitengestützten Funkverbindungen (bspw. VSAT oder globale Satellitennavigationssysteme wie *GPS*).

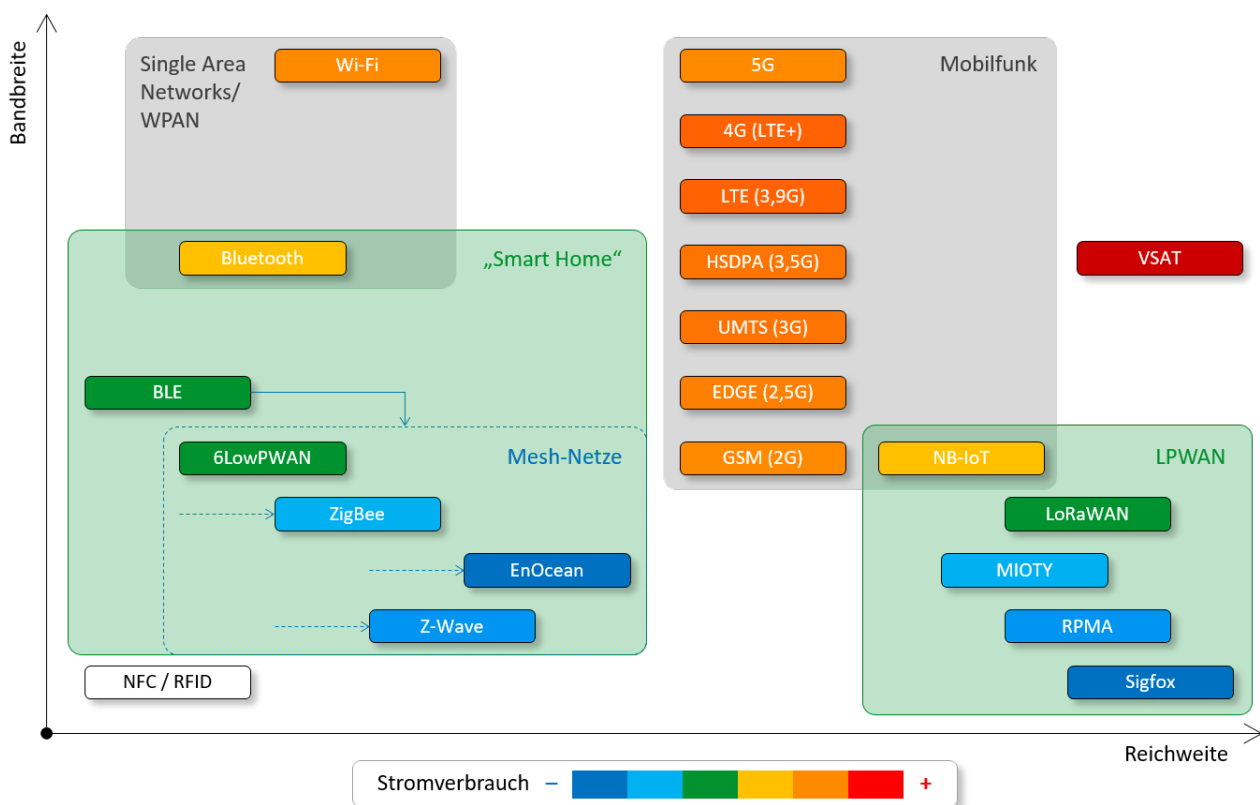


Abbildung 5: Ausgewählte Standards und Produkte für kabellose digitale Datenkommunikation

Single Area Wireless Networks bzw. Wireless Personal Area Networks (WPAN)

Wireless LAN bzw. *Wi-Fi* und *Bluetooth* dienen dem Aufbau von Ad-Hoc-Netzen mit mittel- bis breitbandigen Funkverbindungen über kurze Distanzen¹². Ihr Einsatz erfolgt zumeist im Bereich der persönlichen Datenkommunikation. Sie können auch als beinahe vollwertige Alternative zu kabelgebundenen LAN eingesetzt werden. Öffentliches WLAN (*Public Wi-Fi*) ergänzt im urbanen Raum zunehmend auch lizenzkostenpflichtige Mobilfunknetze, jedoch ist aufgrund der eingeschränkten Reichweite und Konnektivität dazu der Aufbau einer engmaschigen Infrastruktur von Einwahlknoten (Routern) nötig, die jeweils wiederum einen direkten lokalen Zugang zu leitungsgebundenen Kommunikationsnetzen benötigen.

¹² IEEE Standards Organisation: *IEEE 802.15™ – Wireless Personal Area Networks*. Online: <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.15.html>, zugegriffen am 15.03.2019

Mobilfunkstandards zur Datenübertragung

Wie ein WLAN-Knoten sind auch Mobilfunknetze zellulär aufgebaut. Ihre Zellen verfügen jedoch über eine wesentlich höhere Reichweite. Für die digitale Datenübertragung über das Mobilfunknetz wurden mehrere Technologien standardisiert (2G bis aktuell 5G)¹¹, die sukzessive immer höhere Bandbreiten bei geringeren Latenzen ermöglichen. Da diese Standards ab der dritten Generation jedoch eigene Frequenzbänder nutzen und dafür nach und nach eine dedizierte Hardwareinfrastruktur aufgebaut werden muss, ist die Netzabdeckung regional sehr unterschiedlich ausgeprägt. Das Angebot schneller Verbindungen konzentriert sich momentan noch stark auf die Ballungsräume.

Die Mobilfunk-Infrastruktur wird von kommerziellen Anbietern aufgebaut und betrieben, sodass für eine Nutzung Gebühren anfallen. Da die größere Zellstruktur zudem stärkere Senderkomponenten in den Endgeräten benötigt, ist die spezifische Leitungsaufnahme (pro kommunizierter Binäreinheit) im Vergleich zu Wi-Fi höher. Mit dem neuen Standard 5G soll der Energieverbrauch gegenüber älteren Mobilfunkgenerationen jedoch signifikant gesenkt werden.

Weitere anwendungsspezifische Kategorien bilden die Smart Home Networks und Low Power Wide Area Networks (LPWAN). Sie werden wie die Near Field Communication (NFC) bzw. Radio-Frequency Identification (RFID) dem Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) zugeschrieben (siehe Abbildung 6). Hierbei handelt es sich um einen Sammelbegriff für digitale Technologien des 21. Jahrhunderts, die es ermöglichen, physische und virtuelle Objekte mittels Informations- und Kommunikationstechnik miteinander zu vernetzen.

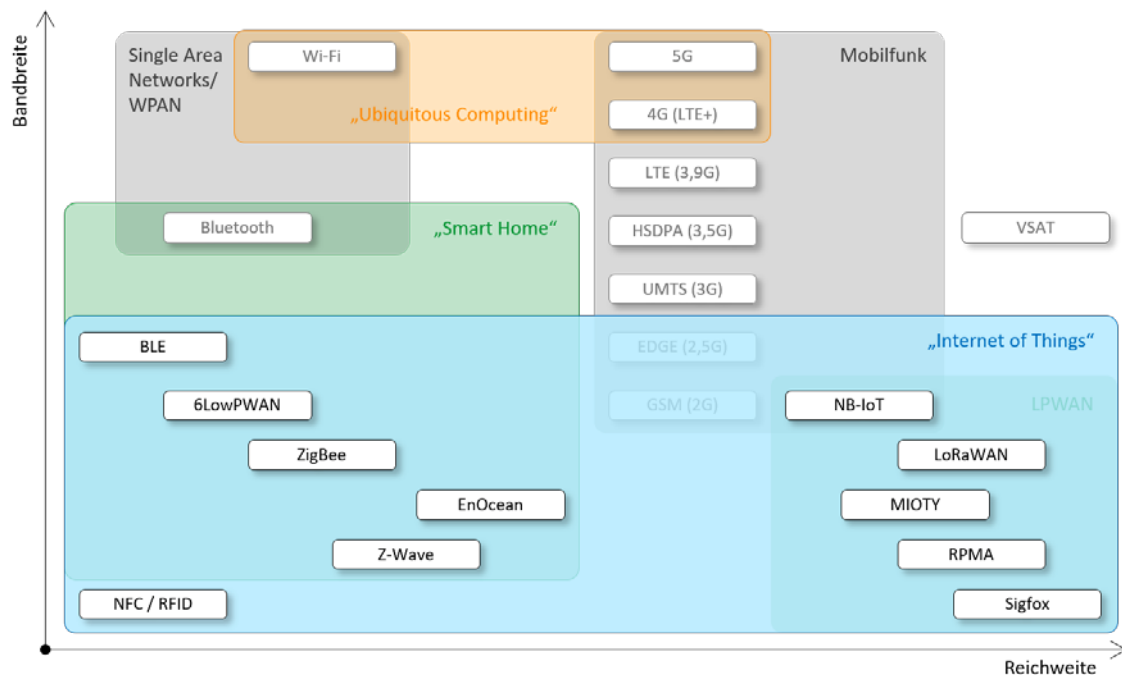


Abbildung 6: Kontextuelle Eingrenzung des Internets der Dinge (Internet of Things)

3.1.2.2. Smart Home Networks

Der Sammelbegriff *Smart Home* bzw. *Smart Building* steht für Technologien des Internets der Dinge zur Steuerung, Automatisierung und Optimierung technischer Abläufe innerhalb von Gebäuden.¹³ Sie dienen

¹³ DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE: *Die Deutsche Normungs-Roadmap Smart Home + Building – Status, Trends und Perspektiven der Smart Home + Building Normung*. VDE e.V. (Hrsg.), Frankfurt 2013

sowohl einer Steigerung der energetischen Effizienz der inneren technischen Gebäudeinfrastruktur als auch einer Verbesserung des Komforts und der individuellen Behaglichkeit ihrer Nutzer. Gesteuert werden können u. a. Haushaltsgeräte (bspw. Kühlschränke, Waschmaschinen, Unterhaltungselektronik) und Haustechnik (bspw. Raumheizung, Beleuchtung, Sonnenschutz, Belüftung, Alarmanlagen), aber auch Anlagen zur dezentralen Energie- und Wärmeerzeugung (bspw. Mikro-BHKW, Photovoltaikanlagen, Wärmepumpen und Speicher). An der Schnittstelle von Smart Home Networks zu zentralen Energieversorgungsstrukturen, sowohl im Strom- und Gas- als auch im Fernwärmesektor, steht außerdem das Smart Metering.

Durch den stetig fortschreitenden Trend der Dezentralisierung im Strom- und Wärmesektor ergibt sich durch eine intelligente Kopplung von verteilten Prosumern gehörenden Smart Home-Steuerungssystemen mit den zentralen Netzleitwarten der Versorgungsunternehmen das Potenzial einer ganzheitlichen, netzdienlichen Integration. Beispiele dafür sind eine vorausschauende Laststeuerung von Verbrauchern (*Demand-Side-Management, DSM*) oder der Aufbau *virtueller Kraftwerke* durch die Zusammenschaltung und Einsatzoptimierung dezentraler Erzeugungseinheiten. Gerade für Fernwärmenetze mit ihrer systemimmanenten Latenz liegt in diesen Lösungsansätzen eine beträchtliche Chance, die durch eine fortschreitende Dezentralisierung kontinuierlich steigende Komplexität und Dynamik im Netzbetrieb handhabbar zu machen.

Erste Standards für Smart Home Networks kommunizierten noch über kabelgebundene Datenleitungen (bspw. *DMX, KNX-TP, SmartPLACE, BeoLink*) oder das Niederspannungs-Stromnetz (bspw. *LCN, KNX-PL, X10*). Für einen flexibleren Einsatz konnten sich mittlerweile aber vor allem Technologien mit funkgestützter Datenkommunikation etablieren. Dabei haben Smart Home Devices, die herkömmliche Wi-Fi- oder Bluetooth-Verbindungen nutzen, den gravierenden Nachteil, dass sie aufgrund des relativ hohen Stromverbrauchs für die Datenkommunikation auf eine stetige Versorgung mit Hilfsenergie angewiesen sind. Diese Geräte können daher nur stationär an Stellen mit Zugang zur Hausstromversorgung eingesetzt werden. Für die mobile Anwendung oder zur nachträglichen Vernetzung bestehender Hausinfrastrukturen ist dies oftmals ein Problem. Aus diesem Grund wurden spezielle Technologien für funkgestützte Smart Home Networks entwickelt, die sich durch einen deutlich reduzierten Energieverbrauch sowie eine kompakte Bauform auszeichnen und so flexibel einsetzen lassen (vgl. Abbildung 5):

BLE

Der Standard *Bluetooth Low Energy (BLE)* bzw. *Bluetooth Smart*¹⁴ baut auf dem weit verbreiteten und mittlerweile freien WPAN-Standard Bluetooth auf, ist aber nicht kompatibel zu diesem. Wie mit Bluetooth werden auch via BLE bidirektionale Funkverbindungen zwischen zwei Geräten über kurze Distanzen aufgebaut. Beide Standards arbeiten im lizenzfreien 2,4-GHz-ISM-Band. Jedoch benötigt BLE für die Datenübertragung eine deutlich geringere Leistungsaufnahme, sodass sich die Geräte über lange Zeiträume mit Batterien versorgen lassen. Allerdings ist auch die Bandbreite gegenüber Bluetooth stark reduziert (max. 500 kb/s) und es können lediglich Reichweiten von bis zu zehn Metern überbrückt werden.

¹⁴ Bluetooth SIG: *Bluetooth Smart*[®]. Online: <http://www.bluetooth.com/Pages/Bluetooth-Smart.aspx>, zugegriffen am 14.03.2019

6LoWPAN

Das Kommunikationsprotokoll *IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN)*¹⁵ nutzt eine ähnliche Übertragungstechnik wie BLE. Jedoch lassen sich mittels 6LoWPAN bereits deutlich höhere Reichweiten erzielen. Möglich wird dies durch das sog. „Mesh-Routing“, bei dem nicht nur ein dezidiertes Kommunikationskanal zwischen zwei Netzwerkknoten, sondern auch ein dynamisch vermaschtes Netz zwischen allen Knoten aufgebaut wird. Neben der Kommunikation der eigenen Signale leitet jedes Gerät gleichzeitig auch alle an andere Geräte im Netzwerk adressierten Nachrichten weiter. Auf diese Weise wird die Reichweite des gesamten Netzes mit jedem weiteren Teilnehmer vergrößert. So können auch bauliche Barrieren wie Wände oder Decken überbrückt werden. Jedoch wächst mit der Teilnehmerzahl sukzessive auch der Kommunikationsaufwand jedes einzelnen Geräts. Um den analog steigenden Energiebedarf für die Datenübertragung zu senken, mussten daher die maximale Länge einer Nachricht und ihre Anzahl pro Zeiteinheit limitiert werden. Der Datendurchsatz von 6LoWPAN ist somit deutlich geringer als bei BLE.

ZigBee

*ZigBee*¹⁶ ist ein freier Standard, der mittlerweile von zahlreichen Haustechnik-Herstellern unterstützt wird. Als Kommunikationseinheit dienen sehr kompakte und sparsame Module, die sich auch in kleinen Devices wie bspw. Lichtschaltern unterbringen lassen. Auch ZigBee verwendet das Prinzip des Mesh-Routings, jedoch ist die maximale Größe einer Masche (Distanz zwischen zwei Teilnehmern) mit ca. 100 Metern beinahe zehnmal so hoch wie bei 6LoWPAN. Mit ZigBee lassen sich daher theoretisch Netze von mehreren Kilometern Ausdehnung aufbauen. Die Reduzierung des Energiebedarfs und die Erhöhung der Reichweite gegenüber 6LoWPAN werden durch eine weitere Reduzierung des maximalen Datendurchsatzes auf 250 kb/s ermöglicht.

Z-Wave

Ein konkurrierender Standard zu ZigBee ist *Z-Wave*¹⁷. Anders als ZigBee ist Z-Wave jedoch nicht herstellerneutral, sondern wird durch das Unternehmen Sigma Designs entwickelt und lizenziert. Dennoch hat der Standard mittlerweile die größte Marktdurchdringung aller drahtlosen Smart Home Kommunikationsplattformen. Der technische Aufbau ähnelt dem von ZigBee, jedoch beträgt die Funkdistanz zwischen zwei Teilnehmern bis zu 150 Meter, sodass sich mit Z-Wave noch höhere Reichweiten realisieren lassen. Die Datenrate ist dagegen jedoch auf maximal 100 kb/s und die Teilnehmerzahl eines Mesh-Netzwerks auf 232 Geräte begrenzt.

EnOcean

Neben ZigBee und Z-Wave ist der noch relativ junge Smart Home Funkstandard *EnOcean*¹⁸ am weitesten verbreitet. Auch EnOcean setzt für den Verbindungsaufbau auf die Mesh-Netzwerktopologie. Er unterscheidet sich von den anderen Systemen vor allem durch das Prinzip des sog. „Energy Harvesting“, bei dem die Kommunikationseinheiten bspw. in Schaltern oder Tastern durch die Nutzung von Piezoelektrizität batterieles arbeiten können. Auch bei der maximalen Funkreichweite von 300 Metern ist EnOcean

¹⁵ IETF 6lowpan Working Group: *6LoWPAN – IPv6 over Low-Power Wireless Area Networks*. Online: <http://6lowpan.tzi.org>, zugegriffen am 14.03.2019

¹⁶ ZigBee Alliance: *ZigBee 3.0*. Online: <https://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee-3-0>, zugegriffen am 14.03.2019

¹⁷ Z-WAVE ALLIANCE: *About Z-Wave Technology*. Online: https://z-wavealliance.org/about_z-wave_technology, zugegriffen am 14.03.2019

¹⁸ EnOcean Alliance: *Was ist EnOcean?* Online: <https://www.enocean-alliance.org/de/was-ist-enocean>, zugegriffen am 14.03.2019

den anderen Standards überlegen. Der simultane Datendurchsatz eines Enocean-Netzwerks ist dagegen auf 125 kb/s limitiert.

3.1.2.3. NFC

Bei der *Near Field Communication (NFC)*¹⁹ handelt es sich um einen internationalen Standard für die kontaktlose digitale Datenübertragung im Nahfeldbereich. NFC nutzt dafür die Technik der *Radio-Frequency Identification (RFID)*, bei der Daten von passiven Sendeeinheiten – speziellen Transponder-Chips mit metallischen Spulen, die sich bspw. auch in Etiketten integrieren lassen – per elektromagnetischer Induktion durch einen Empfänger ausgelesen werden können. Ein Sender benötigt damit keine eigene Energieversorgung, jedoch ist die Reichweite einer Verbindung auf wenige Meter oder Zentimeter begrenzt.

NFC kommt bereits in vielen Anwendungsbereichen zum Einsatz, bspw. im kontaktlosen Zahlungsverkehr, beim Onlinebanking, bei Zugangskontrollsystemen (elektronischer Schlüssel) oder bei automatischen Kassensystemen im Handel (elektronisches Etikett). Aber auch für zahlreiche Unternehmensprozesse ergeben sich sinnvolle Einsatzmöglichkeiten, um die Effizienz standardisierter Routinen zu verbessern. Prädestiniert ist die Technologie etwa für die Inventarisierung von Gütern oder die Konfektionierung und Kommissionierung von Bestellungen. In der Logistikbranche wurden zur digitalen Erfassung von Stückgütern bislang vornehmlich optische Systeme zum Auslesen grafischer Codes eingesetzt, die nun jedoch zunehmend von der RFID-Technologie abgelöst werden.

3.1.2.4. LPWAN

Der Sammelbegriff *Low Power Wide Area Networks (LPWAN)* steht für eine Reihe von herstellernerutralen Standards und kommerziellen Technologien für digitale Funknetzwerke mit großer Reichweite, bei gleichzeitig jedoch sehr geringem Energiebedarf der Endgeräte.²⁰ Der niedrige Energiebedarf erhöht die Flexibilität des Einsatzes maßgeblich, da lange Betriebszeiten eine Nutzung ohne stationäre Stromversorgung ermöglichen. Neben einer hohen Reichweite ist außerdem auch die Durchdringung baulicher Strukturen in der Regel deutlich höher als bspw. bei Mobilfunk- oder Wi-Fi-Netzen. Die LPWAN-Technologien wurden speziell für das Internet der Dinge entwickelt, um räumlich weit verteilte oder mobile Sensoren und Aktuatoren zu vernetzen.

Mittlerweile konnten sich mehrere LPWAN-Technologien am Markt etablieren. Die wichtigsten sind (für einen detaillierten Vergleich siehe Tabelle 1):

NB-IoT

Das *NarrowBand for the Internet-of-Things (NB-IoT)*²¹ bzw. *LTE-M* oder *LTE Cat NB1* ist ein kommerziell genutzter LPWAN-Standard, der auf bestehenden Mobilfunknetzen basiert und ihre bereits vorhandene Infrastruktur nutzt. NB-IoT bietet gegenüber den Mobilfunkstandards für die persönliche Kommunikation alle wesentlichen Vorteile eines LPWAN, vor allem die Durchdringung baulicher Strukturen und der Energiebedarf der Endgeräte sind stark verbessert. Im Vergleich zu den meisten konkurrierenden LPWAN-Technologien kann der Standard bereits eine gute Netzabdeckung vorweisen. Außerdem bietet er eine

¹⁹ Leibniz Universität Hannover: *Center for Near Field Communication Management*. Online: <https://www.cnm.uni-hannover.de/nfc.html>, zugegriffen am 14.03.2019

²⁰ Kompetenzzentrum Öffentliche IT des BMI: *Funkende Dinge*. Online: <https://www.oeffentliche-it.de/-/funkende-dinge>, zugegriffen am 15.03.2019

²¹ Telekom IOT: *NarrowBand IoT – Das Maschinen- und Sensorennetz*. Online: <https://iot.telekom.com/iot-de/konnektivitaet/narrowband-iot>, zugegriffen am 14.03.2019

relativ hohe Bandbreite, sodass sich ein Einsatz vor allem für Anwendungen mit einem stärkeren Datenaufkommen empfiehlt. Die Nachteile von NB-IoT liegen dagegen in einer vergleichsweise geringen Reichweite, einem höheren Energiebedarf sowie den anfallenden Gebühren für die Netznutzung. Angeboten wird NB-IoT mittlerweile von allen großen Mobilfunknetzbetreibern (Deutsche Telekom, Vodafone und Telefónica). Wie bei Mobiltelefonen ist für den Netzzugang jedes Endgeräts eine Authentifizierung mittels SIM-Karte erforderlich.

LoRaWAN™

Das *Long Range Wide Area Network (LoRaWAN™)*²² bezeichnet ein frei verfügbares, bidirektionales LPWAN-Übertragungsverfahren. Der Standard hat mittlerweile eine sehr hohe Verbreitung (aktuell wurden über 700 Netze in über 100 Ländern aufgebaut) und wird bereits von zahlreichen Hardware- und Geräteherstellern unterstützt. Anders als NB-IoT muss für ein LoRaWAN-Netz eine eigene Infrastruktur aufgebaut werden, die aus einer zentralen Servereinheit sowie verteilten Einwahlknoten (Gateways) besteht. Einwahlknoten und Server werden in der Regel durch leitungsgebundene Datenübertragungsnetze miteinander verbunden, können aber auch auf drahtlose Breitband-Kommunikationstechnik zurückgreifen.

LoRaWAN zeichnet sich sowohl durch vergleichsweise hohe Funkreichweiten von Gateway zu Teilnehmern und eine sehr gute Durchdringung baulicher Strukturen als auch durch eine sehr geringe Leistungsaufnahme der Endgeräte und einen, gegenüber den meisten konkurrierenden LPWAN-Standards, relativ hohen Datendurchsatz aus. Für die Nutzung der verwendeten Funkfrequenzen im ISM-Band fallen generell keine mittel- oder unmittelbaren Lizenzgebühren an (Lizenzgeber für Funkbänder sind in der Regel die Nationalstaaten). Kosten entstehen entweder durch den Aufbau einer eigenen oder die Nutzung einer bereits bestehenden und kommerziell angebotenen lokalen Infrastruktur.

MIOTY

Wie LoRaWAN nutzt auch *MY Internet of Things (MIOTY®)*²³ das freie ISM-Frequenzband. Reichweite und Durchdringung baulicher Strukturen liegen ebenfalls auf einem vergleichbaren Niveau. MIOTY setzt jedoch gezielt auf eine Miniaturisierung der Sendereinheiten. Anders als bei den meisten LPWAN-Standards findet bei MIOTY zwischen Gateway und Endgerät nur eine unidirektionale Kommunikation statt (vom Sender zum Gateway), sodass sich die Technologie ausschließlich für Sensorik, nicht jedoch für Aktorik nutzen lässt. Um trotz der sehr kompakten Sendereinheiten noch sehr lange Batterielebensdauern zu ermöglichen, wurde der maximale Datendurchsatz stark begrenzt. Für den spezifischen Anwendungskontext, die Übermittlung von sensorischen Messdaten, ist die verfügbare Bandbreite jedoch hinreichend bemessen.

Bei MIOTY handelt es sich nicht um einen freien Standard, sondern ein kommerzielles Produkt, das ausschließlich über seinen Hersteller bezogen werden kann. Kosten fallen somit vor allem für den Aufbau der eigenen Infrastruktur an.

Sigfox

Bei *Sigfox* handelt es sich um einen kommerziellen Anbieter, der ein globales LPWAN-Netz aufbaut und betreibt.²⁴ Das Netz zeichnet sich durch sehr große Reichweiten und eine gute Durchdringung baulicher

²² LoRa Alliance: *What is the LoRaWAN™ Specification?* Online: <https://loro-alliance.org/about-lorawan>, zugegriffen am 14.03.2019

²³ Fraunhofer IIS: *MIOTY® - Die drahtlose IoT-Technologie.* Online: <https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/lv/net/tech/telemetry.html>, zugegriffen am 14.03.2019

²⁴ Sigfox S.A.: *Sigfox, a 0G Network.* Online: <https://www.sigfox.com/en>, zugegriffen am 14.03.2019

Strukturen aus. Die Leistungsaufnahme der Endgeräte ist ebenfalls äußerst gering, sodass sich sehr lange Batteriebensdauern realisieren lassen. Das mögliche Datenaufkommen, die Nachrichtenlänge und der Datendurchsatz sind jedoch stark eingeschränkt, sodass sich das Einsatzspektrum auf simple Anwendungen konzentriert. Eine Übermittlung sensibler Daten über das Sigfox-Netzwerk sollte aus datenschutzrechtlichen Gründen außerdem vermieden werden, da zugunsten einer weiteren Reduzierung des Datenaufkommens auf eine Verschlüsselung der Funkverbindungen verzichtet wird.

Da Sigfox für die drahtlose Kommunikation wie LoRaWAN und MIOTY das freie ISM-Frequenzband verwendet, fallen für die Datenübertragung zu den Gateways keine Lizenzgebühren an. Kosten entstehen durch den Zugang zum proprietären Sigfox-Netzwerk (pauschale Abrechnung) sowie für die Lizenzierung der Endgeräte. Das Niveau der Preise wurde jedoch sehr niedrig angesetzt.

Sonstige

Weitere verfügbare LPWAN-Standards und Produkte sind außerdem *WiFi HaLow (IEEE 802.11ah)*, *Weightless*, *nWave*, *Symphony Link* oder *WavIoT* (kommerziell). Sie konnten sich bislang noch nicht so erfolgreich in der Praxis etablieren bzw. erreichen keine so hohe Marktdurchdringung wie die konkurrierenden *LoRaWAN*, *Sigfox*, *RPMA* oder *NB-IoT*. Die Dynamik dieses Marktes hat jedoch so stark zugenommen, dass weiterhin neue Lösungen hinzukommen und sich langfristige Entwicklungen nicht seriös abschätzen lassen.

Dennoch erscheint *LoRaWAN* für die meisten Anwendungsfälle in der Fernwärme aus heutiger Sicht als am besten geeignet, da bereits eine Vielzahl unterstützender Produkte erhältlich ist und sich der Standard integrativ für multiple Anwendungszwecke einsetzen lässt. Für singuläre Anwendungen sind hingegen Systeme, die auf bestehende Infrastrukturen zurückgreifen (bspw. *Sigfox* oder *NB-IoT*), im Regelfall die bessere Wahl.

Tabelle 1: Vergleich etablierter LPWAN-Standards bzw. Produkte

	LoRaWAN™	Sigfox	RPMA	MIOTY	NB-IoT	WiFi (WLAN)	4G Mobilfunk
Anbieter bzw. Standardisierungs-gremium	LoRa-Alliance (offen, gemeinnützig)	Sigfox (kommerziell)	Ingenu (kommerziell)	Fraunhofer IIS & BTI (kommerziell)	Mobilfunknetz-betreiber (kommerziell)	Wi-Fi Alliance (offen)	Mobilfunknetz-betreiber (kommerziell)
Frequenz (Funkband)	unlizenziertes ISM-Band (868 MHz)	unlizenziertes ISM-Band (868 MHz)	unlizenziertes ISM-Band (2,4 GHz)	Unlizenziertes ISM-Band (868 MHz)	lizenziertes Mobilfunkband (1,4-20 MHz)	unlizenziertes ISM-Band (2,4/5 GHz)	lizenziertes Mobilfunkband (20-100 MHz)
max. Reichweite Land [m]	20.000	50.000	65.000	15.000	10.000	500	20.000
max. Reichweite Stadt [m]	5.000	10.000	20.000	5.000	1.000	90	2.000
max. Datendurchsatz [Bit/s]	51.200	100	31.000	407	204.800	6.900.000.000	100.000.000
max. Nachrichtenlänge [Byte]	243	12 (unidirektional) 8 (bidirektional)	10.000	250	1.600	unbegrenzt	(unbekannt)
Nachrichten / Tag	unbegrenzt	140 (unidirektional) 4 (bidirektional)	unbegrenzt	unbegrenzt	unbegrenzt	unbegrenzt	unbegrenzt
Bidirektionalität	ja	ja (limitiert)	ja	nein (nur Sensorik, keine Aktorik)	ja	ja	ja
Authentifizierung/ Verschlüsselung	AES 128 b	keine	AES 128 b	[unbekannt]	LTE Encryption	verschiedene (z.B. WPA, WEP, WPS)	Diameter
Energiebedarf Endgerät	gering (BLB bis 15 Jahre)	sehr gering (BLB bis 20 Jahre)	sehr gering (BLB bis 20 Jahre)	sehr gering (BLB bis 20 Jahre)	mittel	sehr hoch (BLB wenige Tage)	sehr hoch (BLB wenige Tage)
Durchdringung baulicher Strukturen	hoch	sehr hoch	sehr hoch	hoch	mittel	sehr gering	gering
Netznutzung	kommerzielle lokale Anbieter oder Aufbau eigener lokaler Infrastruktur	kommerzieller inter-nationaler Anbieter (aktuell über 80 % Netzabdeckung in D)	Aufbau eigener lokaler Infrastruktur	Aufbau eigener lokaler Infrastruktur	kommerzielle nationale Anbieter (bspw. T-Mobile, Telefonica, Vodafone)	Aufbau eigener lokaler Infrastruktur oder öffentlich zugänglich	kommerzielle nationale Anbieter (bspw. T-Mobile, Telefonica, Vodafone)
Preismodell/ Lizenzkosten	keine Lizenzkosten (bei eigener Hardware-Infrastruktur)	Netznutzung pauschal pro Endgerät	proprietäre Hard- und Software, keine laufenden Lizenzkosten	proprietäre Hard- und Software, keine laufenden Lizenzkosten	laufende Nutzungskosten	keine Lizenzkosten (bei eigener Hardware-Infrastruktur)	laufende Nutzungskosten
Besondere Merkmale	Standard etabliert, zahlreiche Hardware-produkte am Markt	hohe Reichweite, bestehendes Netz, sehr niedrige Bandbreite, keine Verschlüsselung	hohe Reichweite und Durchdringung	miniaturisierte Sendeeinheiten, unidirektional, niedrige Bandbreite	hohe Bandbreite, stationärer Einsatz nur mit Hilfsenergie	Funkzellen sehr klein, sehr hohe Bandbreite möglich, sehr hoher Energiebedarf	hohe Bandbreiten, sehr hoher Energiebedarf, hohe Nutzungskosten

3.2 Digitale Trendthemen

Aktuell wird eine Vielzahl an Themen diskutiert, die sich unter dem Sammelbegriff *Digitalisierung* zusammenfassen lassen. Neben den großen Herausforderungen *Cloud Computing*, *Big Data* und *Digital Security* steht dabei vor allem die Nutzung intelligenter Technologien im gegenwärtigen Fokus. Im folgenden Exkurs werden die Kernthemen kurz vorgestellt und erläutert. Für die Fernwärmebranche relevante Technologien wurden als Instrumente für die Digitale Transformation in die Matrix als Landkarte zur Positionsbestimmung übernommen (siehe Kapitel 4).

3.2.1. Künstliche Intelligenz

Künstliche Intelligenz, kurz *KI* (bzw. *artificial intelligence*, *ai*) ist die Fähigkeit einer Maschine, intellektuelle Tätigkeiten auszuführen, zu denen sonst nur das menschliche Gehirn fähig ist.²⁵ Dabei können die unterschiedlichen Ansätze menschliches Denken, menschliches Handeln, rationales Handeln oder rationales Denken verfolgt werden.²⁶ Alle vier Ansätze lassen sich dabei in *schwache* und *starke* KI unterteilen. Starke KI ist so definiert, dass sie sich im Gegensatz zur schwachen KI vollständig autonom verhält. Sie ist damit nicht durch den Menschen steuerbar, befindet sich jedoch auf gleichem intellektuellem Niveau. Dies impliziert auch die Eigenschaft Vernunft. Starke KI ist jedoch noch ein hypothetisches Konstrukt und nach heutigem Stand der Technik nicht realisierbar.²⁷

Die schwache KI ist der Versuch, menschliche Intelligenz auf Maschinen zu simulieren, um sie anschließend nutz- und gewinnbringend einzusetzen.²⁷ Eigenschaften und Abläufe des menschlichen Verstands werden imitiert und als Werkzeug zur Findung effizienter und effektiver Lösungswege eingesetzt. Doch *denkt* und *plant* die Maschine hierbei nicht ausschließlich eigenständig, sondern bedarf der Eingabe oder des Abrufs externer Daten und Funktionen. Durch iterative Wiederholungen eines Rechengangs ist die KI nach und nach aber in der Lage, selbst Assoziationen herzustellen und somit Wissen zu erzeugen. Auf diese Weise werden Rechenmethoden sukzessive *erlernt*, mit denen verschiedene Szenarien verglichen und anschließend die am besten geeigneten Lösungswege gewählt werden können.²⁵ So können durch intelligente Algorithmen schließlich auch Modelle erzeugt werden, auf deren Grundlage präzise Prognosen möglich sind. Das *Maschinelle Lernen* kann grundsätzlich sowohl überwacht als auch unüberwacht erfolgen. Beim überwachten Lernen (*Supervised Learning*) unterliegen alle Operationen und Eingaben einer unmittelbaren oder mittelbaren menschlichen Kontrolle. Bei nicht überwachten Lernmethoden (*Unsupervised Learning*) wird eine KI dagegen mit unsortierten und -geprüften Datenströmen versorgt. Wegen dieser Intransparenz ist nicht absehbar, welche Kalkulationen die KI ausführt, zu welchen Schlüssen sie kommt und welche Schritte sie als nächstes plant.

Das Einsatzspektrum von KI ist bereits heute enorm. Maschinelles Lernen kommt bspw. bei moderner Robotertechnik, vielen Industrie 4.0-Anwendungen, komplexen Simulationsprogrammen sowie bei Internet-Suchdiensten oder sozialen Netzwerken zum Einsatz. Die Digitale Transformation und das in ihrem Zuge kontinuierliche wachsende Datenaufkommen sind die maßgeblichen Entwicklungstreiber von KI. Data Mining, Big Data und Künstliche Intelligenz sind dadurch untrennbar miteinander verbunden.²⁷

²⁵ Raschke F.: *Künstliche Intelligenz – Einblick in Machine Learning, Deep Learning, Neuronale Netze, NLP, Robotik und das Internet der Dinge*. Independently published, 2019

²⁶ Rusell S., Norvig P.: *Künstliche Intelligenz – ein moderner Ansatz*. Pearson Studium, Hallbergmoos 2012

²⁷ Otte R.: *Künstliche Intelligenz für Dummies*. Wiley-VCH, Weinheim 2019

3.2.2. Cloud Computing

Cloud Computing bezeichnet das dynamisch an den Bedarf angepasste Anbieten, Nutzen und Abrechnen von IT-Dienstleistungen über ein Netzwerk. Angebot und Nutzung dieser Dienstleistungen erfolgen dabei ausschließlich über definierte technische Schnittstellen und Protokolle. Die Spannweite der im Rahmen von Cloud Computing angebotenen Dienstleistungen umfasst das komplette Spektrum der Informationstechnik und beinhaltet unter anderem die Hardware-Infrastruktur (Rechen- und Speicherkapazitäten) und die Nutzung von Software-Plattformen sowie alle damit verbundenen Dienstleistungen (bspw. Konfiguration, Administration, Support oder Produktaktualisierungen).

Grundsätzlich können drei verschiedene Kategorien von Servicemodellen unterschieden werden:²⁸

- **Infrastructure as a Service (IaaS)**
Bei IaaS werden IT-Ressourcen wie z. B. Rechenleistung, Datenspeicher oder Netze als Dienst angeboten. Ein Cloud-Kunde kauft diese virtualisierten und in hohem Maß standardisierten Services und baut darauf eigene Services zum internen oder externen Gebrauch auf. So kann ein Cloud-Kunde z. B. Rechenleistung, Arbeitsspeicher und Datenspeicher anmieten und darauf ein Betriebssystem mit Anwendungen seiner Wahl laufen lassen.
- **Platform as a Service (PaaS)**
Ein PaaS-Anbieter (Provider) stellt eine komplette Infrastruktur bereit und bietet dem Kunden auf der Plattform standardisierte Schnittstellen an, die von Diensten des Kunden genutzt werden. So kann die Plattform z. B. Mandantenfähigkeit, Skalierbarkeit, Zugriffskontrolle, Datenbankzugriffe etc. als Service zur Verfügung stellen. Der Kunde hat keinen Zugriff auf die darunterliegenden Schichten (Betriebssystem, Hardware), er kann aber auf der Plattform eigene Anwendungen laufen lassen, für deren Entwicklung der Provider in der Regel eigene Werkzeuge anbietet.
- **Software as a Service (SaaS)**
Sämtliche Angebote von Anwendungen, die den Kriterien des Cloud Computing entsprechen, fallen in diese Kategorie. Dem Angebotsspektrum sind hierbei keine Grenzen gesetzt. Als Beispiele seien Kontaktdatenmanagement, Finanzbuchhaltung, Textverarbeitung oder Kollaborationsanwendungen genannt.

Durch die Nutzung von Cloud-Diensten gewinnt der Anwender ein hohes Maß an Flexibilität. Unter der Voraussetzung einer stabilen Datenverbindung zu den Servern des Providers können wesentliche Kapazitäten ausgelagert werden, was schließlich auch die Entwicklung noch kompakterer und energieeffizienterer Endgeräte fördert. Cloud Computing ist somit insbesondere auch für den mobilen Einsatzbereich interessant, weswegen in diesem Zusammenhang auch von einem Trend zum *Ubiquitous Computing* (die „Computernutzung überall“) gesprochen wird.

3.2.3. Big Data

Big Data steht für qualitativ und formal oft sehr inhomogene Datensammlungen, die entweder zu rasch entstehen oder zu groß und komplex sind, um mit herkömmlichen Methoden der digitalen Datenverarbeitung ausgewertet oder manipuliert werden zu können. Eine effiziente Erzeugung und Handhabung sowie die gewinnbringende Nutzung solch immenser Datenströme sind erst durch innovative Informati-

²⁸ Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI): *Digitale Gesellschaft – Cloud Computing Grundlagen*. Online: https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/DigitaleGesellschaft/CloudComputing/Grundlagen/Grundlagen_node.html, zugegriffen am 21.05.2019

onstechnologien möglich geworden, die unter der Kategorie *Big Data Analytics* zusammengefasst werden. Hierzu zählt bspw. auch der Einsatz von KI und Cloud-Computing oder mit den sog. *In-Memory-Datenbanken (IMDB)* hochperformante Datenbankmanagementsysteme, die zur Persistierung den schnellen elektronischen Arbeitsspeicher (RAM) eines Computers nutzen. Während in den vergangenen Jahrzehnten zur Verarbeitung von Big Data noch Großrechner eingesetzt werden mussten, erlauben eine immer leistungsstärkere Hardware sowie die Auslagerung von Rechenkapazitäten mittels Cloud-Diensten mittlerweile auch Anwendungen auf kompakten Endgeräten.

Abbildung 7 gibt einen Überblick über die typischen Datenquellen, die im Rahmen von Big Data verarbeitet werden. Bei den „klassischen“ Quellen handelt es sich zumeist um datenbankbasierte IT-Systeme wie bspw. *Enterprise-Resource-Planning (ERP)*, *Supply-Chain-Management (SCM)* oder *Customer-Relationship-Management (CRM)*. In der Fernwärmebranche sind darüber hinaus *Energiedatenmanagement- (EDM)* und Instandhaltungssysteme (*Total Productive Maintenance, TPM*) sowie Plattformen zur *Kraftwerkseinsatzoptimierung* von besonderer Bedeutung. Diese integrativen Softwaresysteme liefern bereits verarbeitete Datensätze wie bspw. strukturierte Listen mit Kundenbestellungen, Instandhaltungsaufträgen oder Messwerten. Bei den neueren Anwendungen handelt es dagegen sich im Regelfall um fortlaufende Datenreihen, die durch sensorische Erfassung aufgezeichnet oder die Nutzung semantischer Netzwerke erzeugt werden. Gängige Beispiele sind per NFC-Technologie (RFID) aufgezeichnete Bewegungsdaten aus Logistik- und Verkehrsleitsystemen, Preisindizes aus dem Energie- und Rohstoffhandel oder die Auswertung von Benutzerdaten von Social-Web-Anwendungen.

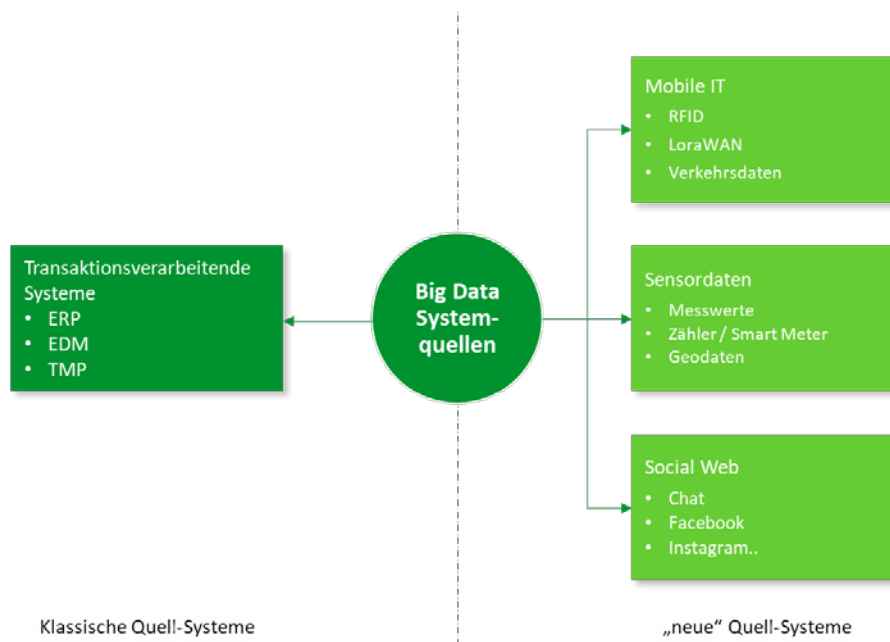


Abbildung 7: Typische Datenquellen in Big Data-Szenarien

Vergleicht man die Big-Data-Prozesse mit den bisherigen Arbeitsabläufen, zeigt sich, dass es sich um klassische Informationsverarbeitungsprozesse handelt, d. h. um die Erfassung, Speicherung, Analyse und benutzerorientierte grafische Aufbereitung der Informationen. Big Data dient dazu, die Informationen, die sich aus der Auswertung der Datenströme ergeben, für betriebswirtschaftliche Analysen zu nutzen. Anders als bei klassischen Datenanalysen steht bei Big Data die sehr schnelle Verarbeitung extrem großer und vielschichtiger Datenmengen im Vordergrund. Dabei wird die technische Grundlage für die betriebswirtschaftliche Verwendung bislang nicht nutzbarer Informationen geschaffen.

Je mehr unstrukturierte Daten sich aus den Geschäftsprozessen extrahieren lassen und je interaktiver die Analysen, bestenfalls in Echtzeit, sein sollen, desto mehr Notwendigkeiten ergeben sich auch, Big Data Analytics einzusetzen. Zweckmäßige Anwendungen gibt es mittlerweile in nahezu allen Branchen. Ein gängiger Anwendungsfall in der Energiewirtschaft ist bspw. das *Smart Metering*, also die Messung und Übertragung oder auch Steuerung des Energieverbrauchs.²⁹ Dabei werden große Mengen an Daten erzeugt und für den Versorger nutzbar gemacht.

3.2.4. Predictive Analytics

Predictive Analytics, also Methoden und Techniken zur Vorhersage von zukünftigen Daten oder Zuständen mit ihren entsprechenden Eintrittswahrscheinlichkeiten, ergänzen das Anwendungsgebiet von *Business Intelligence (BI)*, welches sich bisher vor allem auf vergangenheitsorientierte Reporting Systeme beschränkte. Dank innovativer Informationstechnologien wie KI oder Cloud Computing sind Predictive-Analytics-Werkzeuge mittlerweile auch dazu in der Lage, heterogene Massendaten (Big Data) zu verarbeiten. Je größer die untersuchte Datenmenge, desto wahrscheinlicher ist es, neue Querverbindungen zu erkennen und Trends frühzeitig zu identifizieren. Die systematische Anwendung computergestützter Methoden zur Analyse großer Datenbestände wird häufig auch als *Data-Mining* bezeichnet.

Predictive Analytics liefern Informationen über die Zukunft. Sie beantworten Fragen wie „Was wird mit welcher Wahrscheinlichkeit unter welchen Voraussetzungen passieren?“ oder „Was sollte passieren?“. Eine Vorhersage kann im einfachsten Fall durch eine mathematische Funktion getroffen werden, die bspw. das Prinzip der exponentiellen Glättung für die Bedarfsplanung anwendet. Komfortabler gestaltet sich allerdings der Einsatz von Software, die den Nutzer bei der Wahl eines geeigneten Prognosemodells unterstützt, die Ergebnisse aufbereitet und als Schnittstelle für andere Systeme fungiert.

Predictive-Analytics erfüllen dabei unterschiedliche Aufgaben:³⁰

- *Segmentierung*: Bildung von Gruppen aufgrund von Ähnlichkeiten der analysierten Objekte,
- *Assoziation*: Identifikation der Häufigkeit des gemeinsamen Auftretens von Ereignissen und gegebenenfalls die Ableitung von Regeln wie „Aus A und B folgt meist C.“,
- *Klassifikation*: Zuordnung von Elementen, die bisher keinen Klassen zugeordnet waren,
- *Regressionsanalyse*: Identifizierung von Beziehungen zwischen Elementeigenschaften,
- *Prognose*: Ableitung zukünftiger Werte.

3.2.5. Deep Learning

Beim *Deep Learning* erlernt ein Computermodell die Durchführung von Klassifikationsaufgaben direkt aus optischen oder akustischen Daten, wobei es menschliche Lern- und Denkprozesse simuliert. Es handelt sich also um eine Form der *KI*, bei der auch von virtuellen bzw. *künstlichen neuronalen Netze (KNN)* gesprochen wird.

Moderne Deep Learning-Technologien werden nicht auf die Lösung konkreter Probleme programmiert, sondern entwickeln durch die Analyse großer Datenmengen in hoher Geschwindigkeit (Big Data Analytics) selbstständig Strategien. Sie können in Echtzeit mit ihrer Umgebung interagieren und so zum Beispiel auch Geschäftsprozesse steuern. KNN bieten in Kombination mit den heutigen Hardwareleistungen

²⁹ Gadatsch A.: *Wisu – Big Data*. Lange Verlag, Pieterlen/Bern 2012

³⁰ Schäffler U., Weber J.: *Big Data – Zeitwende für Controller*. In: *Controlling & Management Review*. Springer Gabler, Wiesbaden 2016

große Potenziale, um die automatisierte Bilderkennung (z. B. Klassifikation und Indizierung), Textverarbeitung (z. B. Übersetzungen) und Sprachverarbeitung (z. B. Sprachsteuerungen) auf ein neues Qualitätsniveau zu heben.

3.2.6. Virtual Reality

Virtual Reality (VR) ist eine simulierte künstliche Realität, in die der Nutzer durch ihm gegebene Interaktionsmöglichkeiten eintaucht. Für die Generierung einer virtuellen Realität werden vier Kernelemente benötigt: der Effekt der Immersion (das Eintauchen), die virtuelle Welt selbst, das sensorische Feedback zum Anwender sowie die Interaktion mit dem Anwender innerhalb der virtuellen Realität. Entgegen der realen Wahrnehmung erlaubt die virtuelle Realität dabei die Wahl eines eigenen Stand- und Sichtpunkts (*Point of View, PoV*). Dadurch können Geschehnisse innerhalb der virtuellen Welt an verschiedenen Stellen beeinflusst werden.

Für die Benutzerinteraktion mit einer VR wurden spezielle Ein- und Ausgabewerkzeuge entwickelt. Das am weitesten verbreitete Mittel zur Ausgabe sind spezielle VR-Brillen mit integrierten stereoskopischen Displays, die beim Anwender einen dreidimensionalen Raumeindruck der virtuellen Welt erzeugen. Probate Mittel für die Benutzereingabe sind bspw. Handschuhe mit haptischer und kinetischer Sensortechnik, die über Gesten und Bewegungen gesteuert werden, oder optische Trackingsysteme, die individuelle Bewegungen eines Anwenders im Raum erfassen und somit eine Projektion in die virtuelle Welt ermöglichen.³¹

3.2.7. Augmented Reality

Bei der *Augmented Reality (AR)* handelt es sich um eine erweiterte Anwendung der *Virtual Reality*, bei der die reale Welt mit einer virtuellen überlagert wird. Durch das dedizierte Einblenden virtueller Elemente kann die Wahrnehmung eines realen räumlichen Kontexts mit zahlreichen Zusatzinformationen angereichert werden. Gleichzeitig besteht im Regelfall auch die Möglichkeit einer Echtzeit-Interaktion zwischen dem Anwender und virtuellen Elementen.

Mittlerweile existieren zahlreiche Produkte für AR-Anwendungen. Unterschieden wird dabei grundsätzlich zwischen *unterstützter Realität* und *echter erweiterter Realität*. Beide Technologien ermöglichen dem Benutzer eine freie Beweglichkeit im Raum. Bei der *unterstützten Realität* erfolgt die Visualisierung virtueller Elemente durch die Projektion auf transparente Displays, welche direkt vor einem Auge des Anwenders angebracht werden. Diese sog. *See-Through-Displays* erlauben es, eine AR zu erzeugen, ohne dabei ein vollständiges Eintauchen in die virtuelle Realität hervorzurufen. Vorteile dieser Technologie liegen in einer kompakten Bauweise und vergleichsweise hohen Anzahl verfügbarer Produkte. Bei den Geräten für die *echte erweiterte Realität* handelt sich um spezielle stereoskopische Brillen mit transparenten Displays, die eine vollständige dreidimensionale Wahrnehmung der AR im realen räumlichen Kontext ermöglichen. Virtuelle Elemente und Kontextinformationen werden dabei direkt in das natürliche Sichtfeld des Benutzers projiziert, sodass beide Welten in der Wahrnehmung miteinander verschmelzen. Die Anzahl verfügbarer Produkte dieser Technologie ist momentan jedoch noch gering.³¹

³¹ Thomas O., Metzger D., Niegemann H.: *Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung – Virtual und Augmented Reality für Industrie 4.0*. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 2018

Für die Fernwärmebranche ergeben sich für AR-Technologien zahlreiche sinnvolle Einsatzmöglichkeiten, bspw. in der Unterstützung von Mitarbeitern bei technischen Betriebsabläufen wie Instandsetzungsmaßnahmen.

3.2.8. Digital Twins

Ein *Digitaler Zwilling* ist ein Computersimulationsmodell, das ein reales physisches System hinsichtlich seiner Komponenten, Funktion und Daten sowie seines Verhaltens simultan abbilden soll. So können bspw. Maschinen digitalisiert werden. Ihr digitales Modell soll sich in einer bestimmten Situation dabei genauso verhalten wie das abgebildete Original. Um diese Abbildung zu präzisieren, wird die Simulation durch Sensor- und Metadaten (z. B. Standort, Anschaffungsjahr oder letzte Wartung) validiert.³²

Digitale Zwillinge können parallel zum realen Betrieb eingesetzt werden, um komplexe oder lokal verteilte Systeme besser überblicken zu können. Weiterhin werden sie zu Prognosezwecken eingesetzt, bspw. um Einsatz und Fahrweise eines Systems zu planen. Der Mehrwert für den Anwender liegt zudem in einer permanenten Verfügbarkeit. So besitzt eine Firma durch den digitalen Zwilling einer dezentralen Anlage trotz der räumlichen Distanz jederzeit alle betriebsrelevanten Informationen. Auf diese Weise lässt sich ihre Steuerung nicht nur optimieren, sondern es lassen sich auch rechtzeitig präventive Wartungen ansetzen, wenn die sensorischen Messdaten oder das prognostizierte Verhalten des Digitalen Zwillings von den üblichen Standards abweichen.

Mit Digitalen Zwillingen wird die Transparenz eines Systems signifikant erhöht. Dies ermöglicht auch einen einfachen und sehr detaillierten Datenaustausch über Abteilungs- oder Unternehmensgrenzen hinweg. So können bspw. bei Instandhaltungsaufträgen den zuständigen Mechanikern alle Daten zur realen Anlage vorab zugänglich gemacht werden – auch mittels Unterstützung durch VR-Technologien –, so dass diese mit ihrem Aufbau bereits vertraut sind, bevor sie das reale Objekt in Augenschein genommen haben. Durch den gezielten Einsatz von AR-Technologien in Kombination mit Digitalen Zwillingen wird es zudem möglich, operative Arbeiten an der Anlage vor Ort zu unterstützen oder zu dirigieren.

³² Capgemini: *STUDIE IT-TRENDS – Intelligente Technologien*. 2019

4. Matrix als Landkarte für die Digitale Transformation

Die Strukturierung der Matrix, die als Landkarte für die Digitale Transformation dienen soll, ist von den Grundlagen der digitalen Datenverarbeitung hergeleitet (vgl. Kapitel 2). Darüber hinaus werden die domänenspezifischen Aspekte und Anforderungen des Fernwärmesektors analysiert und bei der strukturellen Gliederung berücksichtigt.

Zunächst werden in Abschnitt 4.1 die thematischen Anwendungsbereiche für den Fernwärmesektor erläutert. Dieser Aufbau wird im darauf folgenden Abschnitt 4.2 beschrieben. Abschnitt 4.3 erklärt schließlich das Funktionsprinzip ihrer Anwendung. Dies wird zum besseren Verständnis durch konkrete Praxisbeispiele im Abschnitt 4.4 unterstützt.

4.1 Anwendungsbereiche in der Fernwärmebranche

4.1.1. Spezifische Handlungsfelder

In Abschnitt 2.3 wurde eine Kategorisierung der Digitalen Transformation in Handlungsfeldern am Beispiel des Maschinen- und Anlagenbaus vorgestellt. Einige dieser Handlungsfelder lassen sich universell auf alle Bereiche der Wirtschaft anwenden. Andere sind jedoch sehr domänenspezifisch, sodass sie nur für bestimmte Branchen Gültigkeit besitzen.

Zunächst muss untersucht werden, welche Handlungsfelder der Digitalen Transformation für die Fernwärme relevant sind. Innerhalb der Unternehmens- und Themenbereiche bestehen zahlreiche Abhängigkeiten und Wechselwirkungen. Es ist daher notwendig, das System ganzheitlich zu untersuchen, weil eine isolierte Betrachtung einzelner Teilbereiche später nicht zielführende Ergebnisse zur Folge haben kann. Des Weiteren erstrecken sich wesentliche Potenziale für integrale Digitalisierungsstrategien über mehrere Handlungsfelder hinweg.

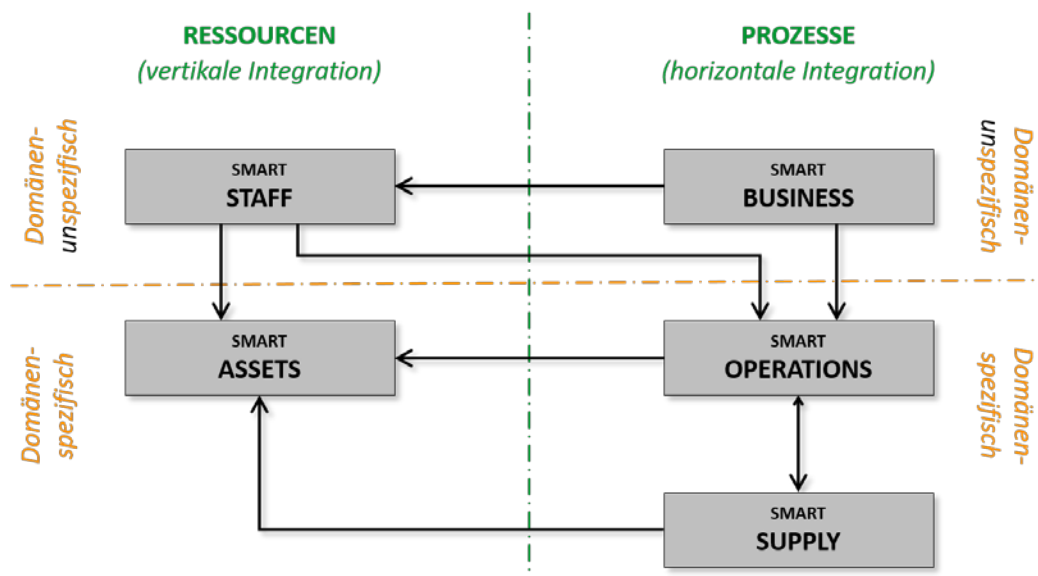


Abbildung 8: Handlungsfelder in der Fernwärmebranche und ihre Abhängigkeiten

Die Handlungsfelder „Smart Operations“, „Smart Supply“ und „Smart Factory“ werden aus der VDMA-Studie⁷ (vgl. Kapitel 2.3) inhaltlich übernommen, wenngleich sich ihre spezifischen Ausprägungen in der Fernwärmebranche deutlich vom Maschinenbau unterscheiden. Das Untersuchungsfeld wird hier als „Smart Assets“ bezeichnet. Analog verhält es sich mit dem Endresultat der Smart Operations, der hier

als „Smart Supply“ benannt wird. Smart Supply beinhaltet alle thematischen Aspekte, die sich mit der Versorgung der Kunden und der Vermarktung des Produkts Fernwärme auseinandersetzen.

Während Smart Operations, Smart Assets und Smart Supply somit domänenspezifische Ausprägungen haben, die sich nicht beliebig von einer Branche auf eine andere übertragen lassen, verhält es sich bei den Handlungsfeldern „Mitarbeiter“ sowie „Strategie und Organisation“ der VDMA-Studie anders. Beide Handlungsfelder gelten für alle Branchen gleichermaßen. Sie sind somit also domänenunspezifisch und können für den Fernwärmesektor übernommen werden. Zugunsten einer vereinheitlichten Nomenklatur wurden sie jedoch mit den Begriffen Smart Staff (Mitarbeiter) bzw. Smart Business (Strategie und Organisation) beschrieben.

Das Handlungsfeld „Data-driven Services“ der VDMA-Studie wurde dagegen nicht auf die Fernwärme übertragen. Zusammengefasst werden unter dem Begriff datenbasierte Analysen, Auswertungen und Dienstleistungen. Hierbei handelt es sich aber nicht um thematische Anwendungsbereiche für digitale Transformationsprozesse, sondern bereits um konkrete Ausprägungen ihrer technischen Umsetzung. Data-driven Services demnach substantzieller Bestandteil *jeder* Digitalisierungsstrategie *in allen* Handlungsfeldern.

Die Handlungsfelder der Digitalen Transformation in der Fernwärmebranche können demnach domänenspezifischen und -unspezifischen Anwendungsgebieten zugeordnet werden. Als weiteres Gliederungsmerkmal lässt sich ihr inhaltlicher Gegenstand in zwei Hauptkategorien differenzieren. Zum einen handelt es sich um reale physische Subjekte (das Personal) oder Objekte (die Betriebsmittel) – zusammenfassen lassen sich beide Bereiche unter der gemeinsamen Bezeichnung Ressourcen (bzw. vertikale Transformation). Zum anderen geht es in den Handlungsfeldern Smart Business, Smart Operations und Smart Supply um einen virtuellen Gegenstand, da hier ausschließlich die Prozesse adressiert werden. Entsprechend handelt es sich hierbei auch um horizontale Transformationen.

Ein Anwendungsfall erstreckt sich in der Regel aufgrund Abhängigkeiten von Prozessen und Ressourcen über mehrere Handlungsfelder hinweg. Eine isolierte Betrachtung bestimmter Prozesse oder Ressourcen ist deshalb im Regelfall nicht zielführend.

4.1.2. Planungsgegenstand

Alle Managementprozesse in einem Unternehmen, finden entsprechend der universellen Planungshierarchie (vgl. Abbildung 4) in mehreren Stufen auf unterschiedlichen Ebenen statt. Zunächst werden auf strategischer Ebene Ziele und Maßgaben formuliert, aus denen auf der taktischen Ebene konkrete Anforderungen an die Umsetzung abgeleitet werden. Die technische Ausführung der planerischen Maßnahmen findet schließlich auf operativer Ebene statt. Mit jeder dieser Stufen nimmt der Detailreichtum des Planungsgegenstands zu. Gleichzeitig konzentriert sich jedoch auch der Fokus, sodass der zeitliche, funktionale und lokale Betrachtungshorizont mit jeder Stufe abnimmt.

Die Matrix soll als Hilfsmittel zur Positionsbestimmung im Kontext der Digitalen Transformation dienen und sich zugleich auch über den gesamten Planungsprozess hinweg anwenden lassen. Hierfür müssen sowohl alle Handlungsfelder als auch verschiedene Detaillierungsgrade des jeweiligen Gegenstands dargestellt werden können. Gelingt es, beide Dimensionen konsistent in einer einheitlichen Struktur abbildbar zu machen, kann die Matrix auch als integrales Planungsinstrument eingesetzt werden.

Analog zur planerischen Hierarchie werden die Handlungsfelder dazu in mehrere Detaillierungsstufen untergliedert (vgl. Abbildung 9). Während auf der strategischen Managementebene ganzheitliche Betrachtungen der Handlungsfelder erforderlich sind, fokussiert die taktische Planung thematische Handlungsbereiche und Unterbereiche innerhalb eines Handlungsfelds (beim Handlungsfeld Assets bspw. die Umwälzung des Leitungsnetzes). Die operative Ebene konzentriert sich schließlich auf konkrete technische Details einzelner Komponenten innerhalb des vorgegebenen Handlungsbereichs (bspw. eine bestimmte Pumpe für die Netzumwälzung). Ein Detail stellt somit auch die kleinste sinnvoll zu analysierende und dokumentierende Einheit dar.

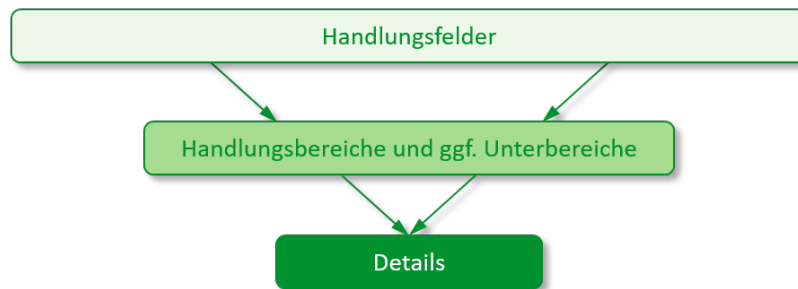


Abbildung 9: Stufen der Konkretisierung

4.2 Struktureller Aufbau

Mit einem einheitlichen Schema sollen sich alle Handlungsfelder für die Fernwärmebranche, auch in unterschiedlichen technischen Detaillierungsgraden, gleichermaßen untersuchen und abbilden lassen. Die Analyse dient der Bestimmung des gegenwärtigen Ausgangszustands (Ist-Position) im Digitalisierungskontext sowie der Festlegung individueller Zielsetzungen (Ziel-Position). Um sich anwendungsbezogen und auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus gut verorten zu können, muss die Matrix thematisch klar abgegrenzt und nachvollziehbar strukturiert sein. Sind die Positionen bestimmt, soll sich die Matrix weiterhin auch für die Aufstellung programmatischer Roadmaps zur individuellen Zielerreichung heranziehen lassen. Aus diesem Grund sind ferner auch ein chronologischer Aufbau sowie die Abbildung kritischer Abhängigkeiten erforderlich.

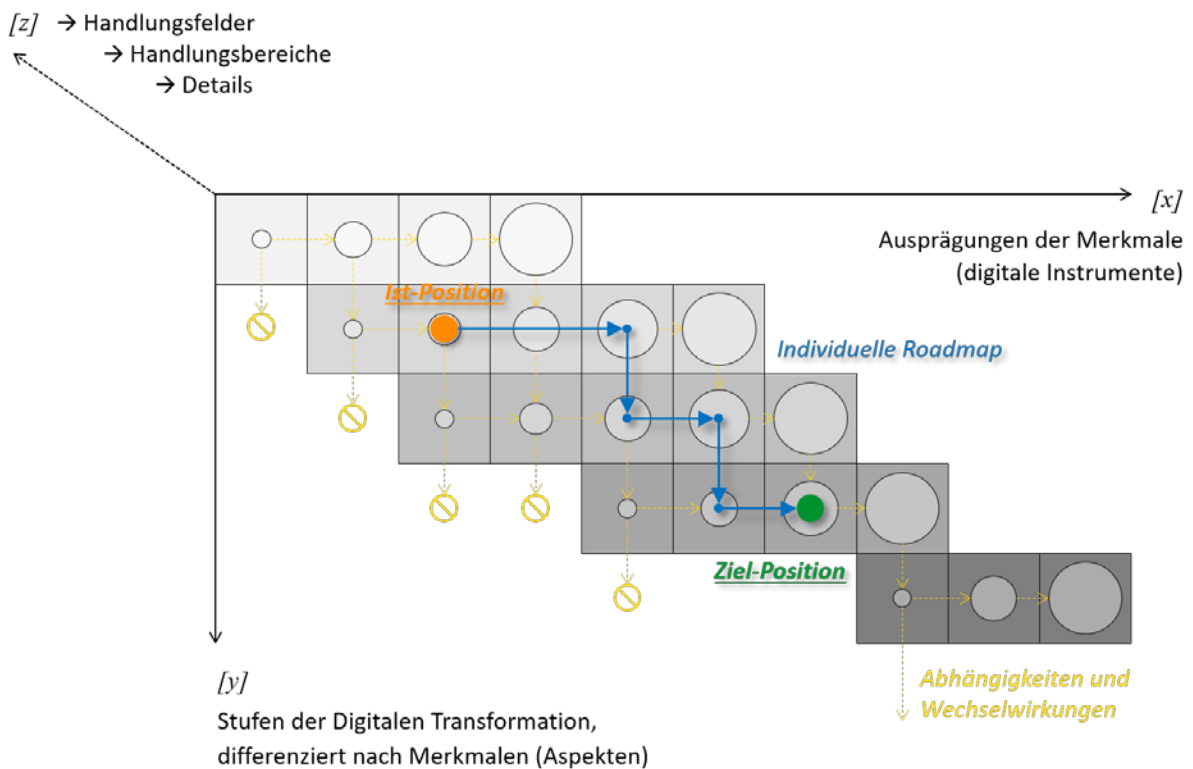


Abbildung 10: Gliederungsschema der Matrix und Anwendungsprinzip als „Score-Card“

Das maßgebliche Kriterium zur Gliederung der tabellarischen Matrix (siehe Abbildung 10) bilden daher die aufeinander aufbauenden Stufen der Digitalen Transformation (vgl. Abbildung 2). Entsprechend der digitalen Prozesskette werden diese Stufen auf der *vertikalen Achse* außerdem in charakteristische Merkmale untergliedert, die ebenfalls logisch aufeinander aufbauen. Bei den Transformationsstufen handelt es sich somit um themenbezogene Aggregationen einzelner Merkmale.

Auf der *horizontalen Achse* werden allen Merkmalen schließlich ihre möglichen Ausprägungen – also die digitalen Instrumente (Methoden oder Werkzeuge) für eine Umsetzung – zugeordnet. Diese Zuordnung erfolgt in einer qualitativen Staffelung. Das bedeutet, dass mit jeder horizontalen Ausprägungsstufe auch der technische Erfüllungsgrad für den spezifischen Einsatzzweck steigt. Mit den Erfüllungsgraden wird jedoch keine objektive Bewertung einer Situation oder Positionsbestimmung angestrebt, sondern lediglich das verfügbare Spektrum an Möglichkeiten aufgezeigt. Die intensivere Ausprägung eines Merkmals ist nicht zwingend immer auch das bessere Mittel zum beabsichtigten Zweck. Zwischen den Ausprägungen verschiedener Merkmale existieren wiederum zahlreiche Abhängigkeiten, die sich in einer zweidimensionalen Tabellenstruktur jedoch nur bedingt darstellen lassen. Ausschlusskriterien oder wesentliche Bedingungen werden durch Einrückungen aufeinander folgender Merkmals-Skalen abgebildet, sodass sich schließlich eine treppenartige Schemastruktur ergibt.

Die dritte Dimension der Matrix besteht in ihrer thematischen Anwendung. Sie lässt sich auf Handlungsfelder der Fernwärmebranche gleichermaßen anwenden und dabei auch auf die enthaltenen Handlungsbereiche bis hin zu konkreten technischen Details herunterbrechen (vgl. Abbildung 9). So gibt es aufgrund der thematischen Komplexität für die Positionsbestimmung normalerweise nicht nur eine einzige Matrix, sondern, je nach Umfang und Gegenstand der Untersuchung, eine Vielzahl anwendungsbezogener Matrizen. Diese lassen sich thematisch gruppieren (nach Handlungsfeldern) und technisch differenzieren (nach Detaillierungsgraden).

Entsprechend der Gliederung der Handlungsfelder (vgl. Abbildung 8) lässt sich auch das Schema der Matrix auf der vertikalen Achse in die übergeordneten thematischen Kategorien Ressourcen und Prozesse unterteilen (siehe Abbildung 11). Die Kategorie Ressourcen beschränkt sich ausschließlich auf die Transformationsstufe 1, da nur hier ein direkter Bezug zu realen physischen Gegenständen (Subjekte oder Objekte) vorhanden ist. Alle folgenden Transformationsstufen behandeln dagegen nichtgegenständliche Prozesse und werden deshalb in der Kategorie Prozesse zusammengefasst. Die Kategorien werden anwendungsbezogen eingesetzt, sodass sich bei Analysen eines umfassenderen Untersuchungsgegenstands eine Kaskade stufenweise ineinander verschachtelter Matrizen ergeben kann (vgl. dazu den exemplarischen Anwendungsfall 2, Kapitel 4.4.2).

Abbildung 11 stellt den universellen Aufbau der Matrix und die Gliederung nach gegenständlichen Kategorien, Transformationsstufen und Merkmalen dar. Die möglichen Ausprägungen der Merkmale werden in den folgenden Kapiteln 4.2.1 und 4.2.2 erläutert.

Hinweis: Nicht explizit aufgeführt werden in der Matrix die Aspekte IT-Sicherheit und Datenschutz, da es sich hierbei um relevante Kriterien für nahezu *alle* Stufen, Merkmale und Ausprägungen der Digitalen Transformation handelt. Nicht zuletzt stellen diese Kriterien rechtliche und inhaltliche Erfordernisse dar die es im Zuge der Umsetzung einer Digitalisierungs-Roadmap in jedem Schritt zu beachten gilt.

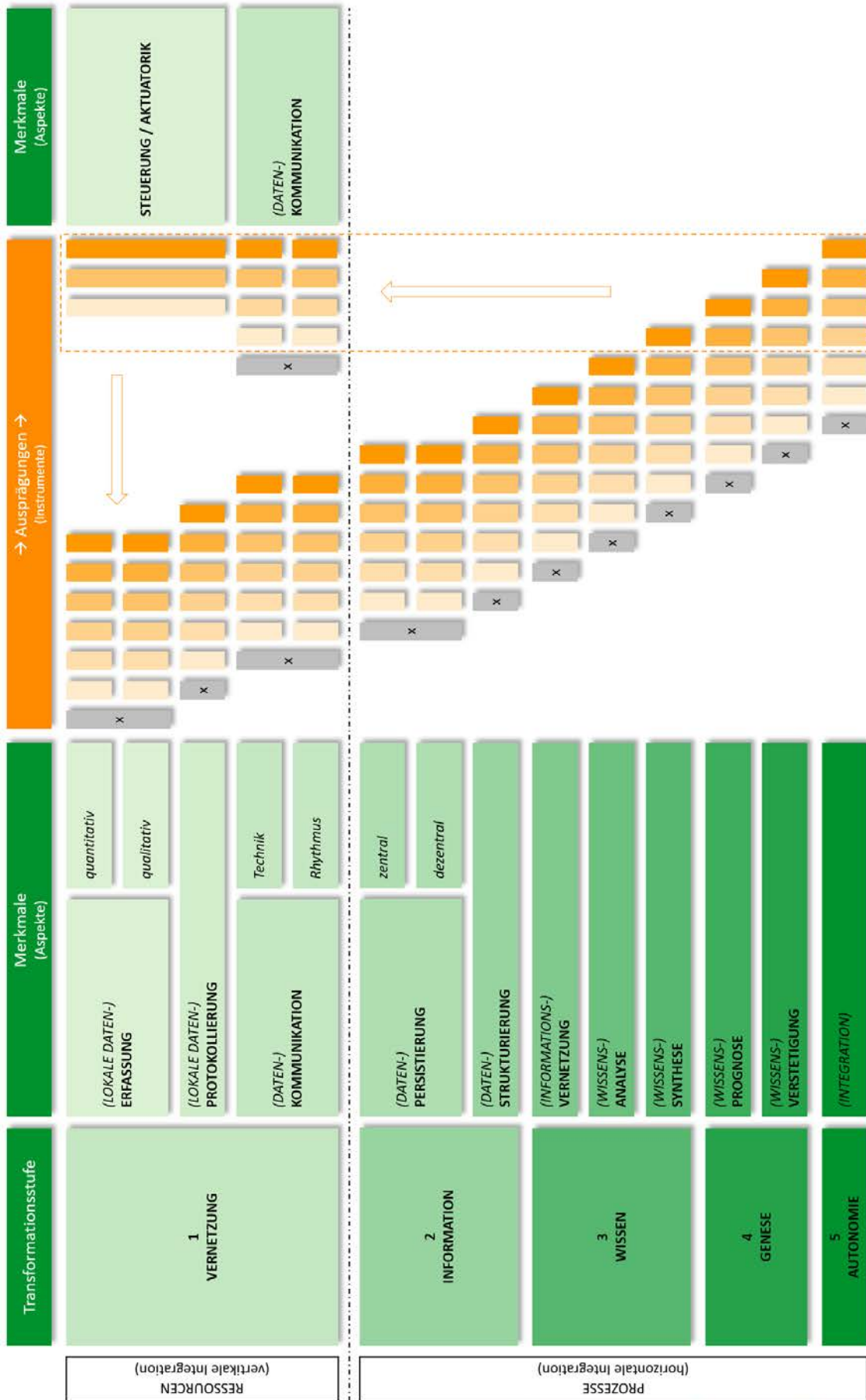


Abbildung 11: Universeller Aufbau der Matrix

4.2.1. Vertikale Transformation: Ressourcen

Die vertikale Transformation umfasst alle Themen mit Bezug auf Mitarbeiter (Smart Staff) und Betriebsmittel (Smart Assets). Diese lassen sich unter dem Begriff Ressourcen zusammenfassen. Entsprechend der unterschiedlichen fachlichen Detaillierungsgrade in der planerischen Hierarchie können die Ressourcen sowohl ein gesamtes Handlungsfeld beschreiben oder einen thematischen Projektbezug haben als auch sich auf ein dezidiertes gegenständliches Detail beziehen (eine Person bzw. Rolle oder ein bestimmtes Asset).

Tabelle 2: Ausprägungen der Transformationsstufe 1 - Vernetzung (Datenvorlauf)

Merkmal		Ausprägungen
(Daten-) Erfassung	quantitativ	NEIN: Es werden keine digitalen Daten zu Ressourcen erfasst. Es findet keine Digitalisierung statt.
		SINGULÄR: Es werden digitale Daten einzelner Ressourcen erfasst.
		PUNKTUELL: Es werden digitale Daten einiger Ressourcen erfasst.
		REPRÄSENTATIV: Es werden digitale Daten zu jeder Ressourcen-Gruppe erfasst.
	qualitativ	UMFASSEND: Es werden digitale Daten zu jeder Ressource erfasst.
		ANNAHME: Die Daten werden angenommen (Spekulation). Weiteren Digitalisierungsschritten fehlt eine fundierte Basis.
		SCHÄTZUNG: Die Daten werden auf empirischer Grundlage geschätzt.
		INDIKATIVE BEMESSUNG: Die Daten werden (aus anderen Messungen/Aufnahmen) abgeleitet.
(Daten-) Protokollierung Dezentrale Sammlung	MESSUNG/AUFZEICHNUNG/AUFNAHME: Die Daten werden (direkt vor Ort der Ressource) sensorisch erfasst.	
	STOCHASTISCH: Die Daten werden nach dem Zufallsprinzip protokolliert.	
	SELEKTIV: Es werden nur bestimmte Daten (bspw. Minimal- und Maximalwerte) protokolliert.	
	AGGREGIERT: Die erfassten Daten werden aggregiert (bspw. Verbrauchszähler).	
(Daten-) Kommunikation	Technik (qualitativ)	DETAILLIERT: Alle erfassten Daten werden protokolliert.
		NEIN: Die erfassten Daten werden nicht zu zentralen Verarbeitungsstellen kommuniziert. Es finden keine weiteren Digitalisierungsschritte statt.
		MANUELL: Der Kommunikationsvorgang erfolgt durch eine Person.
		MOBILFUNKNETZ: Der Kommunikationsvorgang erfolgt vornehmlich über ein Mobilfunknetz.
		LPWAN/WLAN: Der Kommunikationsvorgang erfolgt vornehmlich via LPWAN oder WLAN.

Merkmal		Ausprägungen
Rhythmus (quantitativ)		LEITUNGSGEBUNDEN: Der Kommunikationsvorgang erfolgt durchweg über leitungsgebundene Netze.
		SINGULÄR: Der Kommunikationsvorgang ist einmalig.
		SPORADISCH: Kommunikationsvorgänge finden unregelmäßig statt.
		ZYKLISCH: Kommunikationsvorgänge finden regelmäßig statt.
		BEDARFSGERECHT: Kommunikationsvorgänge finden auf Abfrage statt.
		SITUATIV: Kommunikationsvorgänge erfolgen ereignisgesteuert.
		KONTINUIERLICH: Jedes erfasste Datum wird ad hoc kommuniziert. Eine Protokollierung ist damit nicht erforderlich.

Tabelle 3: Ausprägungen der Transformationsstufe 1 - Vernetzung (Datenrücklauf)

Merkmal		Ausprägungen
(Daten-) Kommunikation		NEIN: Es erfolgt kein Datenrücklauf von zentralen Stellen der Datenverarbeitung zu den Ressourcen. Es findet keine zentrale Steuerung verteilter Ressourcen statt.
		SINGULÄR: Der Kommunikationsvorgang ist einmalig.
		SPORADISCH: Kommunikationsvorgänge finden unregelmäßig statt.
		ZYKLISCH: Kommunikationsvorgänge finden regelmäßig statt.
		SITUATIV: Kommunikationsvorgänge erfolgen ereignisgesteuert.
Steuerung/Aktorik		MANUELL: Die Steuerung der Ressource erfolgt durch manuelle Eingriffe.
		TEILAUTOMATISCH: Die Steuerung der Ressource erfolgt teilautomatisch.
		VOLLAUTOMATISCH: Die Steuerung der Ressource erfolgt vollautomatisch.
		AUTONOM: Die Ressource steuert sich autonom. Ein vorangegangener Datenverarbeitungs- und Kommunikationsprozess ist obsolet.

4.2.2. Horizontale Transformation: Prozesse

Bei der horizontalen Transformation findet die eigentliche Verarbeitung der gewonnenen Ressourcen-Daten statt, um daraus Mehrwerte zu generieren. Die Daten werden zunächst in Informationen und dann in vernetztes Wissen umgewandelt. Auf dieser Basis wird der Wissenshorizont erweitert, um schließlich zielführende Optimierungen am System vornehmen zu können. Alle Stufen der horizontalen Transformation finden losgelöst vom realen Gegenstand statt. Beim virtuellen Gegenstand handelt es sich somit ausschließlich um Prozesse.

Tabelle 4: Ausprägungen der Transformationsstufe 2 - Information

Merkmalsname	Ausprägungen	
(Daten-) Persistierung	NEIN: Die kommunizierten Daten werden nicht gespeichert. Es finden keine weiteren Digitalisierungsschritte statt.	
	zentral	ANALOG: Die Datenhaltung erfolgt analog bzw. papiergebunden. Für weitere Digitalisierungsschritte muss eine digitale Datenneuerfassung (Retrodigitalisierung) auf Transformationsstufe 1 stattfinden.
		DATEIBASIIERT: Die Daten werden zentral in Dateien gespeichert.
		HDDB: Die Daten werden zentral in klassischen Datenbanken gespeichert.
	dezentral/verteilt	IMDB: Die Daten werden zentral in hochperformanten In-Memory-Datenbanken gespeichert.
		DATEIBASIIERT: Die Daten werden in Dateien in der Cloud gespeichert.
HDDB: Die Daten werden dezentral in klassischen Datenbanken auf Cloud-Laufwerken gespeichert.		
(Daten-) Strukturierung	DLT: Die Daten werden lokal verteilt mittels „Distributed-Ledger-Technologien“ (bspw. <i>Blockchain</i>) persistiert.	
	NEIN: Die persistierten Daten werden nicht strukturiert. Es finden keine weiteren Digitalisierungsschritte statt.	
	SORTIERUNG: Die Daten werden formal (nach Syntax oder Zeit) sortiert.	
	TYPISIERUNG oder GRUPPIERUNG: Die Daten werden nach einem bestimmten Kriterium kategorisiert.	
	KLASSIFIZIERUNG: Die Daten werden nach mehreren Kriterien kategorisiert.	

Tabelle 5: Ausprägungen der Transformationsstufe 3 - Wissen

Merkmalsname	Ausprägungen
(Informations-) Modellierung	NEIN: Es findet keine semantische Vernetzung der Informationen statt. Es finden keine weiteren Digitalisierungsschritte statt.
	DESKRIPTIVE ONTOLOGIE: Wissen wird in semantischen Modellen abgebildet, die den Zustand eines Systems beschreiben.
Semantische Vernetzung	PRÄSKRIPTIVE ONTOLOGIE: Wissen wird in semantischen Modellen abgebildet, die multiple Zustände eines Systems und ihre Entwicklung beschreiben.
(Wissens-) Analyse	NEIN: Es findet keine Analyse der Informations- und Wissensmodelle statt. Es finden keine weiteren Digitalisierungsschritte statt.
	NOMINELL: Es erfolgt eine syntaxbasierte Auswertung (bspw. Indizierung).
	QUANTITATIV: Es erfolgt eine statistische Auswertung.

Merkmal	Ausprägungen
	QUALITATIV: Es erfolgt eine Auswertung nach bestimmten semantischen Kriterien.
	MULTIKRITERIELL: Es erfolgt eine Auswertung nach multiplen semantischen Kriterien.
(Wissens-) Synthese	NEIN: Es erfolgt keine Verdichtung des repräsentierten Wissens. Vorangegangene Digitalisierungsschritte sind obsolet.
	ANNAHME: Die Verdichtung des Wissens erfolgt durch Annahmen (Spekulation).
	SCHÄTZUNG: Die Verdichtung des Wissens erfolgt durch erfahrungsbasierte Schätzung (empirisch).
	INTERPOLATION: Die Verdichtung des Wissens erfolgt durch (lineare oder nichtlineare) Interpolation oder Mustererkennung.
	KONKLUSION: Die Verdichtung des Wissens erfolgt durch logisches (explizites oder implizites) Schlussfolgern (Inferenz).

Tabelle 6: Ausprägungen der Transformationsstufe 4 - Genese

Merkmal	Ausprägungen
(Wissens-) Prognose	NEIN: Es erfolgt keine Prognose auf Grundlage der Wissensmodelle. Es finden keine weiteren Digitalisierungsschritte statt.
	ANNAHME: Die Prognose erfolgt durch Annahmen (Spekulation).
	SCHÄTZUNG: Die Prognose erfolgt durch erfahrungsbasierte Schätzung (empirisch).
	EXTRAPOLATION: Die Prognose erfolgt durch (lineare oder nichtlineare) Extrapolation.
	SIMULATION: Die Prognose erfolgt durch (diskrete oder dynamische) Simulation.
	OPTIMIERUNG: Die Prognose dient einer Optimierung.
(Wissens-) Verstetigung	NEIN: Die Prognose- bzw. Optimierungsergebnisse werden nicht verstetigt. Es finden keine weiteren Digitalisierungsschritte statt.
	AUTOMATISIERUNG: Es findet eine Automatisierung statt (unter determinierten Umgebungsvariablen innerhalb des Wissenshorizonts).
	MASCHINELLES LERNEN (KI): Es werden Methoden des maschinellen Lernens angewandt (zur automatisierten Erweiterung des Wissenshorizonts).

Tabelle 7: Ausprägungen der Transformationsstufe 5 - Autonomie

Merkmal	Ausprägungen
Autonomie	NEIN: Es finden keine autonomen Steuerungsprozesse oder -Teilprozesse statt.

Merkmal	Ausprägungen
Generische Integration	KONTROLLIERT GEREGLT: Die autonomen Steuerungsprozesse sind strikt reguliert und werden unmittelbar kontrolliert.
	UNKONTROLLIERT GEREGLT: Die autonomen Steuerungsprozesse sind strikt reguliert, werden jedoch nicht unmittelbar kontrolliert.
	UNKONTROLLIERT UNGEREGLT: Die autonomen Steuerungsprozesse sind weitestgehend unreguliert und werden nicht kontrolliert.

4.3 Funktion und Nutzung der Matrix

Um die Mittel der Digitalisierung zweckdienlich auszuwählen und einzusetzen (Managementverständnis, vgl. Kapitel 2.5), ist zunächst eine Positionsbestimmung des eigenen Unternehmens im Rahmen der Digitalen Transformation erforderlich. Diese umfasst

- die Bestimmung der gegenwärtigen *Ist-Position* sowie
- die Festlegung einer individuellen *Ziel-Position*

(vgl. Kapitel 2.2). Aus der jeweiligen Abweichung von Ist- und Ziel-Position lässt sich der situative Handlungsbedarf folgend als Roadmap ableiten. Die Roadmap gibt darüber Aufschluss, welche Transformationsmaßnahmen zur Zielerreichung erforderlich sind (vgl. Abbildung 10).

4.3.1. Positionsbestimmung und Definition von Zielen

Die Bestimmung der Ist- und Ziel-Position erfolgt für jedes Analyseobjekt anhand thematischer Score-Cards (siehe Abbildung 12). Die standardisierten Matrizen der Scorecards (vgl. Kap. 4.2) verfügen über ein strukturell vereinheitlichtes Schema, das für jedes stufen- und anwendungsbezogene Merkmal typische Ausprägungen aufweist. Die konkreten Ausprägungen sind jedoch immer themenspezifisch und beschreiben die Digitalisierungsinstrumente für den jeweiligen inhaltlichen Anwendungskontext. Die Score-Cards dienen dem Benutzer so als Fragenkatalog zur geführten Beantwortung eines thematischen Untersuchungsgegenstands.

Für die Verortung einer Ist-Position sind Kenntnisse über die reale Situation sowie ihre Abbildung erforderlich. Bei einer entsprechenden Verwendung der Matrix gewinnt der Benutzer einen Überblick darüber, welche alternativen Merkmalsausprägungen und Stufen im jeweiligen Anwendungskontext möglich sind, welche Chancen und Möglichkeiten sie bieten und welche Kosten sie verursachen. Diese Transparenz unterstützt eine inhaltliche Auseinandersetzung mit den Fragestellungen und erleichtert so die Festlegung der individuellen Ziel-Position. Der Benutzer erhält durch die resultierende Verbindung von Ist- und Zielposition schließlich eine Roadmap für den notwendigen Transformationsprozess. Der Anwender erhält somit eine konkrete Aussage darüber, welche digitalen Instrumente angewendet oder eingeführt werden müssen, um die angestrebte Position zu erlangen.

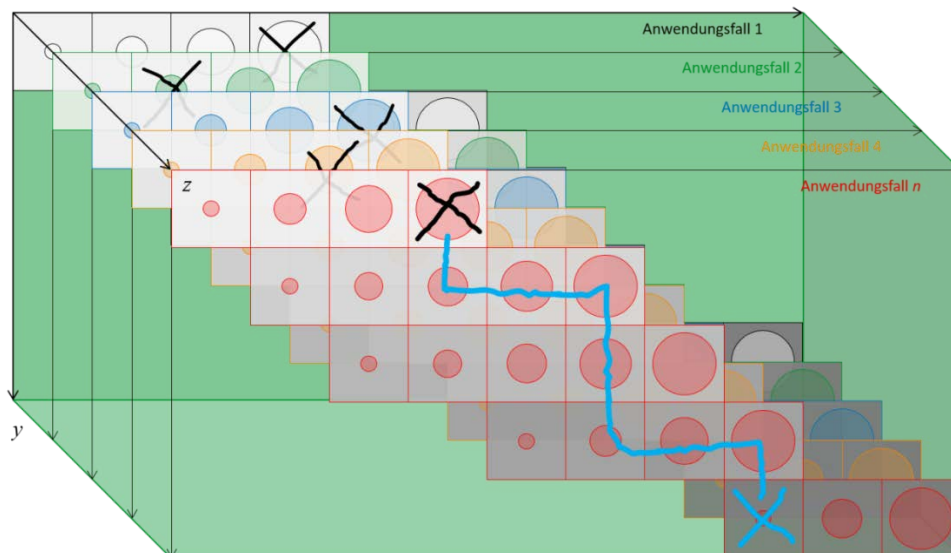


Abbildung 12: Ausgangssituation anwendungsbezogene Positionsbestimmungen (schematische Darstellung) ³³

4.3.2. Auswertung

Die Anwendung kann auf verschiedenen Managementebenen durchgeführt werden. Während die strategische Ebene ganzheitliche Themenfelder betrachtet, lassen sich konkretere Handlungsbereiche auch auf der untergeordneten taktischen Projektebene oder konkrete technische Details von den zuständigen operativen Fachplanern mit derselben Methode analysieren und bewerten. Überträgt man alle Ergebnisse einer differenzierteren Detaillierungsstufe bspw. auf ein Spinnennetzdiagramm, können diese relativ einfach auf die nächsthöhere Stufe in der Unternehmenshierarchie aggregiert werden. Auf diese Weise lassen sich die Einschätzungen der übergeordneten Managementebene überprüfen sowie abweichende Sichten bzgl. der Ist-Position oder Ziel-Positionen innerhalb eines Unternehmensbereichs feststellen.

Die Score-Cards können damit einerseits als Instrument zur unternehmensinternen Abstimmung und Abwägung von Positionen eingesetzt werden. Andererseits lassen sie sich auch individuell zur Überprüfung der eigenen Anspruchshaltung im Kontext der Digitalen Transformation nutzen.

Weiterhin lassen sich die Score-Cards natürlich auch für eine relative Einordnung des eigenen Unternehmens im direkten Marktumfeld einsetzen, indem die Positionierungen von Branchenmitgliedern mit einer adäquaten Ausgangslage mit den eigenen Festlegungen verglichen werden³⁴. Mit dem Fokus auf besonders erfolgreiche Marktteilnehmer könnte man mit dieser Methode auch zielführende Best-Practice-Beispiele bestimmen.

Ein brancheninterner Vergleich gäbe darüber hinaus wertvollen Aufschluss über die relative Position der eigenen Anspruchshaltung im Kontext der Digitalen Transformation. Auf diese Weise wäre es möglich, den eigenen Reifegrad bei der Digitalisierung zu bestimmen. Außerdem würden verantwortliche Entscheider bei der Definition und Priorisierung ihrer Zielsetzungen – im Zuge des Analyseprozesses etwa mit der Festlegung oder iterativen Anpassung von Ziel-Positionen auf den Score-Cards – unterstützt.

³³ Die Matrix ist ein einheitliches Schema, das sich – in unterschiedlichen Detaillierungsgraden – sowohl für Handlungsfelder als auch für Handlungsbereiche oder Details anwenden lässt (vgl. Kap. 4.2). Die konkrete Anwendung (bzw. Instanz des Schemas) wird – egal in welchem Detaillierungsgrad – hier als *Anwendungsfall* bezeichnet. Bei einem Anwendungsfall kann es sich somit um die Untersuchung eines Handlungsfelds, eines untergeordneten Handlungsbereichs oder eines technischen Details handeln.

³⁴ Aus datenschutzrechtlichen Gründen sollten brancheninterne Vergleiche anonymisiert, bspw. über eine gemeinsame Plattform erfolgen.

4.4 Exemplarische Anwendung (Praxisbeispiele)

Eine Anwendung der Matrix kann grundsätzlich auf zwei Arten erfolgen, die sich aus den jeweiligen Fragestellungen ergeben. Der erste Anwendungsfall beginnt mit der aktuellen Ressourcenkonfiguration und ihrem Digitalisierungsvermögen. Daraus werden folgend die Handlungsoptionen der horizontalen Transformation abgeleitet. Bei diesem Ansatz steht die Frage „Was kann ich mit meiner aktuellen Konfiguration umsetzen?“ im Vordergrund. Der zweite Anwendungsfall geht von den Digitalisierungsanforderungen der Prozesse aus und definiert die notwendige Ausgestaltung der Ressourcen. Dieser Ansatz beantwortet die Frage „Was muss ich tun, um die Prozessanforderungen zu erfüllen?“.

4.4.1. Anwendungsfall 1: Von der *Ressource* zum *Prozess*

Das erste Praxisbeispiel (siehe Anlage 1) fokussiert die Umwälzung eines Fernwärmeleitungsnetzes. Dabei wird keine einzelne Pumpe betrachtet, sondern die gesamte Ausstattung mit allen an der Netzumwälzung beteiligten Pumpen. Die Matrix beginnt also mit Fragestellungen, ob und auf welche Weise Daten von den lokal verteilten Pumpen erfasst, wie diese zum zentralen Leitstand kommuniziert und anschließend weiterverarbeitet werden, um bspw. Einsatz und Fahrweise zu optimieren. Findet eine Optimierung statt, bspw. auf Grundlage von Prognosen durch Simulationsmethoden, ergibt sich die finale Fragestellung, ob und auf welche Weise eine zentrale Steuerung mittels digitaler Instrumente durchgeführt wird. Ebenso muss die Datenbasis um weitere, nicht an den Pumpen erfasste Daten erweitert werden. Dementsprechend sind Einflussfaktoren zu analysieren und die Optimierung mit einzubeziehen.

Das zweite Praxisbeispiel (siehe Anlage 2) beschäftigt sich mit Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen. Analog zur Netzumwälzung geht es hier um die zentralen Fragestellungen, wie die Betriebsmittel der Erzeugung vernetzt sind und ob eine Einsatzoptimierung und -steuerung durch digitale Instrumente sowie Verknüpfung mit externen Daten stattfindet.

Beide Praxisbeispiele zu Anwendungsfall 1 lassen sich lückenlos und konsistent durch eine einfache Anwendung der Matrix abbilden.

4.4.2. Anwendungsfall 2: Vom *Prozess* zur *Ressource*

Das Praxisbeispiel zum Anwendungsfall 2 (siehe Anlagen 3 und 4) ist komplexer. Hier geht es um den integrativen Geschäftsprozess eines „Predictive Maintenance“ wichtiger Assets. Das Schema lässt sich in beliebigen Detaillierungsgraden (Handlungsfeld → Handlungsbereich → Unterbereich → Detail) sowohl auf die Betriebsmittel der Erzeugung als auch der Verteilung übertragen.

Untersucht wird zunächst wie Statusinformationen der Assets erfasst und kommuniziert (Handlungsfeld Smart Assets) sowie zur exklusiven Informationsgewinnung weiterverarbeitet werden (Handlungsfeld Smart Operations). Anschließend ergeben sich Fragestellungen im Kontext von Instandhaltungsmaßnahmen. Die Matrix analysiert dafür zunächst Aspekte im Zusammenhang mit Kompetenzen und Verfügbarkeiten des Fachpersonals (Handlungsfeld Smart Staff), bevor Geschäftsprozesse zur integralen Planung von Instandhaltungsmaßnahmen untersucht werden (Handlungsfeld Smart Business). Zur Durchführung einer Instandsetzungsmaßnahme springt die Matrix folgend wieder auf das Handlungsfeld Smart Assets zurück. Hierbei geht es zunächst um Fragestellungen, wie Lagerbestände relevanter Ersatzteile mittels digitaler Instrumente organisiert werden, bevor abschließend untersucht wird, wie die Maßnahmen ausgeführt werden (Handlungsfeld Smart Operations).

Aus dem Praxisbeispiel 3 für die Predictive Maintenance ergibt sich demnach eine Kaskade von drei Matrizen mit sechs chronologisch und kausal verketteten Handlungsfeldern. Das Beispiel verdeutlicht, dass bei der Einführung übergreifender Digitalisierungsthemen in der Regel zahlreiche Voraussetzungen erfüllt werden müssen. Dies macht eine integrative Planung sowie eine gründliche Vorbereitung erforderlich.

5. Zusammenfassung

5.1 Ergebnisse

Die vorliegende Grundlagenstudie zur digitalen Transformation in der Fernwärme schafft das Fundament für eine Handreichung des AGFW an seine Mitgliedsunternehmen. Diese soll ihnen den managementmäßigen Umgang mit dem Thema Digitalisierung auf Führungsebene ermöglichen und erleichtern. Dazu wurden folgende Ergebnisse und Instrumente erarbeitet:

Schaffung eines gemeinsamen Grundverständnisses

Um das oft abstrakt behandelte Thema Digitalisierung fass- und handhabbar – und dadurch letztlich auch gestaltbar – zu machen, werden in dieser Studie zunächst wissenschaftlichen Grundlagen erläutert und zentrale Begriffe innerhalb des Kontextes definiert. Sie schaffen ein einheitliches Verständnis von Inhalt und Vorgehen und bilden die Basis für alle folgenden Erläuterungen und Ableitungen.

Aufbauend auf der Begriffsbestimmung wird sodann ein Überblick über die bereits vorhandenen oder sich noch in einem laufenden Entwicklungsprozess befindenden Technologien für die digitale Datenübertragung gegeben. Ergänzend dazu werden außerdem wichtige, insbesondere für den Energie- und Wärmesektor relevante, digitale Trendthemen vorgestellt. Viele dieser Trends tauchen regelmäßig in Presseberichten und Branchendiskussionen auf, werden dabei jedoch nur selten in einen übergeordneten Zusammenhang gestellt sowie anwendungsbezogen und hinsichtlich ihrer Bedeutung eingeordnet. Diese Einordnung gewährleistet nun diese Studie.

Lückenlose Abbildung und Strukturierung des Untersuchungsgegenstands

Maßgebliches Ziel dieser Grundlagenstudie ist es, das Untersuchungsfeld *Digitalisierung in der Fernwärmebranche* möglichst vollständig abzudecken und so zu strukturieren, dass Unternehmen eindeutige Positionsbestimmungen auf unterschiedlichen Managementebenen vornehmen können. Um darüber hinaus ein hohes Maß an Vergleichbarkeit zu schaffen – sowohl innerhalb eines Unternehmens als auch über Unternehmensgrenzen hinaus – wurden sowohl die entwickelte Struktur als auch die Methode der Anwendung konsequent vereinheitlicht.

Das gesamte Untersuchungsfeld wurde dazu zunächst in thematische Handlungsfelder für den Fernwärmesektor gegliedert und aufgeteilt. Die Handlungsfelder unterscheiden sich dabei lediglich in den konkreten Ausprägungen des digitalen Transformationsprozesses, nicht jedoch in seiner Methode oder inhaltlichen Struktur. Das Ergebnis ist also eine Schablone, die sich auf alle Bereiche eines Fernwärmeversorgungsunternehmens gleichermaßen anwenden lässt. Diese wird im Rahmen dieser Studie auch als *Landkarte der Digitalen Transformation* bezeichnet und hat die Form einer dreidimensionalen Matrix. Ihre Dimensionen bilden:

- die aufeinander aufbauenden und sich sukzessive bedingenden qualitativen Stufen der Digitalisierung und ihre wesentlichen Merkmale (Durchdringungstiefe der Digitalen Transformation),
- die anwendungsspezifischen Ausprägungen der jeweiligen Merkmale einer Digitalisierungsstufe in Form einer kohärenten Staffelung der digitalen Instrumente zu ihrer (partiellen oder vollständigen) Realisierung sowie

- der Detaillierungsgrad des Analysegegenstandes in Relation zur jeweiligen Planungs- bzw. Managementebene, auf der eine Untersuchung durchgeführt wird (Analysemaßstab). Die thematischen Handlungsfelder wurden dazu entsprechend der verschiedenen Aufgaben und Betrachtungshorizonte innerhalb einer Unternehmenshierarchie systematisch in einzelne Handlungsbereiche und -Unterbereiche sowie in konkrete technische Details differenziert. Aus der Gesamtheit dieser Untergliederungen ergibt sich ein einheitliches Beurteilungsschema (*Score-Card*) für jedes fernwärmebezogene Objekt. Dieses ermöglicht eine fach- und entscheidungskompetenzgerechte Einschätzung von gegenwärtigen Ist- sowie zweckmäßigen Ziel-Positionen innerhalb einer Managementebene bzw. innerhalb abgegrenzter Projekt- und Aufgabenbereiche.

Durchführungsleitfaden für die Digitalen Transformation

Die Darstellung der Matrix erfolgt als Fragenkatalog zur Einschätzung der eigenen, unternehmensspezifischen Ist-Position sowie zur Festlegung individueller Zielsetzungen. Dies erfolgt für jedes Analyseobjekt auf unterschiedlichen Detaillierungsstufen analog zu den Planungs- bzw. Managementebenen anhand fachobjektspezifischer Score-Cards. Hiermit lassen sich folgende Fragen beantworten: Welche Optionen gibt es neben der aktuellen Position (Ausprägungen eines Merkmals innerhalb einer Stufe der Digitalisierung oder auf einer alternativen Stufe der Digitalisierung)? Welche Möglichkeiten und Chancen sind damit verbunden? Welche Kosten und Implikationen stehen ihnen gegenüber? Durch diese Gegenüberstellungen wird die Festlegung der gewünschten Ziel-Position erleichtert. Sie definiert das unternehmensbezogen gewünschte bzw. individuell geeignete Niveau der Digitalisierung innerhalb eines Handlungsbereichs oder über mehrere Handlungsbereiche hinweg.

Durch den Vergleich der jeweiligen Ist-Position mit der definierten Ziel-Position ergibt sich entweder eine Übereinstimmung oder ein Abstand zwischen beiden. Ein Abstand gibt Auskunft darüber, welcher Handlungsbedarf besteht. Erst auf dieser Basis ist in Bezug auf die definierten Ziele überhaupt eine Bewertung und Entscheidung hinsichtlich der Wirksamkeit und des Kosten- bzw. Schaden-/Nutzen-Verhältnisses von Maßnahmen möglich. In Summe lässt sich über den Ist-Ziel-Abgleich in einem Unternehmen feststellen, wie weit die Digitalisierung im Vergleich zur geplanten Ziel-Position fortgeschritten ist.

Greifbar wird die Anwendung durch die Illustration repräsentativer Praxisbeispiele. Dazu werden exemplarisch eine einzelne KWK-Anlage, die Netzumwälzung sowie eine Predictive Maintenance lokal verteilter Betriebsmittel beleuchtet. Die exemplarischen Anwendungsfälle behandeln dabei unterschiedliche Detaillierungsgrade auf verschiedenen Managementebenen und decken mehrere thematische Handlungsfelder ab.

5.2 Mehrwerte

Die geschaffenen Werkzeuge in Form einer abgestimmten, einheitlichen Begriffswelt einerseits und einer strukturierten Beurteilungsmatrix zur methodischen Bestimmung von Ist- und Ziel-Position andererseits schaffen für die Mitgliedsunternehmen folgende Mehrwerte:

- Steigerung der Verständlichkeit des Themas Digitalisierung und seiner Instrumente für die Anwender dieser Grundlagenstudie (einheitliches Verständnis von Inhalt und Vorgehen, Praxisbeispiele),
- Verbesserung der Handhabbarkeit und Gestaltbarkeit der digitalen Transformation aus Sicht des Unternehmens,

- Erleichterung des Austausches zwischen den Mitgliedsunternehmen und mit dem AGFW zum Thema Digitalisierung (einheitliches Verständnis von Inhalt und Vorgehen).

Die gewählte methodische Vorgehensweise bei der Erarbeitung der Werkzeuge liefert über den vorliegenden Status hinaus folgende zukunftsbezogene Mehrwerte für den AGFW und seine Mitgliedsunternehmen:

- Robustheit und Neutralität der Matrixstruktur lassen eine hohe Zukunftsgültigkeit erwarten, so dass das Grundschema nicht innerhalb kurzer Zyklen angepasst werden muss und Übungseffekte im Umgang damit nicht verloren gehen.
- Die Flexibilität der Struktur lässt sowohl eine weiterführende Detaillierung als auch eine grundsätzliche Erweiterung in allen Dimensionen zu; ebenso lässt sich die Matrix, insbesondere in ihren Ausprägungen, leicht in Bezug auf technologische Weiterentwicklungen aktualisieren.
- Eindeutigkeit und Konkretisierung der Matrix bilden grundsätzlich die Basis für die Vergleichbarkeit von Positionsbestimmungen, auch über die der eigenen Ist- und Ziel-Position hinaus, so dass sich Unternehmen auch untereinander vergleichen könnten.

5.3 Ausblick

Die vorliegende Grundlagenstudie zur Digitalisierung in der Fernwärmebranche erhebt keinen Anspruch auf eine lückenlose Abdeckung des einen stetigen und rasanten Wandel unterliegenden Themenkomplexes. Angesichts einer sich kontinuierlich beschleunigenden technologischen Entwicklung sind fortlaufende Erweiterungen bzw. Aktualisierungen des Standes der Technik – und damit natürlich auch der Matrix – letztlich unerlässlich. Die Schärfung und Weiterentwicklung ließe sich am besten durch ein konstruktives und kritisches Feedback von den Mitgliedsunternehmen realisieren. Eine fortführende Bearbeitung zur Konkretisierung oder Vervollständigung einzelner Themen oder Themenbereiche könnte darüber hinaus auch in den Fachgremien des AGFW stattfinden. Im Rahmen seiner Dienstleistungsfunktion wird der AGFW seine Mitglieder über die branchenrelevanten Entwicklungen im Feld der Digitalisierung auf dem Laufenden halten und wichtige Erkenntnisse kommunizieren.

Je weiter die digitale Transformation fortschreitet und je höher der marktbezogene Anpassungsdruck wird, umso eher empfiehlt sich die Nutzung des entwickelten Instrumentariums auch für den Inter-Unternehmensvergleich. Vergleichbare Mitgliedsunternehmen könnten so weitergehende Erkenntnisse zum Anspruch ihrer Ziel-Positionen gewinnen und marktbezogenen Entwicklungsnotwendigkeiten bzw. -chancen ableiten. Der technologische Fortschritt wird außerdem zwangsläufig zu einer immer konkreteren und differenzierteren Positionierung führen.

Auf Basis der Rückmeldungen zu den technologischen Grundlagen, neuen Entwicklungen sowie der themenbezogenen Unternehmensvergleiche (Branchenspiegel) kann der AGFW künftig konkrete Themen und Anliegen aufnehmen. Diese lassen sich in branchenrelevante Anforderungen, Bedarfe oder Angebote und in eine Haltung übersetzen, die der Verband zielführend gegenüber Politik und Öffentlichkeit vertreten kann.

6. Anlagen

Anlage 1 – Matrix Praxisbeispiel 1: Netzumwälzung (Pumpen)

Anlage 2 – Matrix Praxisbeispiel 2: KWK

Anlage 3 – Matrix Praxisbeispiel 3: Predictive Maintenance – Teil 1

Anlage 4 – Matrix Praxisbeispiel 3: Predictive Maintenance – Teil 2

Die Anhänge der AGFW-Orientierungshilfe stehen [hier zum Download](#) für Sie bereit (Rubrik: Sonderhefte → 2019).

Komplexanalyse Low
Vorlauftemperatur Ge
Wärmeerzeugung Hy
Trinkwassererwärmun
HAST Wärmeschutzni
Exergie Komplexanaly
Vorlauftemperatur Ge
Wärmeerzeugung Hy
Trinkwassererwärmun
Software HAST Wärm