Verbundprojekt: **Autonomes Risiko- und Informationssystem zur Strukturanalyse und Überwachung sicherheitsrelevanter Bauwerke (AURIS)**

Teilvorhaben: **Anforderungserhebung, Analyse von Markt- und Wettbewerbsfähigkeit sowie Kosten-Nutzen-Relation**

Abschlussbericht

Antragsteller: Emergent Actio KG
Ulrich Hartung, Geschäftsführer
Wasenweiler Str. 3, D-79241 Ihringen
Tel. 07668 – 99 606 – 49 / Fax. –54
hartung@emergent-actio.de

Schlüsselwörter: Automatisierte Informationsgewinnung, Echtzeit-Strukturüberwachungssystem, Bauwerkssicherheit, Datenmanagementsystem, Marktbezug Marktfähigkeit, Wettbewerbsfähigkeit, Anforderungserhebung, Kosten-Nutzen-Analyse, qualitative Forschung, quantitative Forschung, Innovationsmarktforschung

Koordinator: Ed. Züblin AG, Direktion Zentrale Technik
Dr. Peter-Michael Mayer
Albstadtweg 3, 70567 Stuttgart
Tel/Fax 0711 7883-235 / - 207
peter-michael.mayer@zueblin.de

Inhalt

A. Eckdaten und Ziele 4
I. Allgemeine Daten 4
II. Zielsetzung 4
III. Status 4
IV. Forschungsplan 4
B. Zusammenfassung 5
C. Marktsegmentierung 8
I. Allgemeine Aspekte 8
II. Durchführung der Segmentierung 11
III. Segmentbeschreibung 12
1. Ingenieurbauten 12
2. konstruktiv anspruchsvolle Bauwerke 15
3. Reguläre Bauwerke 16
C. Marktanalyse 18
I. Allgemein 18
II. Marktsegment Brücken 19
1. Forschungsmethoden 19
2. Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Forschung 20
III. Marktsegment ITK: Rechenzentren und Telekommunikation 31
1. Allgemein 31
2. Rechenzentren 32
3. Telekommunikation: Netzknoten und Seekabel-Landestellen 34
IV. Marktsegment Bürogebäude in PPP-Konzeption 35
V. Marktsegment Konventionelle Kraftwerke 37
VI. Marktsegment Offshore Windkraftanlagen 38
D. Wettbewerbsanalyse 40
I. Allgemein 40
II. Potentielle Wettbewerber mit vergleichbar oder ähnlichen Produkten 40
III. Indirekter Wettbewerb / Unternehmen mit möglichem späteren Markteintritt 43
IV. Monitoringlösungen mit Spezialisierung auf Brückenbauwerke 43
E. Kosten-Nutzen-Analyse 45
I. Verkehrsinfrastruktur: Brücken 45
1. Szenario 45
2. Forschungsansatz 46

3. Mengen- und Wertgerüst Neubau 47
4. Ergebnisse Neubau 51
5. Ergebnisse Nachrüstung 56
II. Rechenzentren / Netzknoten 60
1. Szenario 60
2. Forschungsansatz Nachrüstung 60
3. Ergebnisse 64
III. PPP-Projekte 66
1. Szenario 66
2. Forschungsansatz Neubau 67
3. Ergebnisse 70
IV. Kühlturm 73
1. Szenario 73
2. Forschungsansatz Nachrüstung 73
3. Ergebnisse Kühlturm Nachrüstung 75
V. Offshore-Fundamente 76
1. Szenario 76
2. Forschungsansatz Neubau 76
3. Ergebnisse 77
F. SWOT-Analyse und Fazit 78
1. Forschungsansatz 78
2. Transport und Verkehr: Brücken 79
3. ITK: Netzknoten und Hochverfügbarkeitsrechenzentren 81
4. Office-Gebäude / Office-Gebäude als PPP-Projekte 82
5. Offshore Windkraftanlagen 82
6. Industrielle Anwendungen / Konventionelle Kraftwerke 83
G. Verwertung der Ergebnisse 84
H. Anhang 85
Anlage 1: Durchgeführte Empirische Forschung 85
Anlage 2: Ermittelte Unternehmen mit angebotenen Monitoringlösungen 87
Anlage 3: Ermittelte Monitoringlösungen für Brücken 90
Abbildungsverzeichnis 91
Literaturverzeichnis 92

A. Eckdaten und Ziele

I. Allgemeine Daten

Zuwendungsempfänger:	Emergent Actio KG
Förderkennzeichen:	13N11741
Projektträger:	VDI Technologiezentrum GmbH
Verbundvorhaben:	AURIS - Autonomes Risiko- und Informationssystem zur Strukturanalyse und Überwachung sicherheitsrelevanter Bauwerke
Teilvorhaben:	Marktanalyse, Wettbewerbsanalyse, Kosten-Nutzen-Analyse
Laufzeit des Vorhabens:	01.06.2011- 31.05.2015

II. Zielsetzung

Das Ziel des Gesamtvorhabens AURIS war die Entwicklung und Langzeiterprobung eines Bauwerk-Sicherheitsmanagementsystems zum Schutz von Menschen in Gebäuden der kritischen Infrastruktur.

Ziel des Teilvorhabens war es dabei, die technischen Entwicklungen im Hinblick auf Anwendungsszenarien, Anforderungen potenzieller Verwender und wirtschaftliche Relevanz hin zu untersuchen und die Ergebnisse in die weitere Entwicklung einzubringen.

Hierzu sollten zunächst relevante Marktsegmente herausgearbeitet und eine Marktanalyse durchgeführt werden. Weitere Erkenntnisse sollten durch eine Kosten-Nutzen-Analyse erreicht werden, die geeignete Szenarien nicht nur betriebs- sondern auch volkswirtschaftlich analysiert. Ergänzt wurden die Untersuchungen durch eine Wettbewerbsanalyse. Die Ergebnisse wurden abschließend in einer SWOT-Analyse aufgelistet und interpretiert.

III. Status

Das Vorhaben konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Alle Ziele des Teilvorhabens wurden erreicht.

IV. Forschungsplan

Ziel dieses Untersuchungsschritts war die Ermittlung von Anforderungen seitens der Marktteilnehmer auf Basis einer umfassenden Markt- und Wettbewerbsanalyse sowie einer Kosten-Nutzen-Analyse. Das Untersuchungsgebiet umfasst Europa unter besonderer Berücksichtigung von Deutschland.

Eine Besonderheit der untersuchten Technologie ist es, dass sie in verschiedenen Bauwerken mit unterschiedlichen Nutzen eingesetzt werden kann. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, sich bei

allen Untersuchungsschritten an denkbaren Marktsegmenten zu orientieren und diese mittels neu erlangter Forschungsergebnisse kontinuierlich weiter auszudifferenzieren.

Hierzu wurden Methoden der empirischen Forschung eingesetzt, die speziell nach dem Konzept der Innovationsmarktforschung[1]ausgestaltet waren:

Zunächst wurden im Wege einer Sekundäranalyse Erkenntnisse zur Situation und Entwicklung des Marktes gesammelt. Anbieter und Nachfrager wurden hierbei untersucht.

Im nächsten Schritt wurden Anforderungen, Erfolgskriterien und Problembereiche erhoben und katalogisiert. Dies erfolgt mittels qualitativer Forschung durch Interviews mit potenziellen Verwendern, Entscheidern und Experten.

In einem weiteren Schritt wurden die Ergebnisse der qualitativen Forschung soweit wie möglich mit quantitativen Daten unterlegt. Diese wurden durch Sekundärforschung sowie quantitative Erhebungen erlangt.

Auf Basis aller erhobenen Daten erfolgte die Marktsegmentierung. Hierbei wurde der Gesamtmarkt anhand verschiedener Kriterien in Segmente untergliedert. Aus diesen wurden die für AURIS relevanten Marktsegmente herausgearbeitet.

Die Wettbewerbsanalyse stützt sich ebenfalls auf alle Erhebungsmethoden. Der größte Teil der Erkenntnisse wurde mittels Desk-Research erlangt. Diese Informationen wurden im Rahmen der qualitativen Interviews, insbesondere in den Experteninterviews, vertieft sowie – wo einschlägig – mittels quantitativer Forschung verifiziert.

Die Kosten-Nutzen-Analyse stützt sich hinsichtlich der Nutzungsszenarien und damit der verglichenen Hypothesen auf die Ergebnisse der qualitativen Forschung. Hinterlegte Kosten und Nutzen basieren wo notwendig auf eigenen Analysen sowie Angaben und Abschätzungen der Projektpartner. Wo möglich wurde ferner auf Sekundärdaten zurückgegriffen.

Für die SWOT-Analyse wurden die Ergebnisse aller einzelnen Untersuchungsschritte zusammengefasst und hinsichtlich Ihrer Auswirkung interpretiert. Auf Basis eines Stärken-Schwächen-Profils wurden insbesondere mögliche Chancen und denkbare Risiken herausgearbeitet. Abschließend werden in diesem Bericht Empfehlungen zum weiteren Vorgehen in den jeweiligen Marktsegmenten gegeben.

B. Zusammenfassung

Der geplante Forschungsansatz, im Wege der Innovationsmarktforschung parallel zur technischen Forschung mögliche Verwendungsarten, Anforderungen und Erfolgsfaktoren seitens unterschiedlicher Marktakteure zu erheben, erwies sich als erfolgreich. Die Bewertung verschiedener Verwendungsarten zeigte dabei auch sehr schnell, dass eine segmentorientierte Vorgehensweise hierbei von zentraler Bedeutung für eine spätere Verwendung der Technologie ist. Auch zeigte sich, dass die Segmentierung nicht lediglich zu Beginn und auch nicht als abgeschlossener Prozess angesehen werden sollte. Vielmehr hat sich eine iterative Vorgehensweise, die kontinuierlich gewonnenes Markt-Feedback einbezieht, als erfolgversprechend erwiesen. Hiermit konnte neben dem Bereich Brücken und Verkehrsinfrastruktur, für den bereits eine Eignung zu erwarten war, ein weiteres

[1] Steinhoff, Kundenorientierung bei hochgradigen Innovationen 2006, S.285

vielversprechendes Anwendungsfeld für die Technologie ermittelt werden: Rechenzentren und Netzknoten der Telekommunikation.

Die Segmentierung erfolgte zunächst aufgrund abstrakter Überlegungen und Expertenmeinungen, wurde dann aber im Laufe der qualitativen Forschung kontinuierlich weiterentwickelt. So wurden die folgenden Anwendungsfelder identifiziert, die eine nähere Untersuchung rechtfertigten: Transport und Verkehr: Brücken, ITK: Rechenzentren, ITK: Netzknoten der Telekommunikation, ITK: Internet Infrastruktur (Exchange Points und Seekabelendstellen), Offshore Windkraftanlagen, Bürogebäude sowie konventionelle Kraftwerke und andere industrielle Anwendungen. Alle Segmente wurden anschließend mit Mitteln der Marktanalyse sowie mit Hilfe einer Kosten-Nutzen-Analyse untersucht.

Im Fall von Brücken zeigte sich rasch, dass hier wie bereits vermutet, ein erhebliches Potenzial für die Verwendung der AURIS-Technologie besteht. Aufgeschlossene Marktteilnehmer treffen dabei zusammen mit bestehendem Potenzial und Nutzen sowohl im Normalbetrieb als auch in Katastrophenfällen. Auch die Kosten-Nutzen-Analyse lässt für die meisten Fallkonstellationen ein positives Ergebnis erwarten. Einschränkend dazu ist lediglich anzumerken, dass sich das Interesse in besondere Weise auf die Nachrüstung richtet und diese unter den verschiedenen Varianten die am wenigsten wirtschaftliche ist, wenngleich auch hier ein positives Ergebnis erreicht werden kann. Sollte die Bereitschaft wachsen, sowohl wirtschaftliche Bewertungen von Brücken als auch deren Strukturmonitoring über den ganzen Lebenszyklus zu betrachten, kann für die Zukunft von guten Anwendungsmöglichkeiten ausgegangen werden.

Neu identifiziert wurden die Anwendungsfelder aus dem ITK-Bereich. Während sich weniger kritische, neugebaute Rechenzentren mittlerer Größe als weniger relevant erwiesen, sind große Hochverfügbarkeitsrechenzentren, entsprechende Colocation-Center sowie Netzknoten der Telekommunikation als hochgradig relevante Anwendungsfelder anzusehen. Beide sind häufig in innerstädtischen Lagen und Bestandsbauten zu finden, oft nahe von Straßen und Bahnlinien, wie unsere Analysen ergaben. Die Befragten Marktteilnehmer waren für die Möglichkeiten der AURIS-Technologie sehr aufgeschlossen. Auch kann durch eine Optimierung der Lasteinbringung ein wirtschaftlicher Nutzen durch das System erreicht werden. Weiterhin lassen sich Bauwerksverschlechterungen frühzeitig erkennen, was ausreichende Zeitfenster eröffnet, die sonst zu erwartenden massiven Kaskadeneffekte eines Ausfalls zu verhindern. Somit wird in mehrfacher Hinsicht ein Nutzen erreicht, sowohl für den Betreiber als auch die gesamte Volkswirtschaft. Dies bestätigte die Kosten-Nutzen-Analyse. Hinsichtlich des Nutzens bestehen dabei nur geringe Unterschiede zwischen den Rechenzentren und den Netzknoten. Jedoch sind erstere wesentlich größer und der Einsatz damit betriebswirtschaftlich noch interessanter. Internet-Infrastruktur, wie z.B. die drei großen europäischen Exchangepoints in London, Amsterdam, Frankfurt und Düsseldorf können unter die Kategorie der großen Hochverfügbarkeitsrechenzentren subsummiert werden, da sie zumeist dezentral in den gleichen Einrichtungen untergebracht sind. Einzig die Seekabel-Endstellen erwiesen sich als weniger relevanter Teilaspekt der Internet-Infrastruktur.

Offshore Windkraftanlagen wurden bereits zu Beginn als vielversprechendes Einsatzgebiet gesehen. Es zeigte sich jedoch, dass Bedarf nur (noch) im Bereich von Fundamenten bzw. dem späteren Repowering von Fundamenten zu erwarten ist. Andere Bereiche wie Turm und Gondel sind bereits heute durch bestehende Anbieter abgedeckt. Die Kosten-Nutzen-Analyse zeigte auf, dass es möglich ist, durch die Wiederverwendung des Fundaments zu positiven wirtschaftlichen Ergebnissen zu gelangen. Jedoch wurde dabei auch deutlich, dass es hierbei stark auf die Sensordichte und damit die genaue letztendliche technische Ausgestaltung ankommt. Als

Problematisch erwiesen sich sowohl die Antwortbereitschaft im Rahmen der empirischen Forschung, als auch die Investitionsbereitschaft in der Branche. Insgesamt halten wir den Bereich für eine frühzeitige Verwendung der Technologie nicht für geeignet. Mittelfristig und bei einer positiveren Gesamtstimmung in der Branche kann hier aber kurzfristig Potenzial entstehen. Bis dahin sollten technische Aspekte weiterentwickelt werden, um ggf. mit einer geringeren Sensordichte auskommen zu können, da sich hierdurch die Wirtschaftlichkeit und damit auch das Interesse an der Verwendung stark steigern ließen.

Im Fall der Verwendung für Bürogebäude konnte keine Eignung für die Verwendung festgestellt werden. Trotz zahlreicher Interviews und intensiver Suche gelang es nur bedingt, Verwendungsszenarien zu identifizieren, die zu einem wirtschaftlichen Vorteil führen. Denkbare Nutzen im Normalbetrieb fallen nur vergleichsweise gering aus, Nutzen im Katastrophenfall oder aufgrund von Sicherheitsproblemen könnten zwar auftreten, sollten aus Sicht der Verwender aber lieber im Vorhinein durch konstruktive Änderungen vermieden werden. Die meisten Nutzen wurden beim Einsatz im Rahmen von PPP-Projekten festgestellt. Jedoch sind auch diese insgesamt zu gering, um zu Wirtschaftlichkeit zu führen oder aber sie sind nur schwer monetär zu bewerten. Auch die Meinung der befragten potenziellen Verwender mit PPP-Erfahrung vielen uneinheitlich aus, so dass auch hier keine Eignung anzunehmen ist. Die Kosten-Nutzen-Analyse, die dementsprechend negativ ausfällt, bestätigt dabei nur das Fehlen eines wirtschaftlichen Nutzens bzw. einer Value Proposition. Hieran sollte gearbeitet werden, wenn der Einsatz für Bürogebäude in Zukunft in den Fokus genommen werden soll.

Der Bereich industrieller Anwendungen sowie konventioneller Kraftwerke wurde zusammengefasst. Er steht letztlich exemplarisch für vielfältige Anwendungsszenarien vor dem Hintergrund von Industrieanalagen. Als wichtig hierbei erwies sich besonders, die individuellen Besonderheiten des einzelnen Anwendungsszenarios exakt zu erfassen. Diese können bei industriellen Anlagen sehr unterschiedlich ausfallen und dabei schnell Ausschläge zu einer positiven wie auch negativen Bewertung zur Folge haben. Im konkreten Fall konnte für die untersuchte Fallkonstellation eine positive Kosten-Nutzen-Bilanz ermittelt werden. Gleichwohl war die Einschätzung des Marktes eher verhalten. Kurzfristige Kostenreduktion stand dabei stärker im Vordergrund als langfristige Investitionen. Die konkrete Verwendung für konventionelle Kraftwerke ist daher zwar prinzipiell geeignet, erscheint für einen erstmaligen Einsatz aber vom Gesamtumfeld her zu schwierig. Dies bedeutet aber nicht, dass eine Verwendung in verschiedenen industriellen Kontexten nicht in Betracht kommt. Vielmehr ist das konkrete Nutzungsszenario sowie die anvisierte Teilbranche entscheidend. Anhaltspunkte für die Eignung in anderen Zusammenhängen, z.B. Gefahrstoffanlagen, konnten ebenfalls ermittelt werden.

Zusammenfassend sind einige sehr geeignete Anwendungsfelder erkennbar, für die ein zukünftiger Einsatz der Technologie in Betracht käme. Bei kontinuierlicher Fortsetzung der Untersuchung wären mit einiger Wahrscheinlichkeit noch weitere Anwendungsszenarien, speziell im industriellen Umfeld, aufzudecken. Die Ziele der Innovationsmarktforschung, geeignete Anwendungen aufzuzeigen und für die weitere Verwendung erforderliche zusätzliche Entwicklungsziele abzuleiten, konnte damit erreicht werden. Hiermit kann die Marktorientierung der technischen Entwicklung verbessert werden.

Weiterhin konnten potenzielle Anwendungsfelder der Technologie ermittelt werden, deren Einsatz nicht nur für den Betreiber wirtschaftlich wäre, sondern die gleichzeitig zu einem höheren Sicherheitsniveau für kritische Infrastruktur führen würde.

C. Marktsegmentierung

I. Allgemeine Aspekte

Um technische Entwicklungen auf spätere, potenzielle Bedarfe auszurichten, ist die Marksegmentierung von hoher Bedeutung. Mit Hilfe der Marksegmentierung können potentielle Nachfrager identifiziert und je nach Anforderungen und Kundenbedürfnissen in homogene, aber untereinander heterogene Teilmärkte gruppiert werden[2]. Die so gebildeten Gruppen können anschließend im Rahmen der weiteren Entwicklung wesentlich genauer und zielgerichteter fokussiert werden. Weiterhin können, z.B. durch den Ausschluss irrelevanter Märkte oder Anwendungen, Ressourcen optimiert werden. Insgesamt wird also eine differenzierte und fakten-basierte Markbearbeitung möglich. Dies ermöglicht, neue Technologien im Hinblick auf spätere, für einzelne Zielgruppen maßgeschneiderte Problemlösungen auszurichten.

Für eine erfolgreiche Segmentierung können eine Vielzahl von Kriterien herangezogen werden. Wesentlich für die Auswahl ist die Relevanz der Merkmale hinsichtlich der Abgrenzung von Bedürfnissen und Bedürfnisunterschiede in den Zielgruppen[3]. Auf den Anwendungsfall von AURIS übertragen bedeutet dies, dass für jedes Bauwerk im Bereich Hochbau ein Strukturüberwachungssystem relevant sein wird. Wesentliche Segmentierungsmerkmale müssen sich daher an der Frage ausrichten, ob und wofür ein Strukturüberwachungssystem relevant sein könnte.

Hierfür kommen bauwerksbedingte und externe Faktoren in Betracht.

Bauwerksbedingte Faktoren sind charakterisiert durch den Verwendungszweck und die Konstruktion eines Bauwerks. Die Konstruktionsart ist entscheidend für mögliche Belastungen, denen ein Hochbau unterliegt und die damit ein Strukturüberwachungssystem stärker relevant machen könnten.

Zu den Bauwerken mit anspruchsvollen Konstruktionen zählen Brücken, Bahnhöfe, Schleusenanlagen oder Bauwerke von Kraftwerken. Große Bauwerke mit repräsentativem Anspruch, wie Flughäfen, Stadien und auch Hochhäuser unterfallen ebenfalls diesem Bereich.

Der Verwendungszweck kann ebenfalls dazu führen, dass das Bauwerk hohen Belastungen ausgesetzt ist, die zur Anwendung eines Strukturmonitorings führen. Im Verkehrssektor sind die Bauwerke der Infrastruktur insbesondere Brücken aufgrund ihrer Funktion starken Belastungen ausgesetzt. Diese Entwicklung wird sich mit steigendem Verkehrsaufkommen und steigender Anzahl an Schwertransporten in den kommenden Jahren weiter fortsetzen.

Die Verwendung ist ferner relevant für die Risikoeinstufung und Sekundärnutzen, die aus einem Strukturüberwachsungssystem resultieren können.

Externe Faktoren können ebenfalls zu Interesse an der Überwachung der Gebäudestruktur führen. Zu externen Faktoren zählt neben Naturkatastrophen, mögliche Sicherheitsrisiken oder sonstige unplanmäßige und nicht vorhersehbare Verschlechterungen der Tragstruktur. Durch diese Faktoren sind Hochbauten besonderen Belastungen ausgesetzt, die sich auf die Tragstruktur auswirken und eine Strukturüberwachung relevant werden lassen können.

[2] Vgl. Talke, K. (2005): S. 85.
[3] Pepels, S. 49

Zum Schutz von großen Menschenmengen, die sich in großen und hohen Gebäuden aufhalten, könnte sich je nach Risiko ein Interesse für ein Strukturüberwachungssystem ergeben. An die Evakuierungspläne von Hochhäusern werden hohe Anforderungen gestellt.

Der Sicherheitsaspekt könnte daneben bei Bauwerken zum Tragen kommen, bei denen es im Schadensfall zu starken Kaskadeneffekten kommen kann. Um hohe volks- und betriebswirtschaftliche Folgen abzuwenden, könnte ein solches System von Interesse sein. Je eher ein Bauwerk der kritischen Infrastruktur zugerechnet wird, desto größer könnten die Anforderungen an Sicherheit und Gewährleistung sein und die AURIS-Entwicklung interessant sein.

Kritische Infrastrukturen werden in verschiedenen Ländern ähnlich definiert.[4] Innerhalb der deutschen Bundesregierung wird folgende Definition verwendet:

> „Kritische Infrastrukturen sind Organisationen und Einrichtungen mit wichtiger Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen, bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen eintreten würden."[5]

In verschiedenen Sektoren sind kritische Infrastrukturen vorzufinden. Jedes einzelne Bauwerk könnte damit für einen möglichen Einsatz der AURIS-Entwicklungen in Frage kommen. Hierzu zählen sowohl Hochbauten wie auch Ingenieurbauten. In Abbildung 1 werden diese aufgelistet und bilden sogleich die Grundgesamtheit möglicher Marktsegmente.

Ein weiteres Beispiel ist die Einteilung der Bauwerke nach Schadenfolgenklassen. Basierend auf der Norm DIN EN 1990[6] werden drei Consequence Classes (CC) gebildet. Menschen und Gesundheit bilden auch hier das wichtigste Beurteilungskriterium. Wirtschaftliche Folgen werden sekundär eingestuft. Die Zuordnung dieser Bauwerksklassen kann eine Orientierung für die Zeitintervalle notwendiger und planmäßiger Strukturprüfungen sein. Bei hochbeanspruchten Bauwerken, wie Stadien oder Kongresshallen, wird eine Inspektion alle zwei bis drei Jahre, eine eingehende Prüfung alle sechs bis neun Jahren empfohlen.[7]

Abbildung 1 Bauwerke kritischer Infrastrukturen

Kritische Infrastrukturen		
Sektor	**Infrastruktur**	**Bauwerke**
Transport und Verkehr	• Luftfahrt • Seeschifffahrt • Schienenverkehr • Binnenschifffahrt • Straßenverkehr • Logistik / Postwesen	• Bahnhof • Brücken • Tunnel • Flughäfen • Hafen- und Schifffahrtsanlagen • Parkhäuser/ Tiefgaragen, intermodale Einrichtung • Postgebäude
Energie	• Elektrizität • Kernenergie • Gas • Mineralöl • Speicheranlagen und Raffinerien • Übertragungs- und Verteilungssysteme	• Atomkraftwerke • Wasserkraftwerke • Offshore-Plattformen • …
Gesundheit	• Medizinische Versorgung • Arzneimittel und Impfstoffe	• Krankenhaus • Labore

[4] Definition Kritischer Infrastrukturen in unterschiedlichen Nationen siehe Anlagen: Anlage 1.
[5] Bundesministerium des Innern (2009): S. 3.
[6] DIN Norm der Grundlagen der Tragwerksplanung
[7] Vgl. Zilch, K *et al.* (2009): S. 141.

	• Gesundheits- und Blutversorgungs-einrichtungen • Labore • Such- und Rettungswesen, Hilfsdienste	• Alten-/ Pflegeheime • …
Informationstechnik und Telekommunikation	• Telekommunikation • Informationstechnik • Fernmeldewesen • Rundfunksysteme • Software, Hardware • Netze wie das Internet	• Rechenzentren / Netzwerkknoten • …
Finanz- und Versicherungswesen	• Banken • Versicherungen • Finanzdienstleister • Börsen	
Wasser	• Wasserversorgung • Wasserentsorgung • Stau-, Speicher- und Behandlungsanlagen sowie Netze	• Staudämme • …
Ernährung	• Ernährungswirtschaft • Sicherheit • Produktionsmittel • Großhandel und Lebensmittelindustrie	• Geschäftsgebäude • Gewerbebetriebe • Groß- und Einzelhandel • Produktionsstätten • Verkaufsstätten
Staat und Verwaltung	• Regierung und Verwaltung • Parlament • Justizeinrichtungen • Notfall-/ und Rettungswesen einschließlich Katastrophenschutz	• Bauhöfe • Feuerwehr • Gemeindezentren, Bürgerhäuser • Gerichtsgebäude • Parlaments- und Regierungsgebäude • Polizei • Rathäuser, Ämter, Behörden
Medien und Kultur	• Denkmäler • Wahrzeichen • Kultur	• Beispiele: Brandenburger Tor, Kölner Dom… • Fernsehturm • Sendezentralen
Gefahrstoffe	• Chemie und Biostoffe • Gefahrguttransporte • Rüstungsindutrie	• Geschäftsgebäude • Gewerbebetriebe • Produktionsstätten
Sonstiges	• Sonstige Bauwerke z.B. im Bereich Sport • Große Forschungs- und Entwicklungszentren	• Universitäten/ Hochschulen • Stadien

(Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an die Quellen „Europäische Kommission (2004)“&„Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2011)“)

Als weiteres Kriterium ist eine Segmentierung nach Entscheidungsträgern sinnvoll. Im Zuge der Anwendung von Betreibermodellen wie Public Private Partnership (PPP) könnte ein Strukturüberwachungssystem einen Nutzen für die Vertragsparteien generieren. Das System könnte bei der Übernahme konkrete Daten und Aussage über den tatsächlichen Zustand des Bauwerks erstellen, ohne das ein Mehraufwand an Zeit und Kosten beispielsweise für einen Gutachter nötig sind. Ein reibungsloser Ablauf wäre möglich.

Die Nachhaltigkeit von Bauwerken könnte ein weiterer Faktor sein, der auf einen möglichen Bedarf Einfluss ausübt. Bei Gebäuden, die für einen langen Zeitraum konzipiert sind, könnte ein größeres Interesse an einem Monitoringsystem bestehen. Strukturprobleme und Ermüdungserscheinungen tauchen tendenziell eher in einem späteren Abschnitt des Life-Cycle auf.

Ein weiteres Segmentierungskriterium stellt die Nachrüstungsmöglichkeit der AURIS-Entwicklungen dar. Können Bauwerksstrukturen nicht erfolgreich nachgerüstet werden, könnte dies zu einer Verkleinerung der Segmente führen.

Die spezifische Bindung an einen Ort könnte in einzelnen Bereichen zu einem Interesse an einem Strukturüberwachungssystem führen. Datenknotenpunkte sind aufgrund ihrer Nutzungsweise beispielsweise an fest vorgegebene Orte gebunden, da Glasfaserkabel bereits verlegt sind. Die Verlegung an einen anderen Ort ist in diesen Fällen nicht mehr möglich. Historische Bauwerke sind beispielsweise ebenfalls an einen bestimmten Ort gebunden und können aufgrund ihrer geschichtlichen Bedeutung nicht einfach verlegt werden und an einem anderen Ort neu errichtet werden. Die bestehenden Strukturen weisen auf Grund dessen auch ein hohes Alter auf und könnten interessant für ein Strukturmonitoringsystem sein.

II. Durchführung der Segmentierung

Für die Durchführung der Marktsegmentierung wurde ein mehrstufiger Segmentierungsansatz gewählt. Dabei erfolgt die Segmentierung zunächst anhand eines oder mehrerer Kriterien. Ergeben sich nach diesem ersten Schritt noch keine homogenen Segmente, wird der Markt durch zusätzliche Kriterien weiter aufgespalten.

In einem ersten Schritt wird der Markt an Hochbauten nach der jeweiligen Zugehörigkeit zur kritischen Infrastruktur aufgeteilt. Der Markt teilt sich somit in zwei Segmente. Das eine Segment beinhaltet alle Bauwerke der kritischen Infrastruktur. Das andere Segment umfasst alle Hochbauten, die nicht zur kritischen Infrastruktur gezählt werden.

Im nächsten Schritt wird das Segment, in dem alle Hochbauten der kritischen Infrastruktur enthalten sind, unterteilt nach Bauwerkstypen. Es entstehen die drei Segmente Ingenieurbauten, konstruktiv-anspruchsvolle Bauten und reguläre Bauwerke.

Im Bereich Ingenieurbauten ist eine weitere Aufspaltung nach dem Verwendungszweck der Bauwerke möglich. Aufgrund des Verwendungszweckes stellen sich andere Anforderungen an die Bauten im Sektor Verkehr als im Sektor Energie. Innerhalb beider Segmente ist zudem eine weitere Unterteilung unter Berücksichtigung von Kaskadeneffekten, die bei Ausfall der Strukturen entstehen, möglich. So sind Brücken an wichtigen Verkehrsknotenpunkten stärker von Kaskadeneffekten betroffen. Im Energiesektor führt der Ausfall von Kraftwerksbauten oder dem Staudamm einer Wasserkraftanlage zu stärkeren Kaskadeneffekten als der Ausfall einer einzelnen Windenergieanlage. Des Weiteren wurde insbesondere im Bereich Brücken nach dem Kriterium Nachrüstbarkeit segmentiert und eine Unterteilung des Segmentes nach Neubauten und Bestandsbauten durchgeführt. Durch die Berücksichtigung externer Faktoren, wie Naturkatastrophen oder der Möglichkeit terroristischer Angriffe werden die Segmente weiter extrahiert.

Im Segment konstruktiv-anspruchsvoller Konstruktionen wird ebenfalls eine Trennung der Bauwerke nach dem jeweiligen Verwendungszweck vorgenommen. So ergeben sich die Segmente Flughäfen, Stadien und Officegebäude. Innerhalb der Segmente ist eine weitere Unterteilung nach Betroffenheit durch Kaskadeneffekte zu berücksichtigen. Während der Ausfall von Sportflughäfen kaum Kaskadeneffekte zur Folge hätte, kann dieser Effekte bei Fracht-, Militär- und Passagierflughäfen stark ausgeprägt sein. Eine weitere Untergliederung der Segmente Flughäfen, Stadien und Officegebäude ist zudem unter Berücksichtigung externer Faktoren möglich.

Zu den Segmenten, die sich im Bereich regulärer Bauwerke nach der Unterscheidung nach dem Verwendungszweck ergeben, gehören Officegebäude, Verwaltungsbauwerke sowie Rechenzentren und Datenknotenpunkte. Daneben bilden funktionelle Bauwerke und Krankenhäuser ebenfalls Segmente dieser Gruppe. Diese Segmente lassen sich ebenfalls

nochmals durch die externen Faktoren unterteilen. Die Verwaltungsgebäude lassen sich zudem nach geographischen Kriterien unterteilen. Bei Rechenzentren und Datenknotenpunkten ist eine Unterteilung aufgrund der Ortsbindung, welche sich durch die Funktion der Gebäude ergibt, relevant.

In den Bereichen Verwaltungsbauwerke und Brücken wird als Sonderfall die Segmentierung nach dem Kriterium Entscheidungsträger relevant, da in diesen Segmenten die PPP-Betreibermodelle zur Anwendung kommen.

Die vorgenannten Kriterien wurden zunächst auf abstrakter Ebene zur Aufteilung des Gesamtmarktes verwendet. Anschließend wurden im Rahmen der empirischen Forschung gezielt Informationen zu diesen Aspekten ermittelt. Auf dieser Basis erfolgte eine kontinuierliche weitere Ausdifferenzierung der Segmente und Anwendungsszenarien. Diese sind nachfolgend dargestellt.

III. Segmentbeschreibung

Die nachfolgenden Segmente wurden im Rahmen der Segmentierung ermittelt und anschließend mittels der Marktanalyse vertieft untersucht:

- Transport und Verkehr: Brücken
- ITK: Rechenzentren
- ITK: Netzknoten der Telekommunikation
- ITK: Internet Infrastruktur (Exchange Points und Seekabelendstellen)
- Office-Gebäude / Office-Gebäude als PPP-Projekte
- Offshore Windkraftanlagen
- Industrielle Anwendungen / Konventionelle Kraftwerke

Nachfolgend werden die Segmente und ihre Aufteilung beschrieben.

1. Ingenieurbauten

1.1. Transport und Verkehr

1.1.1. Brücken

Die bereits auf theoretischer Ebene unterstellte Eignung des AURIS-Systems für den Anwendungsfall Brücken und deren Ersteller- und Betreiber als Zielgruppe konnte bereits bei den ersten Interviews bestätigt werden.

In konstruktiver Hinsicht sind insbesondere Spannbetonbrücken als relevant, grundsätzlich aber auch andere Konstruktionsformen. Gerade im Bereich der Spannbetonbrücken besteht in vielen Ländern Europas zunehmender Sanierungsbedarf – und im Zuge dessen auch Interesse an Überwachung, z.B. zur Verlängerung der Lebensdauer oder zur Priorisierung von Problemfällen.

Hieraus ergibt sich auch die Frage von Neubau oder Sanierung als Segmentierungskriterium.

Als weiterer Aspekt zeigte sich verwendetem Verkehrsmittel als relevant. Insbesondere im Bereich des Straßenverkehrs sind im Verlauf der Lebensdauer bestehender Brücken erheblich gestiegene Belastungen zu verzeichnen.

Im Ergebnis wurden folgende Segmente gebildet:

- Bahnbrücken jeweils in der Variante Neubau oder Nachrüstung
- Straßen-/Autobahnbrücken jeweils in der Variante Neubau oder Nachrüstung
- Sonderform Bahnhöfe in Brückenbauweise (z.B. Wiener Hauptbahnhof oder dem Berliner Hauptbahnhof)

Diese Segmente wurden anschließend mittels Marktanalyse auf Eignung hin untersucht.

1.1.2. Häfen- und Schifffahrtsanlagen

Ein Bedarf für ein Strukturüberwachungssystem ist insbesondere im Rahmen von Schifffahrtsanlagen und Staumauern denkbar. Die zu überwachenden Bauteile aus diesem Bereich bestehen zum großen Teil aus Beton. Die Anwendung der AURIS-Entwicklungen könnte Relevanz haben, wurde zugunsten anderer Anwendungsfälle aus dem Verkehrsbereich jedoch nicht detailliert untersucht.

1.2. Energieversorgung

1.2.1. konventionelle Kraftwerke

Im Bereich konventionelle Kraftwerke könnte ein Bedarf für ein Strukturüberwachungssystem bestehen. Hierbei erwies sich im Rahmen der Interviews, dass nach folgenden Kriterien zu unterscheiden ist:

- Bauwerke, die direkt Einrichtungen zur Stromversorgung beherbergen
- Spezielle technische Bauwerke wie Schornsteine oder Kühltürme
- Hilfsbauwerke

Weiterhin wurden als relevante Anwendungsfälle einerseits die Überwachung aus Sicherheitsaspekten sowie andererseits die Verlängerung der wirtschaftlichen Lebensdauer von Bauwerken ermittelt. Dies bedingt auch, dass das System im Rahmen der Nachrüstung zum Einsatz kommen kann.

Die Lebensdauer von konventionellen Kraftwerken beziffert sich je nach Kraftwerkstyp auf 40 bis 45 Jahren.[8] In diesem Bereich wird durch das System eine verbesserte Kontrolle erwartet und damit ein Bedarf begründet. In der EU sind 70% der konventionellen Kraftwerke älter als 30 Jahre.[9]

Die Überwachung von Schornsteinen wird alle 2 Jahre durchgeführt und Kühltürme werden alle 3 Jahre überprüft. Die visuelle Überprüfung dieser Bauten ist sehr aufwendig und zum Teil schlecht durchführbar. Das Interesse an Systemen, die die Überprüfung vereinfachen, konnte im Rahmen der Interviews nachgewiesen werden. Schornsteine sowie Kühltürme bestehen aus einer Betonstruktur, welche durch eine Beschichtung geschützt ist. Diese Beschichtung ist in Folge der

[8] Koepp/ Mellahn/ Peter, S.7
[9] Eurelectric 2011, S. 4

Funktionsweise dieser Bauten starken Abnutzungserscheinungen ausgesetzt. Auf Grund dessen wäre die Überwachung des Zustands der Beschichtung, aber auch der darunterliegenden Beton-Stahl-Konstruktion ein Anwendungsfeld, in dem ein Bedarf bestehen könnte.

1.2.2. Wasserkraftanlagen

Die AURIS-Entwicklungen könnten im Bereich großer Wasserkraftanlagen insbesondere bei Talsperren zur Anwendung kommen. Talsperren müssen sicher gebaut werden und das Ausbleiben eines Versagens muss gewährleistet werden. Im Zuge dieser Vorgaben kommen umfangreiche Überwachungsmaßnahmen zur Anwendung. Neben Sickermengen und Drainagemengen werden Verformungen der Staumauer ebenso überwacht wie Risse in der Struktur. Die Nutzungsdauer von Talsperren liegt bei 80 bis 100 Jahre oder länger. Talsperren werden im Lebenszyklus immer wieder erneuert und instand gesetzt.

Im Bereich Kavernen und deren Überwachung wäre ein weiterer möglicher Anwendungsfall zu sehen. Es handelt sich jedoch um einen Sonderfall, da das Interesse an einer Überwachung durch die äußeren Umstände hervorgerufen wurde und auf einen zeitlich begrenzten Zeitraum festgelegt ist. In der Nähe einer bereits bestehenden Kaverne wird ein Neubau ausgeführt, welcher zu Erschütterung, Spannungsumlagerungen, Verschiebungen und Verkippungen im Bestandsbau führt. Insbesondere das Strukturmonitoring der Kavernenwände in Bezug auf diese Veränderungen wäre von Interesse. Beispielsweise sind Verkippungen in einer Wand nur schlecht erfassbar und es gibt kaum einfache Messverfahren. Diesbezüglich wäre es von Interesse, zu wissen, wie der Verlauf der Verschiebung ist, zu Überwachung wie sich die Verschiebung verhält und wie schnell sie sich bewegt. Aussagen über die höchstmögliche Belastungsfähigkeit der Wand könnten ebenfalls ein Bedürfnis nach Überwachung erfüllen.

Ein Bedarf ist für den systemischen Einsatz in Form eines Ersatzes eines bereits bestehenden Systems oder in Form einer Ergänzung zur Erhöhung der Messgenauigkeit eines bereits bestehenden Systems denkbar. Beispielsweise kann es Probleme mit der tachymetrischen Messgenauigkeit geben, die an ihr Limit kommt. Dies bedeutet auf der einen Seite, dass die Messgenauigkeit des Gerätes voll ausgeschöpft ist. Andererseits wird bei Messungen festgestellt, dass sich mehrere Fixpunkte bewegen. Die Lösung besteht nun darin, dass neben der ursprünglichen Messung auch noch parallel eine neue, genauere Messung nachträglich ausgerüstet wird, um die Tendenzen zu erkennen und nutzbare Messwerte zu bekommen.

Es kann vermutet werden, dass das Interesse bei Betreibern mit größeren Stauanlagen größer ist.

Bei großen Stauanlagen kommen bereits Monitoringsysteme zur Überwachung zum Einsatz. Es besteht eine starke Entwicklung seit 15 Jahren in Bezug auf die Montage von Sensoren und deren Kopplung mit Datenbank und der Übertragung von Messdaten. Das Monitoring bezieht sich auf die technischen Anlagen und deren fehlerfreies Funktionieren und auf Verformungsverhalten der Staumauern.

Zusammenfassend zeigt sich, dass bei Wasserkraftanlagen grundsätzlich ein Bedarf für eine Überwachung der Bauwerke besteht. Im Zuge der hohen Sicherheitsansprüche werden aber bereits in einem breiten Spektrum Messungen und Überprüfungen der Bauwerke durchgeführt. Die AURIS-Entwicklungen müssen hier gegenüber den bisherigen Messmethoden stärker überzeugen. Ein erfolgreicher Markteintritt wird dadurch vermutlich erheblich erschwert.

1.2.3. Windenergieanlagen (Onshore, Offshore)

Die Energiegewinnung im Rahmen von Onshore und im Besonderen Offshore ist ein relativ neuer Bereich und es existieren kaum Erfahrungen in diesem Sektor. Auch aufgrund dieses Umstands werden bereits Monitoringsysteme eingesetzt. Im Bereich Windkraftanlagen wurde stark nach Monitoringlösungen gesucht und die Hersteller von Windenergieanlagen (WEA) waren in diesen Prozess involviert.

Dieses mögliche Marktsegment stellt jedoch spezifische Anforderungen an ein Monitoringsystem. Die reine Bauwerksbetrachtung hat in diesem Bereich keine ausreichende Aussagekraft. Die Kopplung zwischen der Betrachtung von Rotor und Turm müsste geschaffen werden, da die Dynamik der Anlagen besondere Probleme bereitet. Dabei bleiben Aussagen bezüglich der Instandsetzung grundsätzlich vernünftig, aber eine konkrete Aussage zur Betriebssicherheit ist deutlich relevanter und interessanter. Nicht übersehen werden darf dabei, dass die Verbindung von Monitoring mit einer wirtschaftlichen Bewertung oder Prognose in diesem Segment sehr wichtig ist. Eine Überwachung der WEA als Ganzes ist unerlässlich, um dieses Segment zu erschließen.

Aufgrund der verwendeten Materialien bei der Errichtung von WEA könnte sich zusätzlich eine Einschränkung dieses Marktsegmentes ergeben. WEA bestehen schwerpunktmäßig aus einer reinen Stahlkonstruktion. Im Zuge der Weiterentwicklung und Verbesserung von WEA zeichnet sich eine Entwicklung zu immer höheren Nabenhöhen ab. Ab Höhen von 100m stellen sich aber besondere Anforderungen an die Konstruktion der WEA. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurden zum Beispiel Hybridtürme entwickeln, die aus einer Kombination aus Stahl und Beton bestehen. Der untere Teil des Mastes besteht aus Betonteilen, der im oberen Teil durch ein Stahlrohr fortgesetzt wird.[10]

Im Bereich Repowering von WEA wäre der Einsatz der AURIS-Entwicklungen denkbar. Beim Repowering werden bereits bestehende Standorte mit WEA wiederverwendet. Der alte Turm wird beispielsweise übernommen, wenn dieser noch standfest ist oder die Fundamente werden beibehalten. Die veraltete Anlage wird in diesen Fällen durch eine neue Generation ersetzen und die Erfassung und Bewertung der bestehenden Struktur insbesondere des Betonfundaments wird notwendig. Das Monitoring wäre in diesen Fällen nützlich, da es konkrete Daten über den Zustand der bestehenden Strukturen und in Folge dessen über die mögliche Nutzungsdauer liefern könnte.

Zusammenfassend können folgende Segmente abgeleitet werden:

- Ganzheitliches Monitoring von Onshore-WEA
- Ganzheitliches Monitoring von Offshore-WEA
- Monitoring von WEA-Fundamenten zwecks Repowering, speziell im Offshore-Bereich

2. konstruktiv anspruchsvolle Bauwerke

2.1 Flughäfen

Die AURIS-Entwicklungen könnten im Bereich von Flughäfen von Interesse sein. Die Flughafengebäude werden sowohl in Stahlbetonbauweise oder als Stahlkonstruktionen errichtet. Aufgrund einer hohen Anzahl von Passanten könnte der Einsatz eines

[10] Siehe: http://www.neueenergie.net/index.php?id=1714 [Stand: 12.09.2012]/vgl. Funke, S.151-176

Strukturüberwachungssystems in diesem Bereich von Interesse sein.
Aus Interviews konnten hierzu jedoch keine Informationen gewonnen werden.

2.2 Stadien

Ein weiteres Marktsegment für die AURIS-Entwicklungen könnte im Bereich von Stadien und Eishallen liegen.

Hierbei zeigte sich, dass eine kontinuierliche Überwachung der Stahlbetonkonstruktion nicht als notwendig erachtet wurde.

Die Überwachung der Dachkonstruktion könnte dennoch einen Bedarf begründen, da es sich um komplexe Konstruktionen handelt.

Eine Untersuchung im Rahmen der Marktanalyse wurde in diesem Segment durchgeführt.

2.3 Bürogebäude

Im Bereich Geschäftsgebäude könnte ein mögliches Marktsegment gesehen werden. Die AURIS-Entwicklung wird aber wahrscheinlich kaum zur Anwendung kommen, da in diesem Bereich keine relevanten Veränderungen der Tragstruktur erwartet werden. Dies hängt zum einen mit den Erwartungen, die an die Eigenschaften von Beton gekoppelt sind, zusammen. Zum anderen ist die tatsächliche Nutzungsdauer der Gebäude meist wesentlich kürzer als die Lebensdauer des Gebäudes. Dies beruht zum einen auf einem angestrebten frühzeitigen Rückfluss des verwendeten Kapitals, der häufig mit 15 bis 20 Jahren kalkuliuert wird. Im Ergebnis wird das durch mögliche Tragfähigkeitsdefizite gekennzeichnete Alter der Gebäude überhaupt nicht erreicht, da im Zuge von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen ein vorzeitiger Abriss und darauf folgender Neubau bevorzugt werden.

Weiterhin zeigten die Interviews, dass mit sicherheitsrelevante Überlegungen bei der Frage nach einer Eignung von untergeordneter Bedeutung waren, einerseits weil von einer geringen Eintrittswahscheinlichkeit ausgegangen wird, anerderseits weil bei vorhandenen Risiken diese bereits beim Bau in Form von Siucherheitsaufschlägen berücksichtigt werden. In der Folge ergaben die Interviews hierbei keinen wirtschaftlichen aus Sicht potenzieller Verwender.

3. Reguläre Bauwerke

3.1 Parlaments- und Regierungsgebäude

Für Regierungsgebäude wurde ein möglicher Bedarf für die AURIS-Entwicklungen untersucht.

Im Rahmen der folgenden Marktanalyse zeigte sich jedoch grundsätzlich die gleiche Problematik, wie bei anderen Office-Gebäuden. Es mangelte an Nutzungsszenarien mit konkreten wirtschaftlichen Vorteilen. Soweit Sicherheitsaspekte tangiert waren, wurden diese i.d.R. bereits im Vorfeld baulich berücksichtigt.

3.2 Regierungsgebäude in PPP-Konzepten

Die Ausgangslage könnte bei Office-Gebäuden, die im Rahmen von PPP-Konzepten erstellt wurden, vom vorgenannten abweichen. Hierauf ergaben sich Hinweise im Rahmen der Interviews. Relevant könnten dabei insbesondere planmäßige Eigentümerwechsel sein. Zum

Zeitpunkt solcher Eigentümerwechsel kann die genaue Kenntnis der Struktur und eventueller Mängel einen wirtschaftlichen Nutzen haben.

Dieser Sonderfall wurde daher im Rahmen der Marktanalyse weiter untersucht.

3.3 Informationstechnik / Telekommunikation

Rechenzentren stellen in vielerlei Hinsicht kritische Infrastruktur dar.

Als mögliche Anwendungsfelder ergaben sich:

- Allgemeine Rechenzentren
- Hochverfügbarkeis-Rechenzentren / Colocation-Center
- Netzknoten der Telekommunikation
- Internet Exchange Points
- Seekabel-Endstellen, speziell von Internet-Infrastruktur.

Allgemeine Rechenzentren, die als Neubauten klassifiziert werden, ergeben sich tendenziell nicht als mögliches Marktsegment. Diese Bauten sind für eine Nutzungsdauer von 20 bis 25 Jahren ausgelegt und werden in Lagen errichtet, die Best-Practice hinsichtlich sicherheitsrelevanter Aspekte ermöglichen. Darüber hinaus sind derartige Rechenzentren durch Redundanz tendenziell leichter ersetzbar. Durch die Interviewpartner wurde angegeben, dass die Überprüfung der Resttragfähigkeit nicht von großer Bedeutung ist.

Neben dem Neubau von Rechenzentren werden Rechenzentrumsflächen auch in bereits bestehende Strukturen integriert. Dieser Einbau eines Rechenzentrums in vorhandene Altsubstanz kann gegenüber Neubauten auf freier Fläche als tendenziell eher problematisch klassifiziert werden und könnte zu einem wirtschaftlichen Marktsegment für die AURIS-Entwicklungen führen. Bei dieser Bauform werden vorhandene Infrastrukturen übernommen und um Neuerungen erweitert. Diese neuen Strukturen sind dann für eine Lebensdauer von 30 bis 50 Jahre ausgelegt. Die fehlende Möglichkeit Best Practice beim Bau durchzuführen, könnte das Potenzial des Marktsegmentes erhöhen. Beispielsweise in Städten sind ein bestimmter Zustand und die Möglichkeiten bezüglich der Sicherheit durch den Standort vorgegeben.

Die vorgenannten Aspekte kommen gerade bei Rechenzentren mit besonderen Beanspruchungen zum tragen. Dies wird dadurch bedingt, dass diese Rechenzentren Netzanbiendungen mit niedrigster Latenz anzubieten suchen. Sie sind daher an den Verlauf besonders schneller Datenleitungen gebunden und oft auch die Nähe zu Internet Exchange Points.

Auch bei Knotenpunkten der Telekommunikation beziehungsweise Gebäuden mit der Funktion als Netzknoten besteht die Bindung an einen spezifischen Ort. Zusätzlich werden die Gebäude über einen längeren Zeitraum genutzt. Bei Bestandsbauten kann von einem Alter der Bauwerke bis 100 Jahre ausgegangen werden. Bei Neubauten werden ebenfalls 80 Jahre und mehr erreicht. Tendenziell handelt es sich um besonders geschützte Bauwerke in Kellern oder teilweise in Bunkern. Diese Bauten befinden sich – definiert durch die Netzstruktur – allerdings oft nicht an sicherheitstechnisch optimalen Standorten und weisen ein höheres Alter auf. Bei Problemen mit der Gebäudestruktur muss schnellstmöglich eine Lösung gefunden werden, da – im Unterschied zu normalen Rechenzentren - kein Ausweichen auf ein alternatives Bauwerk möglich ist. Es lassen sich zwei Zweckrichtungen für diese Überwachungsoption identifizieren. Auf der einen Seite um Schaden zu vermeiden und auf der anderen Seite um die Wiederherstellung zu beschleunigen und zu optimieren, damit Ausfallzeiten möglichst gering gehalten werden können.

Ein spezieller Fall von Rechenzentren sind jene, die kritische Infrastruktur des Internets beherbergen. Dies sind insbesondere Internet Exchange Points sowie Seekabelendstellen. Für Internet Exchange Points gelten die gleichen Voraussetzungen wie für Hochverfügbarkeitsrechenzentren. Auch sind beide Kategorien von Rechenzentren zum erheblichen Teil deckungsgleich. Eine gemeinsame Untersuchung für beide Arten von Rechenzentren erscheint daher sinnvoll.

Seekabel stellen wichtige Kapazitäten des interkontinentalen Datenaustauschs dar. Besonders kritische Punkte hierbei sind die Entstellen der jeweiligen Seekabel, bei denen die Anbindung an kontinentale Datennetze erfolgt. Auch diese stellen eine Form von Rechenzentren dar und sich daher in ihren Bedingungen weitgehend den Netzknoten der Telekommunikation vergleichbar. Ein wichtiger Unterschied besteht jedoch im Standort und Alter dieser Bauwerke. Gleichwohl kommen sie in Betracht und werden im Rahmen der Marktanalyse auf bestehenden Bedarf geprüft.

3.4 Funktionsbauten/ Funktionelle Bauten z.B. Industriegebäude/ Produktionsstätten

Ein Bedarf für die AURIS-Entwicklungen könnte sich im Bereich industrieller Anwendungen und Produktionsstätten. Die Ausgangssituation hinsichtlich von Nutzungsszenarien ist ähnlich der bei konvetionellen Kraftwerken. Für die Marktanalyse wurden beide Kategorien daher gemeinsam untersucht. Auch hier ergaben sich folgende Aufteilungen:

- Bauwerke, die technische Einrichtungen beherbergen
- Spezielle technische Bauwerke
- Hilfsbauwerke

C. Marktanalyse

I. Allgemein

Ziel der Marktanalyse war, die Marktfähigkeit der Technologie zu untersuchen und ggf. verschiedene Nutzungsszenarien beschreiben und priorisieren zu können. Die Marktfähigkeit lässt sich charakterisieren, als Fähigkeit eines Produktes oder einer Leistung gehandelt zu werden. Kann eine Nachfrage nachgewiesen oder prognostiziert werden, ist dies gegeben. Relevante Faktoren für die Ermittlung sind die Marktsituation, Erkenntnisse über die Zielgruppe und deren Bedarfe und mögliche Nachfragebarrieren.

Ein zentraler Bestandteil einer Marktanalyse ist die Bestimmung des Marktpotenzials. Das Marktpotenzial lässt sich definieren als „die Gesamtheit möglicher Absatzmengen eines Marktes für eine Produktgattung[11]. Als Indikatoren für die Bestimmung der Aufnahmefähigkeit eines Marktes dienen der Bedarf, mögliche Nachfragebarrieren und die Größe der Zielgruppe.

Marktanalysen wurden für alle bearbeiteten Segmente erstellt. Während in allen Segmenten mit Sekundärrecherchen gearbeitet wurde, unterscheidet sich die Vorgehensweise bei der Primärdatenerhebung zwischen den einzelnen Segmenten. Im Bereich der Brücken wurden in einem 2 stufigen Aufbau qualitative und quantitative Daten erhoben. In einem ersten Schritt wurden qualitative Einzelinterviews mit Eigentümern und Betreibern von Straßen- und Bahninfrastrukturbetreibern geführt. Ziel war es, erste mögliche Bedarfe, relevante

[11] Meffert, S. 52

Erfolgsfaktoren und Bedingungen zu ermitteln, die für den Einsatz eines sensorischen Strukturzustandsüberwachungssystems von Relevanz sind. Im zweiten Schritt wurde eine europaweite quantitative Onlineerhebung durchgeführt. Deren Ziel war es die gewonnenen Erkenntnisse aus der qualitativen Forschung zu überprüfen.

In den Segmenten Netzknoten, Kraftwerke, Officegebäude/PPP-Projekte und Offshore-Windkraftanlagen wurden aufgrund der vergleichsweise kleinen Zahl von Entscheidern ausschließlich qualitative Datenerhebungen durchgeführt. Mit dieser Methode kann aus der kleineren Zahl an Interviews eine möglichst hohe Informationstiefe erlangt werden. Ziel der Interviews war es dabei, Anforderungen, Barrieren und Erfolgsfaktoren zu ermitteln, die für die Markt- und Wettbewerbsfähigkeit der AURIS-Entwicklung von Bedeutung sind.

II. Marktsegment Brücken

1. Forschungsmethoden

Es wurden folgende qualitative Interviews geführt:

Abbildung 2 Überblick durchgeführte Forschung Brücken

Qualitative Forschung	
Geführte Interviews	**Institution/ Unternehmen**
	BASt - Bundesanstalt für Straßenwesen
	BAM - Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
	IUT - Université de Strasbourg, Institute of Technology (Frankreich)
	Österreichische Bundesbahnen (Österreich)
	ASFINAG - Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-AG (Österreich)
	Bauamt Schweinfurt
	Deutsche Bahn

Darüber hinaus erfolgte eine europaweite, quantitative Erhebung. Im Rahmen der Befragung im Jahr 2013 wurden 46 abgeschlossene Interviews erreicht (Rücklaufquote 9,4%). Der Vergleich der Stichprobe mit Sekundärdaten ergab, dass durch die erlangten Interviews ca. 22% der relevanten Brückenanlagen in Europa abgedeckt werden.

Quantitative Forschung		
Onlinebefragung (Europaweit)	46 Antworten	für ~ 22% der relevanten Brückenanlagen in Europa zuständig

2. Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Forschung

Im Bereich Verkehrsinfrastruktur wurde im Berichtszeitraum eine quantitative Erhebung durchgeführt. Ziel war es, Eigentümer und Betreiber von Verkehrsinfrastruktur zu ihrer Einschätzung der AURIS-Innovationen sowie sich ggf. daraus ableitender Anforderungen zu befragen.

Die Grundgesamtheit bilden potenzielle Nachfrager der AURIS-Produkte, d.h. Betreiber von Brückenanlagen im Bereich Eisenbahn- und Straßeninfrastruktur. Der relevante Markt wird auf die EU 26, einschließlich der Schweiz und Norwegen, festgelegt. Hier konnten n > 900.000 Brücken ermittelt werden, wovon ca. 400.000 in Bezug auf ihre Bedeutung als hinreichend relevant einzustufen sind. Mittels Sekundäranalyse wurden entsprechende Ersteller- und Betreiber-Institutionen europaweit recherchiert.

Die quantitative Primärdatenerhebung erfolgte mittels Onlinebefragung im Zeitraum vom 24.09. bis 25.10.2013. Zur Umfrage wurden 488 Einladungen in fünf verschiedenen Sprachen (Deutsch, Englisch, Spanisch, Französisch und Italienisch) per E-Mail verschickt und erfolgreich zugestellt.

In der Befragung wurde der allgemeine Status quo zum Thema Strukturzustandsüberwachung im Bereich Verkehrsinfrastruktur thematisiert. Des Weiteren wurden Nutzenerwartungen bezüglich des Einsatzes eines automatisierten Strukturüberwachungssystems ermittelt. Zusätzlich wurden die Strukturdaten der Befragten ermittelt, um mögliche Unterscheidungskriterien beim Verhalten im Entscheidungsprozess herausarbeiten zu können.

Der Fragebogen wurde anhand zuvor ermittelter Erkenntnisse aus den qualitativen Interviews mit Verkehrsinfrastrukturbetreibern und Experten entwickelt. Mittels dieser Interviews konnten erste Erfolgsfaktoren sowie mögliche Problembereiche der AURIS Produkte ermittelt werden.

Insgesamt wurden 46 abgeschlossene Interviews erreicht. Es ergibt sich eine Rücklaufquote von 9,4%, die als gutes Ergebnis zu bewerten ist. Nach einem Vergleich der Stichprobe mit Sekundärdaten können mit den Ergebnissen ca. 22% der relevanten Brückenanlagen in Europa abgedeckt werden.

2.1 Zentrale Ergebnisse

Strukturüberwachung und allgemeine Einsatzvoraussetzungen

Für 91% der Befragten ist Strukturüberwachung von Bauwerken von Bedeutung.

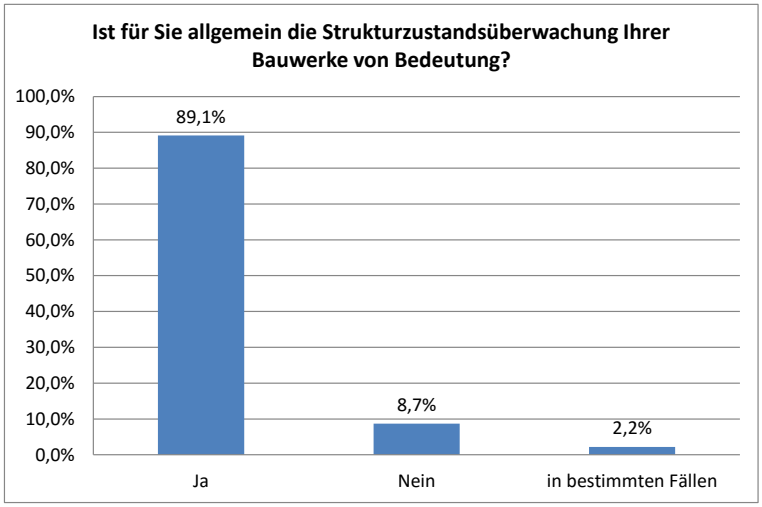


Abbildung 3 Bedeutung Strukturmonitoring

Für 63% der Befragten käme der Einsatz eines automatisierten Monitoringsystems zur kontinuierlichen Strukturzustandsüberwachung in Betracht.

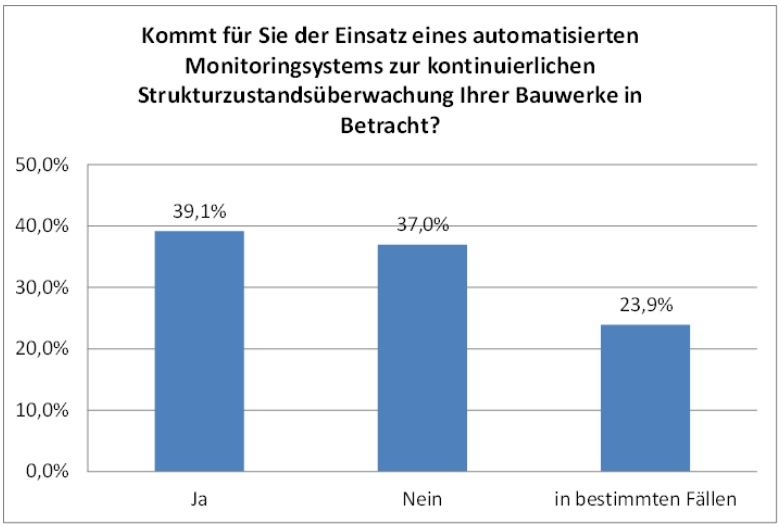


Abbildung 4 Einsatz von Strukturmonitoring denkbar

Als relevante Bauwerkstypen/-bereiche für eine Strukturzustandsüberwachung bestätigten sich Brücken. Außerdem wurden Tunnel und Stützmauern als denkbare Bauwerkstypen genannt.

Für 25% ist ein permanenter Einsatz eines Strukturüberwachungssystem von Bedeutung. Die Mehrheit der Befragten sieht dagegen eher einen anlassbezogenen Einsatz als relevant an. Als Anlassbezug werden vor allem festgestellte Beschädigung und kritische Bereiche der Bauwerke genannt.

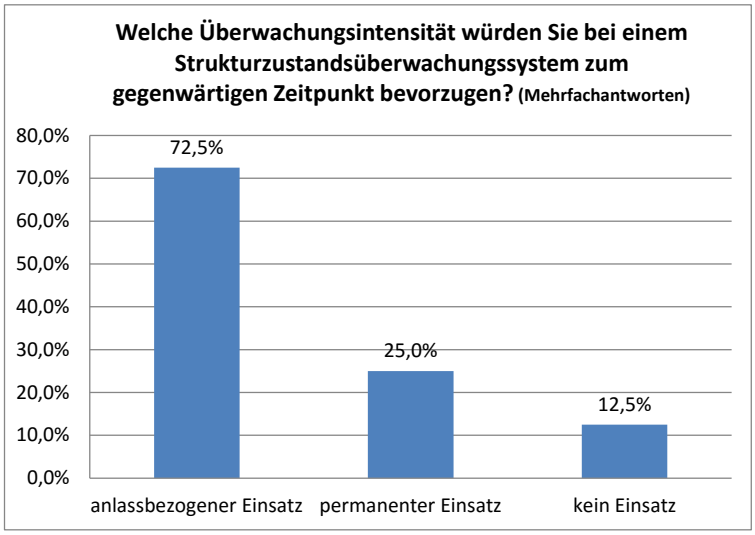


Abbildung 5 Überwachungsintensität

Die Befragten, die sich für einen permanenten Einsatz aussprachen, sind zu 100% für Erhaltung und zu 80% für den Betrieb zuständig. Des Weiteren fällt auf, dass 6 von 10 Befragten, die permanenten Einsatz als relevant benannten, mehr als 500 Brücken betreuen.

Anwendungsbereiche für ein Strukturüberwachungssystem werden mit Werten über 80% sowohl im Neubau, bei Nachrüstung und Nachrüstung bei Beschädigung gesehen. Während sich diese Wertung bei Betrachtung der Straßeninfrastrukturbetreiber bestätigt, zeigt sich, dass Bahninfrastrukturbetreiber eine Anwendung vor allem beim Neubau sehen.

Rund 70 % der Befragten gaben an, dass in den nächsten 10 Jahren Brückenneubauten geplant sind.

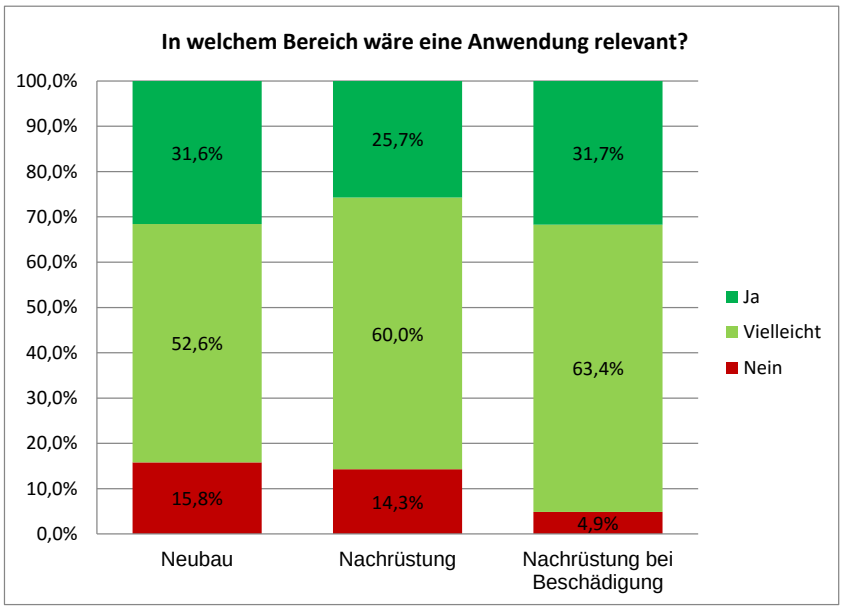


Abbildung 6 Einsatz bei Neubau oder Nachrüstung

Bahninfrastrukturbetreiber und Betreiber mit einer kleineren Brückenanzahl (bis 499 Brücken) zeigen ein erhöhtes Interesse, ein Strukturzustandsüberwachungssystem im Neubau einzusetzen. Die Nachrüstung bei Beschädigung ist für Straßeninfrastrukturbetreiber von höherer Bedeutung, lediglich 2,9 % haben diese Anwendung abgelehnt.

Insgesamt zeigte sich ein Zusammenhang zwischen der Anzahl der betreuten Brücken und dem Interesse an Strukturzustandsüberwachung. Wird eine größere Anzahl an Brücken betreut, ist das Interesse an Strukturüberwachungssystem insgesamt höher.

AURIS-System mit den Komponenten

Durch die Verwendung des AURIS-Systems wird von 52 % ein wirtschaftlicher Nutzen[12] im Betrieb erwartet. Am häufigsten wird als Nutzen eine Verringerung von Reparaturkosten durch frühzeitiges Erkennen von Schäden angegeben.

Die Betreiber mit einer hohen Anzahl an Brücken (mehr als 500 Brücken) erwarten häufiger einen wirtschaftlichen Nutzen durch die Anwendung von AURIS.

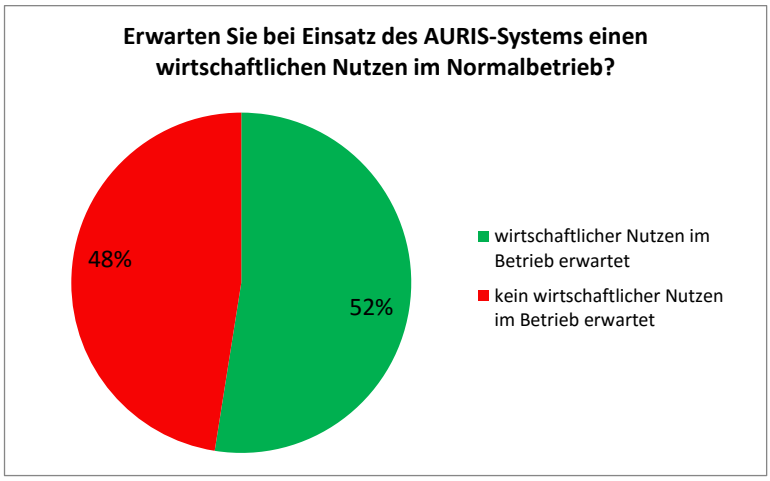


Abbildung 7 Wirtschaftlicher Nutzen im Normalbetrieb

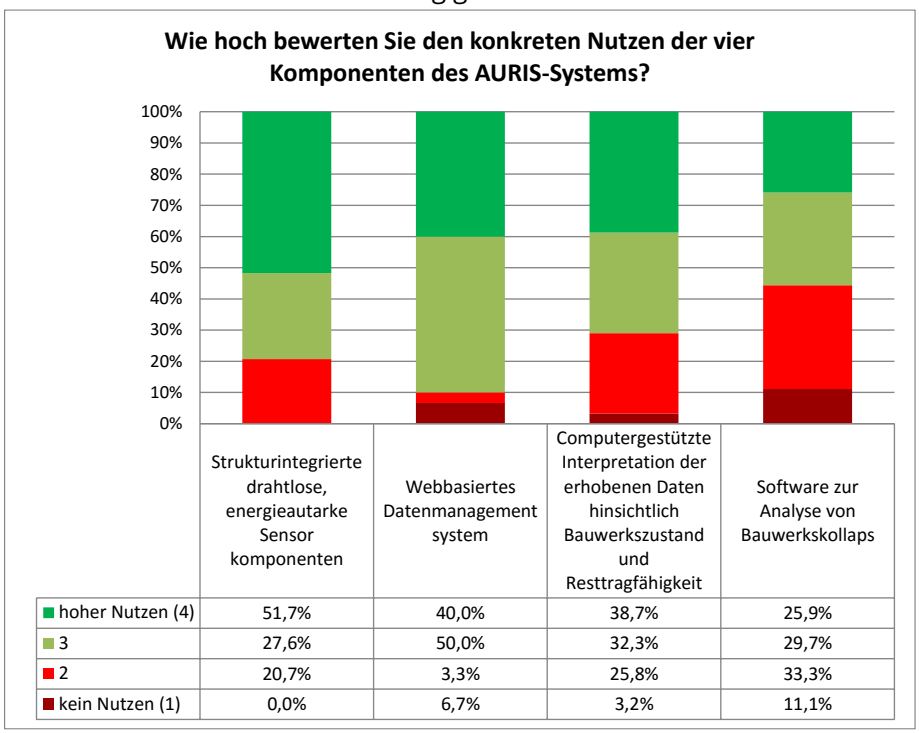
Ergebnisse, die zur Anwendung eines Strukturzustandsüberwachungssystems führen würden, sind für 79,5% der Befragten der Zweck als Entscheidungsgrundlage für das Erhaltungsmanagement. Für 70,5% ist das Ziel der Verlängerung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer bei bestehenden Bauwerken von Interesse. Die Gewährleistung einer ausreichenden Betriebssicherheit wird von 63,6% angegeben.

Im Ländervergleich zeigt sich, dass die Nutzenerwartung variiert. Befragte aus den BENELUX-Staaten erhoffen sich vor allem eine Optimierung der Wartung, deutsche Befragte dagegen eher die Verlängerung der Nutzungsdauer von Bauwerken.

Mehr als die Hälfte der Befragten erwartet für alle vier Komponenten des AURIS-Systems einen Nutzen. Der höchste Nutzen wird beim webbasierten Datenmanagementsystem gesehen.

[12] d.h. die Fähigkeit eines Produktes, ein bestimmtes bestehendes Bedürfnis zu befriedigen

Gefragt nach dem Nutzen der einzelnen Komponenten wurde für alle vier AURIS-Komponenten mehrheitlich eine Nutzenerwartung gesehen.



	Strukturintegrierte drahtlose, energieautarke Sensor komponenten	Webbasiertes Datenmanagement system	Computergestützte Interpretation der erhobenen Daten hinsichtlich Bauwerkszustand und Resttragfähigkeit	Software zur Analyse von Bauwerkskollaps
hoher Nutzen (4)	51,7%	40,0%	38,7%	25,9%
3	27,6%	50,0%	32,3%	29,7%
2	20,7%	3,3%	25,8%	33,3%
kein Nutzen (1)	0,0%	6,7%	3,2%	11,1%

Abbildung 8 Nutzen der einzelnen Komponenten

Für Befragte, für die der Einsatz eines automatisierten Monitoringsystems zur kontinuierlichen Strukturzustandsüberwachung in Betracht kam, zeigt sich, dass die Erwartung eines Nutzens gegenüber den Werten der gesamten Stichprobe höher ist. Bei Berücksichtigung der betreuten Brückenzahl zeigt sich ein erhöhtes Interesse für die Komponente computergestützte Interpretation der erhobenen Daten hinsichtlich Bauwerkszustand und Resttragfähigkeit bei Befragten mit weniger als 499 Brücken.

Im Vergleich haben für Bahninfrastrukturbetreiber die Interpretations- und Diagnosesoftware und die Software zur Analyse des Bauwerkskollapses einen höheren Nutzen. Das webbasierte Datenmanagementsystem wird dagegen von Straßenbetreibern mit höherem Nutzen bewertet.

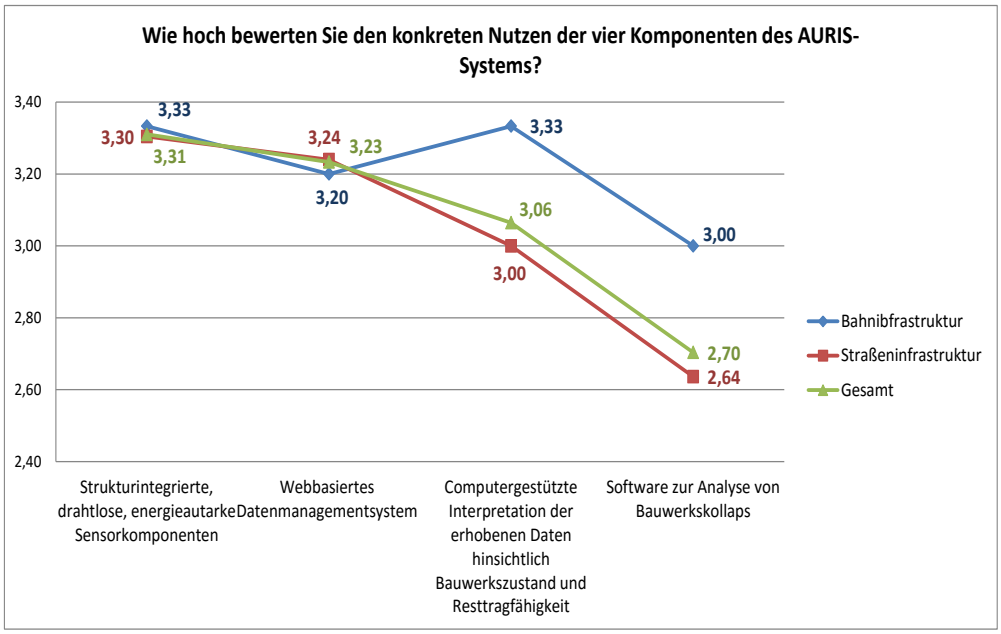


Abbildung 9 Nutzen der Komponenten nach Verkehrssystem

Insgesamt wären für 82% abhängig vom Bauwerk höhere Kosten durch das AURIS-System gerechtfertigt, für einen Befragten sogar unabhängig vom Bauwerk.

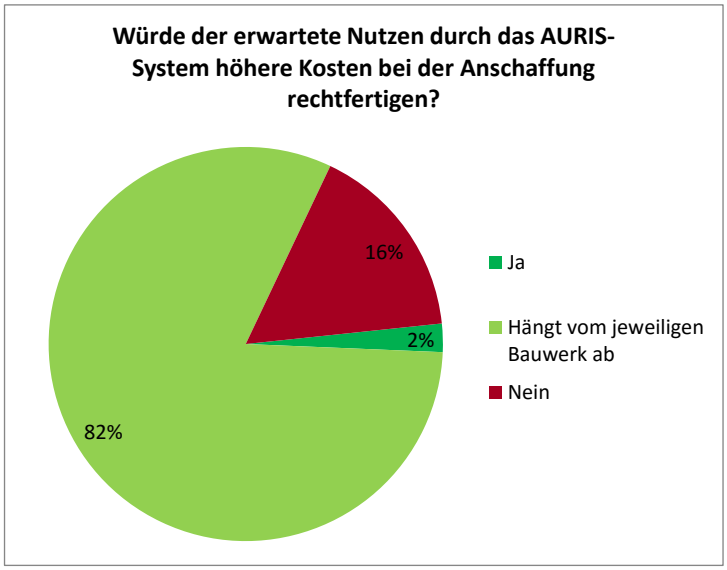
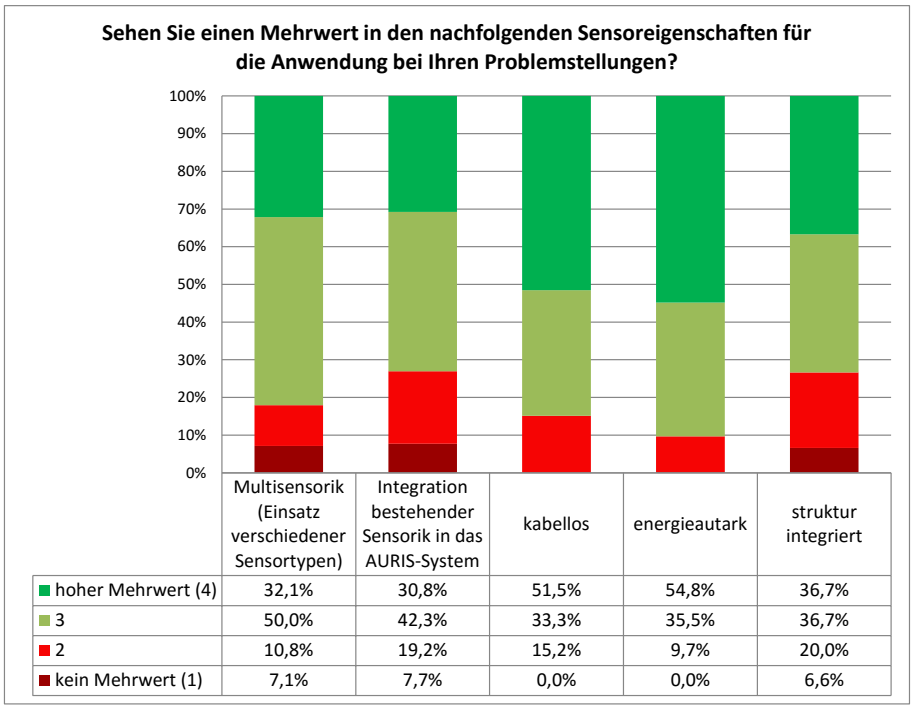


Abbildung 10 Nutzen rechtfertigt höhere Kosten

Sensoreigenschaften des AURIS-Systems

Mehr als 70% der Befragten erwarten durch alle Sensoreigenschaften des AURIS-Systems einen Mehrwert. Energieautark ist innerhalb der gesamten Stichprobe die Eigenschaft mit den höchsten Werten. Wurde für alle vier AURIS-Komponenten eine Nutzenerwartung angegeben, ist für mindestens 86% der Befragten auch eine Mehrwerterwartung bei den Sensoreigenschaften gegeben.



	Multisensorik (Einsatz verschiedener Sensortypen)	Integration bestehender Sensorik in das AURIS-System	kabellos	energieautark	struktur integriert
hoher Mehrwert (4)	32,1%	30,8%	51,5%	54,8%	36,7%
3	50,0%	42,3%	33,3%	35,5%	36,7%
2	10,8%	19,2%	15,2%	9,7%	20,0%
kein Mehrwert (1)	7,1%	7,7%	0,0%	0,0%	6,6%

Abbildung 11 Mehrwert der Sensoreigenschaften

Ein hoher Mehrwert der Sensoreigenschaften wird von Straßeninfrastrukturbetreibern öfter gesehen als bei Bahninfrastrukturbetreibern. Die Eigenschaft „energieautark“ ist für Straßenbetreiber von höherer Bedeutung als für Bahnbetreiber.

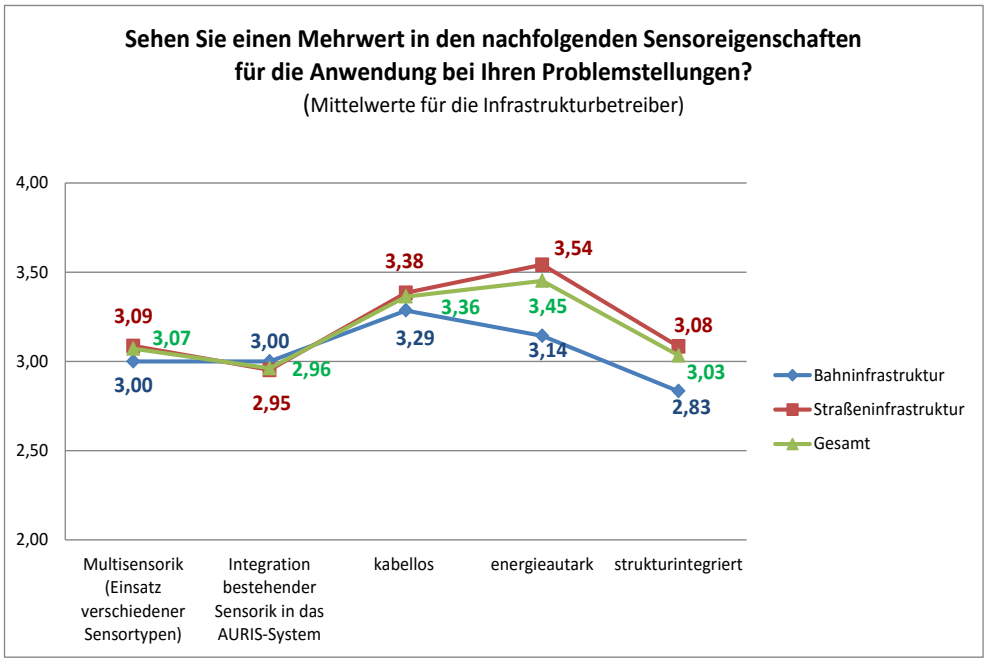


Abbildung 12 Mehrwert der Sensoreigenschaften nach Verkehrssystem

2.2 weitere Ergebnisse

Gesamtbauwerk vs. einzelne Teile

Rund 23% würden die Überwachung des gesamten Bauwerks befürworten. Für 66% der Befragten kommt die Überwachung einzelner Bauteile in Frage. 50% der Bahninfrastrukturbetreiber können sich den Einsatz am gesamten Bauwerk vorstellen. Im Vergleich sehen nur 17% der Straßeninfrastrukturbetreiber dies genauso.

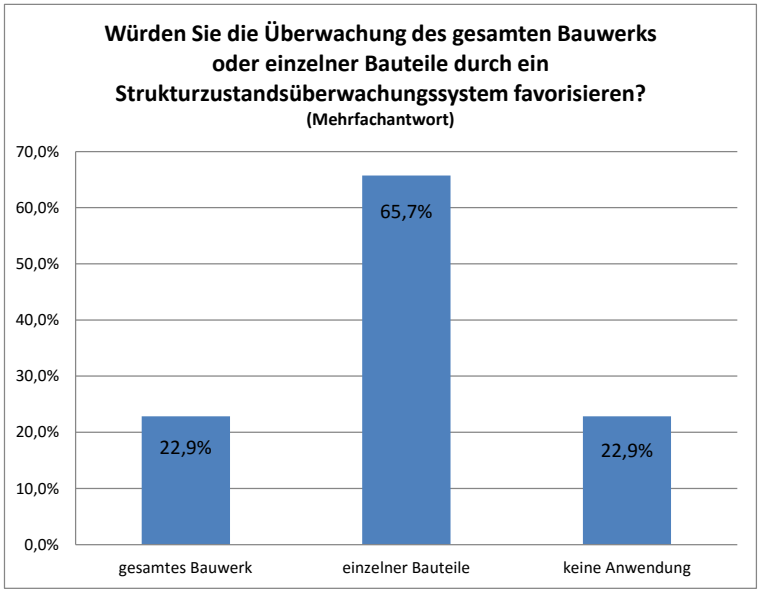


Abbildung 13 Einsatz für Gesamtbauwerk oder Teile

Nutzenbewertung der AURIS-Komponenten

Unterschiede bei der Bewertung der zu erwarteten Nutzen ergaben sich bei Berücksichtigung der Anzahl betreuter Brücken. Die Unterschiede in der Bewertung innerhalb der Gruppen bestehen vor allem bei der Interpretations- und Diagnosesoftware und bei der Software zur Analyse des Bauwerkskollapses.

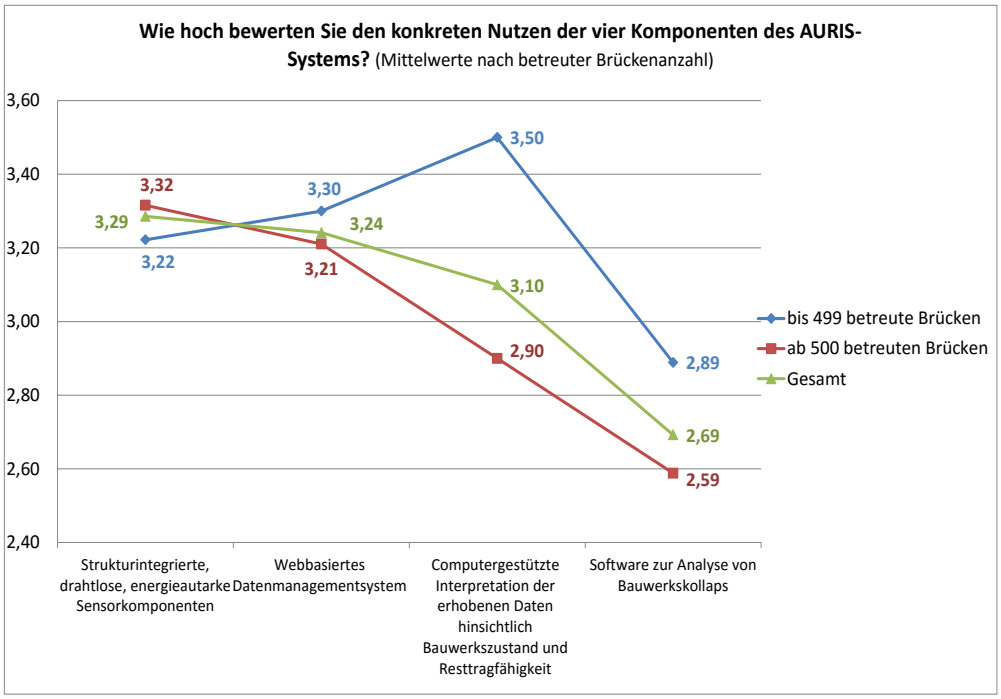


Abbildung 14 Nutzen der Systemkomponenten nach betreuten Brücken

2.3 Faktorenanalyse

Die Faktorenanalyse ist ein Verfahren der multivariaten Statistik. Es handelt sich um ein sog. Struktur-entdeckendes Verfahren mit dem Zusammenhänge aufgedeckt werden können, die mittels uni- und bivariater Statistik nicht ohne weiteres erkennbar sind. Ziel der Faktorenanalyse ist die Reduktion bzw. Verdichtung einer Vielzahl von verschiedenen erhobenen Variablen auf wenige, dahinter liegende Variablen.

Die Untersuchung ergab, dass sich innerhalb der Stichprobe die zahlreichen Eigenschaften des AURIS-Systems in **zwei wesentliche Faktoren** zusammenfassen lassen (vgl. Abb. Faktorenanalyse).

Faktor 1 bündelt alle Variablen, die sich auf die zum Teil bereits existierenden technischen Komponenten und Eigenschaften beziehen wie das Sensorsystem mit seinen Eigenschaften und das webbasierte Datenmanagementsystem. Dem gegenüber lässt sich Faktor 2 als Analyse- und Interpretationsfaktor beschreiben, da in diesem Faktor die Bewertungsvariablen für die automatisierte Interpretationskomponente und die Kollaps-Analyse-Software zusammengefasst werden. Es zeigt sich, dass sich die Komponenten, die das Alleinstellungsmerkmal der AURIS-Entwicklung ausmachen, in einem Faktor gebündelt werden. Diese Erkenntnis korreliert mit den Ergebnissen der qualitativen Interviews, in denen besonders die Eigenschaften in Faktor 2 als Besonderheit und innovative Leistungen des Systems genannt wurden.

Abbildung 15 Ergebnis der Faktoranalyse

Komponenteneigenschaften	**Komponente**	
	1	2
Strukturintegrierte, drahtlose, energieautarke Sensorkomponenten	,589	
Webbasiertes Datenmanagementsystem	,838	
Computergestützte Interpretation der erhobenen Daten hinsichtlich Bauwerkszustand und Resttragfähigkeit		,941
Software zur Analyse von Gebäudekollaps		,797
Multisensorik (Einsatz verschiedener Sensortypen)	,879	
Integration bestehender Sensorik in das AURIS-System	,753	
kabellos	,606	
energieautark	,774	
Strukturintegriert	,668	

2.4 Clusteranalyse

Mit der Durchführung einer Clusteranalyse (multivariates, Strukturen aufdeckendes Verfahren) können Betreiber, die sich in ihrem Antwortverhalten sehr ähneln, in Gruppen zusammenfasst werden, während die Gruppen untereinander möglichst stark divergieren. Innerhalb der Stichprobe zeigt sich, dass es eine größere Gruppe gibt, die sich durchgehend in ihren Antworten sehr positiv gegenüber der Thematik Strukturzustandsüberwachung äußert. Dem gegenüber steht eine deutlich kleinere Gruppe, die dem Thema Strukturzustands-überwachung insgesamt eher skeptisch gegenübersteht – unabhängig vom konkreten Teilaspekt.

2.5 Hypothesen

Im Rahmen der quantitativen Forschung im Bereich Brücken konnten erste Thesen überprüft und quantifiziert werden.

Hypothese 2: *Brückenanlagen* zählen zu den Early-Adoptern.

Die Hypothese konnte anhand der quantitativen Forschung bestätigt werden.

Hypothese 7: Die AURIS-Entwicklung wird als innovativ angesehen. Vergleichbare Produkte sind kaum bekannt.

Im Bereich Brücken sieht die Mehrheit der Befragten die AURIS-Entwicklung als innovativ an. Es bestätigt sich, dass vergleichbare Produkte nicht oder selten bekannt sind.

Hypothese 8: Monitoringsysteme können nicht den Ingenieur vor Ort ersetzen.

Anhand der Ergebnisse zeigt sich, dass der Ingenieur vor Ort nicht in jedem Fall ersetzt werden kann.

Hypothese 9: Strukturüberwachungssysteme werden anlassbezogen eingesetzt und nicht flächendeckend für alle Bauwerke.

Es bestätigt sich im Bereich Brücken, dass für Strukturüberwachungssysteme insbesondere Bedarf für anlassbezogen Einsatz gesehen wird. Dies schließt einen permanenten Einsatz aber nicht automatisch aus.

III. Marktsegment ITK: Rechenzentren und Telekommunikation

1. Allgemein

Die Erkenntnisse wurden im Wege von qualitativen Interviews mit sowohl mit Eigentümern als auch Betreibern von Colocation-Centern, Hochverfügbarkeitsrechenzentren, Netzknoten, Seekabel-Landestellen sowie Telekommunikationsunternehmen erhoben.

In allen drei genannten Kategorien sind in Europa zwar eine hohe Zahl von Standorten betroffen. Die Zahl der Unternehmen bzw. Betreiber ist jedoch in allen drei Bereichen vergleichsweise gering, weshalb eine quantitative Erhebung nicht als zielführend angesehen wurde. Stattdessen wurden vertiefte Information aus den qualitativen Interviews mit Sekundärdaten kombiniert.

Folgende qualitative Interviews wurden geführt:

Abbildung 16 Überblick der durchgeführten Interviews

Qualitative Forschung	
Geführte Interviews	**Institution/ Unternehmen**
	Deutsche Telekom (Telekommunikation)
	Telefonica (Telekommunikation)
	Telehouse (Colocation-Center)

	Globalswitch (Colocation-Center)
	SEA-ME-WE 3 Seekabel-Landestelle

Alle betreffenden Unternehmen sind in zahlreichen europäischen Ländern aktiv. Die beiden Betreiber von Colocation-Centern / Hochverfügbarkeitsrechenzentren sind darüber hinaus beide an den Standorten der drei weltgrößten Internet Exchange Points (Frankfurt, Amsterdam und London) präsent und beherbergen Teile deren Infrastruktur. Darüber hinaus gehören sie zu den Betreibern mit den nach Fläche größten Colocation-Centern Europas.

Zu den Ergebnissen: Im Marktsegment Rechenzentren ist stark zwischen verschiedenen Nutzungsarten der Rechenzentren zu unterscheiden. Unkritische Rechenzentren als Neubau werden überwiegend in sicheren Außenbereichen nach best practice-Sicherheitskriterien erbaut. Hier ist der Einsatz des AURIS-Systems aus wirtschaftlichen Aspekten, z.B. der Optimierung der Flächenlast, denkbar. Betriebssicherheit oder Security sind dabei jedoch nicht die entscheidenden Aspekte.

Anders gestaltet sich der Bedarf bei Hochverfügbarkeitsrechenzentren in Bestandsbauten oder Netzknoten der Telekommunikation. Beide sind an bestehende Leitungsnetze gebunden und in ihrer Positionierung oft nicht frei veränderlich. Diese bestehenden Standorte sind häufig in älteren Bauwerken untergrbracht und befinden sich nicht selten an sicherheitstechnisch nicht idealen Standorten. Gleichwohl kann ein Ausfall zu erheblichen Kaskaden-Effekten führen. Hier sind daher neben rein wirtschaftlichen Aspekten auch Betriebssicherheit und Security-Aspekte relevant.

Die Nachrüstung wird allerdings als nicht unproblematisch eingeschätzt, da sie im Betrieb erfolgen muss und diesen nicht behindern darf. Probleme wurden gesehen aufgrund der empfindlichen Technik und dem möglicherweise anfallenden Schmutzes.

Weiterhin zeigte sich, dass sich unterschiedliche Bedingungen und Anforderungen ergeben, je nachdem ob die betriebenen Gebäude gemietet werden oder im Eigentum stehen. Darüber hinaus variieren zum Teil die Problembereiche zwischen Telekommunikationsbetreiber und reinen Rechenzentrumsbetreibern.

Zu den Anwendungen im Einzelnen:

2. Rechenzentren

Rechenzentren lassen sich in zwei verschieden Kategorien einordnen: Auf der einen Seite die unproblematischen Neubauten, die im Außenbereich nach aktuellsten Sicherheitsaspekten errichtet werden können. Auf der anderen Seite stehen Hochverfügbarkeits-Rechenzentren, die aufgrund ihrer Anforderungen an die Lage von extrem schnellen Datenleitungen oder der an die räumlichen Nähe zu Internet Exchange Points gebunden sind. Für einen Teil der Kunden von Hochverfügbarkeitsrechenzentren sind Datenanbindungen erforderlich, die extrem niedrige Latenzzeiten aufweisen. Dies ist für spezielle Realtime-Anwendungen, im Handel oder aber für Spiegelungen notwendig. Die hohen Anforderungen an die Datenanbindung, besonders wenn zusätzlich Redundanz erforderlich ist, führen zu einer starken Ortsbindung der betreffenden Rechenzentren. Unter diesen Voraussetzungen sind Rechenzentren häufig in dicht besiedelten Stadtgebieten oder aber sicherheitstechnisch problematischen Industriegebieten mit Straßen und Bahnlinien angesiedelt.

Dass dies auch praktisch der Fall ist, zeigte die von uns durchgeführte Untersuchung der Standorte von Rechenzentren, die die Infrastruktur der drei weltweit größten Internet Exchange-

Points beherbergen (DE-CIX / Frankfurt a.M., AMSIX / Amsterdam, LINX / London). Hierbei erwies sich, dass diese nahezu vollständig im innerstädtischen Bereich angesiedelt sind. Bei den Interviews vor Ort zeigte sich ferner, dass diese zwar nach den gängigen Sicherheitsstandards im Zwiebelschalenprinzip[13] aufgebaut sind, jedoch aufgrund der Standortbindung oft in unmittelbarer Nähe zu Bahnlinien und viel befahrenen Straßen liegen.

Die so ermittelten Ergebnisse sind direkt auf Hochverfügbarkeitsrechenzentren übertragbar, da die Infrastruktur von Internet Exchange-Points nicht in eigenen, dedizierten Rechenzentren untergebracht ist, sondern de facto in gängigen Hochverfügbarkeitsrechenzentren an den o.g. Standorten lokalisiert ist. Für diese gelten insgesamt die gleichen Anforderungen.

Der erhöhte Grad der Standortbindung von Hochverfügbarkeitsrechenzentren führt darüber hinaus dazu, dass Anlagen häufig in Bestandsbauten integriert werden müssen. Die Umnutzung vorhandener Altsubstanz wird als tendenziell problematisch und damit relevant für eine AURIS-Anwendung eingestuft. Zu den umgenutzten Gebäuden gehören ehemalige Fabrikanlagen oder Fertigungsgebäude. Diese Gebäude sind nicht alle in massiver Bauweise erstellt, sondern haben teilweise leichtere Struktur und lassen sich insgesamt als nicht so robust klassifizieren. Bauwerke, die Rechenzentren beherbergen, sind mit USV-Anlagen[14] und Kühlanlagen versehen. Die USV-Anlagen, v.a. Schwungspeicher / Fly-Wheels und Dieselgeneratoren sind in der Praxis, ebenso wie die Kühlung oft auf dem Dach installiert und führen neben hohen Dachlasten zu permanenten, erheblichen Vibrationen. Durch die innerstädtische Lage ergeben sich weitere Vibrationsherde beispielsweise durch Hauptverkehrswege. Als Folgen diese Beeinträchtigungen kann es zur Beschleunigung der Alterung oder Ermüdung der Gebäudestruktur kommen. Zur Überwachung und Verfolgung dieser Veränderungen wäre der Einsatz der AURIS-Entwicklung gewünscht. Allgemein lässt sich für alle Teile, die Vibrationen verursachen bzw. im Rahmen dynamischer Veränderungen, eine solche Anwendung denken.

Des Weiteren zeigt sich, dass die Gebäude ein erhöhtes Alter aufweisen und durch die Umnutzung wird vielfach das Ende der geplanten wirtschaftlichen Lebensdauer der Gebäude erreicht oder überschritten. Die Überwachung in Bezug auf Alterung und damit einhergehender Schäden wurde als mögliches Problemfeld benannt. Zusätzlich wäre die Verlängerung der Nutzungsdauer dieser Bauwerke denkbar.

Ein weiteres Problemfeld, das den Einsatz der AURIS-Entwicklung begünstigt, ist in Erhöhung der in das Gebäude einbringbaren Lasten zu sehen, die den Umsatz des Rechenzentrums begrenzen. Bisher werden diese Lasten durch Statiker errechnet und mit Sicherheitsfaktoren beaufschlagt. Würden Erkenntnisse zur tatsächlichen Resttragfähigkeit des Bauwerks vorliegen, könnten diese Puffer verkleinert werden und mehr Last in die Bauwerke eingebracht werden. Hierdurch würde ein erheblicher wirtschaftlicher Nutzen im Normalbetrieb erreicht, der auch höhere Kosten rechtfertigt.

Das Zusammentreffen von Nutzen in Problem- oder Katastrophenfällen mit wirtschaftlichen Nutzen im Normalbetrieb, ist ein starkes Argument für den Einsatz der Strukturmonitoring-Technologie. Überdies trifft die Technik auf ein personelles und fachliches Umfeld, das Monitoring sehr aufgeschlossen gegenübersteht. Entsprechend aufgeschlossene und interessierte Meinungen wurden auch in den einschlägigen Interviews festgestellt. Zusammenfassend kann daher in diesem Bereich von Marktfähigkeit ausgegangen werden. Als einschränkende Bedingungen sind anzufügen, dass es sich um Rechenzentren in

[13] Gebäude wird in mehrere Sicherheitsbereiche (wie Schichten einer Zwiebel) eingeteilt. Der innerste Bereich ist dabei der wichtigste, mit den am stärksten schützenswerten Daten. Nach Außen wird diese Relevanz geringer.
[14] unterbrechungsfreie Stromversorgung

Bestandsgebäuden in innerstädtischen Lagen handelt. Dies bedingt auch die Möglichkeit der effizienten Nachrüstung des Systems.

Zum Umfang des Marktes: Das Europäische Untersuchungsgebiet dieser Studie beherbergt ca. 33% der weltweiten Rechenzentrums-Kapazität[15]. Die wichtigsten Länder sind hierbei Großbritannien, Deutschland, Frankreich, die Niederlande, Spanien und Italien. Aber auch die skandinavischen Länder und Irland verzeichnen in den letzten Jahren einen starken Zuwachs[16], speziell an Großrechenzentren. Auf Großrechenzentren mit mehr als 25.000 m^2 Fläche und entsprechenden kritischen Gegebenheiten entfallen zwischen 3% und 5% der Rechenzentrumsfläche in Europa. Konkret kommen als Markt damit mehrere hunderttausend Quadratmeter Rechenzentrumsfläche[17], möglicher Weise bereits über eine Million Quadratmeter Fläche, wenn das erhebliche Wachstum in Betracht gezogen wird.

3. Telekommunikation: Netzknoten und Seekabel-Landestellen

Netzknoten von Telekommunikationsbetreibern zeigen eine den Hochverfügbarkeits-rechenzentren vergleichbare Problemlage, die auch hier durch die Standortbindung hervorgerufen wird. Lediglich die Ursache der Standortbindung ist in diesem Fall anders begründet und v.a. in der baulichen und geschichtlichen Entwicklung der Telekommunikationsnetze zu sehen. Vor allem die früheren Monopolisten verfügen über eine hohe Anzahl an in ihrem Eigentum stehender Immobilien, die inzwischen ein hohes Alter aufweisen und in innerstädtischen Gebieten liegen. Durch die vorgegebenen, historisch gewachsenen Netzstrukturen können diese sicherheitstechnisch problematischen Standorte jedoch nicht verlassen werden.

In den Interviews mit den Telekommunikationsanbietern konnte grundsätzlich ein Bedarf bestätigt werden. Aufgrund der Tatsache, dass Monitoring in großem oder nahezu vollständigem Umfang bei diesen Betreibern bereits heute Standard ist, besteht eine hohe Bereitschaft, langfristig Daten zu erheben und zu analysieren.

Sowohl vor dem Hintergrund der Betriebssicherheit, als auch aus wirtschaftlichen Aspekten, wie der Optimierung von Lastgrenzen, besteht durchaus Interesse, Strukturmonitoring zu betreiben.

Einschränkend ist jedoch hinzuzufügen, dass dies auf die Netzknoten mit den o.g. Bedingungen zutrifft. Es gibt auch Betreiber, die nur gemietete Immobilien verwenden und mittelfristig auch bereit und in der Lage sind, Standortwechsel durchzuführen. Hierbei handelt es sich v.a. um – im Vergleich zu den früheren Monopolisten – neuere Anbieter, die z.T. auch insgesamt weniger Infrastruktur betreiben.

Basierend auf diesen Einschränkungen gehen wir von Marktfähigkeit aus. Als Potenzial kommen in Europa ca. 100 Standorte in Betracht, wenn hierbei nur die besonders kritischen einbezogen werden[18].

Für Seekabel-Landestellen hat sich im Rahmen unserer Untersuchungen dagegen gezeigt, dass die Problembereiche stärker im Securitybereich gesehen werden und weniger im Safetybereich. Dies ist mutmaßlich den weniger exponierten Standorten geschuldet. Da es sich um High-Risk-

[15] Global Data Center Space Study 2013, DCD Intelligence

[16] Rechenzentren in Deutschland 2014, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit / BITKOM

[17] Eigene Berechnungen auf Basis von Werten des Jahres 2013

[18] Prognose auf Basis eigener Berechnungen und Werten des Jahres 2012

Bereiche handelt, werden beispielsweise Sicherheitsthemen wie Zutrittsbeschränkungen etc. als relevanter eingeschätzt als eine Überwachung der Bauwerksstruktur. Für diesen Bereich konnte damit keine Marktfähigkeit festgestellt werden.

IV. Marktsegment Bürogebäude in PPP-Konzeption

Bereits in den ersten Interviews zeichnete sich ab, das seitens potenzieller Verwender im Bereich von konventioneller Bürogebäude kein Nutzen in dem System gesehen wird und folglich keine Marktfähigkeit zu erwarten ist. Es gab jedoch, sowohl in den u.g. Interviews als auch in Expertengesprächen für andere Marktsegmente, Hinweise darauf, dass Strukturmonitoring im Rahmen von PPP-Projekten relevant sein könnte. Die Untersuchung des Marktsegements Büro-Gebäude wurde daher auf den Spezialfall von PPP-Projekten ausgerichtet.

Die nachfolgenden Ergebnisse basieren auf den folgenden qualitativen Interviews:

Abbildung 17 Überblick durchgeführte Forschung PPP-Projekte

Geführte Interviews	**Institution/ Unternehmen**
	STRABAG Property and Facility Services
	Institut für Technologie und Management im Baubetrieb des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)
	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
	Bundesanstalt für Immobilienaufgaben
	BAM - Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
	Stadt Marktheidenfeld
	Rijksvastgoedbedrijf (Zentrale Regierungs-Immobilienverwaltung, Innenministerium Niederlande)

Ähnlich wie im Bereich der Netzknoten sind auch hier die entscheidungsrelevanten Zielgruppen und damit die möglichen Stichproben für eine Erhebung eher klein. Regierungsgebäude im Rahmen von PPP-Projekten kommen insbesondere in UK, den Niederlanden, Deutschland und Griechenland vor. In UK waren trotz zahlreicher Versuche keine Interviews möglich. Von Interviews in Griechenland wurde in dieser Untersuchung aufgrund der Überlagerung mit anderen wirtschaftlichen Entwicklungen - und damit der möglichen Verfälschung von Ergebnissen - von Interviews abgesehen. In den verbleibenden Ländern Deutschland und den Niederlanden wurden jeweils wichtige Akteure auf nationaler Ebene sowie in Deutschland auch auf regionaler Ebene und weitere Experten interviewt.

Zu den Ergebnissen: Im Rahmen der Untersuchung hat sich gezeigt, dass Anwendungsbereiche für die AURIS-Entwicklung im Bereich von gewöhnlichen Bürogebäuden nicht gesehen werden. Dies beruht auf der Annahme der meisten Befragten, dass bei diesen Bauten keine strukturellen Veränderungen stattfinden bzw. zu erwarten seien.

Unter Berücksichtigung von PPP-Projekten als Sonderfall von Bürogebäuden zeigte sich jedoch bei einem Teil der Befragten ein mögliches Anwendungsgebiet. Hierfür wurden eine Reihe von potenziellen Anwendungsfällen skizziert. Es wurde thematisiert, dass es bei PPP-Projekten vorteilhaft sei, stets über Informationen zum Zustand des Bauwerks zu verfügen. Der Auftraggeber solle in Bezug auf den Kenntnisstand „auf gleicher Augenhöhe mit dem PPP-Auftragnehmer" stehen und die Situation zu jedem Zeitpunkt richtig einschätzen können.

Im Rahmen einer ordnungsgemäßen Instandhaltung können sonst möglicherweise unentdeckte Mängel oder Schäden aufgedeckt werden und innerhalb der Vertragslaufzeit behoben werden. Ein weiteres Einsatzfeld stellt das Ende der Projektlaufzeit dar, bei dem die Gebäude vom Auftragnehmer an den Auftraggeber übergeben werden. Informationen über den tatsächlichen Zustand des Bauwerkes könnten die Übergabe erleichtern und die vereinbarte Erfüllung der Vertragsbedingungen bestätigen. Diskrepanzen zwischen den Vertragspartnern können so verhindert werden.

Ein weiterer Anwendungsfall, der dargestellt wurde, bestehe, wenn der PPP Auftragnehmer insolvent falle und umfangreiche Informationen notwendig seien, um den Auftrag neu zu vergeben.

Die AURIS-Entwicklung ist grundsätzlich für alle PPP-Modelle geeignet, entwickelt den höchsten Nutzen im Bereich von Inhabermodellen.

Zu beachten ist jedoch, dass auch bei der Variante von Bürogebäuden im Rahmen von PPP-Projekten die Meinungen bezüglich des Nutzens auseinander gehen. Während ein Teil der Befragten die o.g. Nutzen sah, wurde ein Bedarf beim größeren Teil der Befragten nicht gesehen.

Die Verwendung eines sensorbasierten Monitoringsystems zur Strukturüberwachung kommt demnach beim größten Teil der Befragten nur in Betracht, wenn konkrete Gründe für eine Schädigung der Struktur, beispielsweise Risse, vorliegen. Eine Verdachts-unabhängige, auf den gesamten Lifecycle ausgelegte Anwendung wird von dieser insgesamt größeren Gruppe der Befragten nicht für sinnvoll gehalten. Vielmehr wird bei der Planung – wie praktisch immer im Bereich von Bürogebäuden – mit höheren Sicherheitsaufschlägen gearbeitet, um strukturelle Veränderungen und Beeinträchtigungen von vorn herein zu verhindern. Auch im Rahmen von Sicherheitsüberlegungen in Bezug auf terroristische Anschlägen zeigt sich, dass Maßnahmen ergriffen werden, die einen Anschlag von Anfang an verhindern sollen. Die Notwendigkeit einer Überprüfung einer beschädigten Struktur solle somit gar nicht erst entstehen.

Zusammenfassend konnten zwar Indizien dafür gefunden werden, dass es unter bestimmten Bedingungen in einem Teilbereich des Marktsegments Bedarf geben könnte. Insgesamt ist aber auf Seite der Nachfrager keine durchgängige, präzise und überzeugende Value Proposition zu erkennen oder aber diese verbleibt eher vage. Hinzu kommt eine vergleichsweise kleine Zielgruppe. Potenzielle Nachfrage in Anbetracht dieser Umstände nicht mit hinreichender Zuverlässigkeit ermittelt und auch nicht quantifiziert werden. Insofern kann die Marktfähigkeit in diesem Segment weder eindeutig bestätigt noch klar abgelehnt werden.

V. Marktsegment Konventionelle Kraftwerke

Im Rahmen der Untersuchung zeigt sich, dass mögliche Anwendungen des AURIS-Systems bei konventionellen Kraftwerken, insbesondere bei Kühltürmen, gesehen werden.
Folgende Interviews wurden hierzu geführt:

Abbildung 18 Überblick durchgeführte Forschung Konventionelle Kraftwerke

Geführte Interviews	**Institution/ Unternehmen**
	EnBW Kraftwerke (Engineering Bautechnik)
	RWE Technology GmbH (Civil-Engineering / TTE-C)
	Rugeley Power Limited (Engineering Department) (Großbritannien)

Zu den Ergebnissen: Es wurde von den meisten Befragten ein Nutzen im Bereich von Kühltürmen für prinzipiell möglich gehalten. Dieser sei jedoch nicht isoliert zu betrachten sondern sei auch hinsichtlich der Kosten sowie der Ergebnisse einer Kosten-Nutzen-Analyse zu bewerten. Gerade letztere lasse nach Angabe der Befragten eher ein negatives Ergebnis erwarten, nicht unbedingt wegen des Verhältnisses der Kosten zu den Nutzen, sondern vielmehr wegen des zeitlichen Ablaufs. So müssen Investitionen zu Beginn des Lifecycles durchgeführt werden während Nutzen regelmäßig erst am Ende zu erwarten seien. Das zeitliche Auseinanderfallen führt bei der Berechnung häufig zu einer negativen Gesamtbilanz.

Aus diesem Grund sahen auch diejenigen, die einen Nutzen erkannten, den potenziellen Einsatz eher skeptisch.

Zumindest für das Szenario der Verlängerung einer Nutzungsdauer eines Kühlturms konnten wir diese Befürchtung tatsächlich nicht bestätigen[19]. Allerdings handelt es sich hierbei auch nur um eines von zahlreichen denkbaren Szenarien.

Die Aussage der Testpersonen könnte aber auch so zu interpretieren sein, dass Investitionen, die erst vergleichsweise langfristig zu Ersparnissen führen, weniger präferiert sind – unabhängig davon ob es zu einem Nutzen kommt oder wie hoch dieser ist. Diese Situation ist aus anderen Marktsegmenten, die unter einem hohen Kostendruck stehen, bekannt.

Gleichwohl sind die tendenziell skeptischen Aussagen der Test-Personen zu Kenntnis zu nehmen. Dies spricht dafür, dass zwar grundsätzlich Bedarf vorhanden ist, dieser jedoch erheblichen Barrieren unterliegt und es sich voraussichtlich um ein schwieriges Geschäftsfeld handelt. Demnach liegt zwar Marktfähigkeit vor, es ist aber nicht von Early-Adoptern auszugehen.

Grundsätzlich wird der Schwerpunkt möglicher Anwendungen im Bereich Nachrüstung des AURIS-Systems liegen. Beispielsweise zur besseren Kontrolle, wenn sich beispielsweise Kühltürme dem Ende ihrer wirtschaftlichen Nutzungsdauer näheren und verstärkt mit Problemen aufgrund der Alterung oder defekter Innenbeschichtung zu rechnen ist. In dieser Fallkonstellation ist die Verlängerung der Nutzungsdauer ein Ansatzpunkt für die Verwendung.

Die gegenwärtige Überwachungspraxis von Kühltürmen besteht in der regelmäßigen Vermessung, um Verformungen aufzudecken. Zusätzlich werden Überprüfungen weiterer

[19] Vgl. Kosten-Nutzen-Analyse Verlängerung der Nutzungsdauer eines Kühlturms

Veränderungen an den Bauwerken durchgeführt. Werden Veränderungen oder Beschädigungen entdeckt, werden diese von Fachleuten auf ihre Auswirkung in Bezug auf Stabilität und verbleibende Nutzungsdauer berechnet und bewertet.

Zur Potenzialanalyse wurden 686 konventionelle Kraftwerke in Europa untersucht. Hiervon wurden 156 relevante Kraftwerke mit 429 Kühltürmen und 225 relevanten Schornsteinen als potenziell geeignet ermittelt[20]. Die Kraftwerke werden von 65 verschiedenen Unternehmen betrieben.

VI. Marktsegment Offshore Windkraftanlagen

Die exponierte Lage sowie die Investitionen in diesem Bereich legen zunächst die Vermutung nahe, dass Strukturmonitoring von Bedeutung sein könnte.

Als Marktpotenzial kommen Betreiber und Eigentümer von neu zu errichtenden Windparks in Betracht. Mit Hilfe von Sekundärdaten konnten europaweit 59 Windparks[21] ermittelt werden, für deren Bau die Zustimmung erteilt wurde. Insgesamt wurden 34 relevante Unternehmen recherchiert, die an diesen Windparks beteiligt sind.

Zur Ermittlung der Marktfähigkeit waren daher qualitative und quantitative Interviews vorgesehen. Tatsächlich erwies sich das Erheben verlässlicher und aussagekräftiger Informationen v.a. im quantitativen Bereich als äußerst schwierig. Trotz mehrerer Kontaktaufnahmen zu jedem der Betreiber der geplanten Offshore-Windparks und verschiedener Herangehensweisen an die potentiellen Befragten konnten insgesamt drei Interviews erreicht werden:

Abbildung 19 Überblick durchgeführte Forschung Offshore WEA

Qualitative Forschung		
Geführte Interviews	**Land**	**Institution/ Unternehmen**
1 Interview	Deutschland	EnBW Erneuerbare Energien
Quantitative Forschung		
2 Interviews		Repräsentieren ca. 3,5% geplanten Windenergieanlagen (die zahlenmäßig erfasst werden konnten) Befragte Institutionen betreuen 720 geplante Windenergieanlagen

Die Interviews erlauben einen Einblick in die grundsätzliche Eignung, ermöglichen aufgrund der Anzahl aber nicht die Bestimmung eines mengenmäßigen Marktpotenzials.

[20] Eigene Untersuchungen aus Basis von Daten aus dem Jahr 2013

[21] Windparks mit Testturbinen nicht enthalten

Zu den Ergebnissen: Es zeigt sich, dass Condition Monitoring bei Offshore-Windenergieanlagen (WEA) im Bereich Gondel und Turm in der Praxis bereits weit verbreitet ist und zum Teil zum Leistungsangebot von Turbinenherstellen gehört. Die gesammelten Daten zeigen daneben, dass relevante Anwendungen außer für den Turm auch für die Fundamente über den Life-Cycle angegeben wurden. Der Vorteil wird vor allem im Betrieb gesehen.

Im Rahmen der Analysen zeigte sich weiterhin, dass eine Anwendung an den Fundamenten von WEA insbesondere im Bereich Repowering möglich ist. Beim Repowering werden bereits bestehende Anlagen übernommen und auf die bestehenden Fundamente oder Türme werden Anlagen neuerer Generationen installiert. Der erwartete Nutzen würde spätestens nach 20-25 Jahren anfallen. Als zukünftiger Trend zeigt sich, dass Repowering im Offshore-Bereich an Bedeutung gewinnen wird.

Bei der Wartung der Fundamente könnten sich gegebenenfalls weitere Nutzen ergeben, dies konnte jedoch nicht weiter spezifiziert werden. Die gegenwärtige Praxis für die Überprüfung der Fundamente erfolgt mit Sichtprüfung von Tauchern und Unterwassertauchgeräten.

Der Einsatz von Teilen des AURIS-Systems ist gut vorstellbar, von Interesse wären insbesondere die Interpretationssoftware und die Kollaps-Analysesoftware. Es besteht ganz allgemein ein Interesse an der automatisierten Auswertung von Daten der Fundamentüberwachung. Die Strukturzustandsüberwachung ist an den einzelnen Bereichen einer Windenergieanlage denkbar und macht deutlich, dass nicht zwingend ein einheitliches Gesamtsystem notwendig ist.

Daneben könnte der Einsatz von Monitoringsystemen für Versicherungen von besonderem Interesse sein. Da Anlagen gegen Betriebsausfall versichert sind und die Versicherung bei Stillstand Leistungen erbringen muss. Die Versicherung könnte ein Interesse daran haben, die Ausfallgefahr durch vorherige Überwachung zu minimieren[22].

Grundsätzlich erscheint ein Einsatz zum Zweck der Zustandsüberwachung der Fundamente damit für sinnvoll und geeignet. Die Investitionsbereitschaft der Test-Personen lässt den Einsatz in diesem Marktsegment gleichwohl derzeit nicht als erfolgversprechend erscheinen. Wir gehen aktuell nicht von einer Marktfähigkeit der Technologie in diesem Segment aus, halten mittelfristig aber eine Änderung der Einstellung für möglich.

[22] 15% Schadenseintritt bei Fundamenten, 2. höchster Wert nach Kabeln, vgl. Böttcher, S. 466

D. Wettbewerbsanalyse

I. Allgemein

Während die Marktanalyse im vorangegangenen Abschnitt den Bedarf auf Nachfragerseite untersucht, liegt im Fokus der Wettbewerbsanalyse die Anbieterseite. Diese konkurriert um die Befriedigung von Bedarf und ggf. auch um die Kaufkraft der Nachfrager. Wettbewerber sind charakterisiert als Unternehmen, die Produkte bereitstellen, die den gleichen Zweck erfüllen, d.h. den gleichen Bedarf befriedigen. Wichtig hierbei ist darauf hinzuweisen, dass auch ganz unterschiedliche technische Lösungen und Konzepte im Wettbewerb miteinander stehen können, solange sie beim Anwender denselben Zweck erfüllen.

Bei der Wettbewerbsanalyse muss berücksichtigt werden, dass die AURIS-Entwicklungen aus einzelnen Produkt-Komponenten bestehen: die Sensoren, das Sensor-Netzwerk, das Datenmanagement-System, die Interpretationskomponente sowie die Software für die Gebäudekollaps-Analyse.

(1) Sensoren:

Die Sensoren selbst sind am Markt verfügbare Komponenten. Einzigartig werden sie zum einen durch zusätzliche Eigenschaften, wie energieautarke Arbeitsweise, drahtlose Kommunikation und insbesondere die Strukturintegration. Es wird davon ausgegangen, dass dies grundsätzlich auch von anderen Anbietern realisiert werden kann, jedoch nicht von einer großen Zahl.

(2) Netzwerk:

Das Netzwerk an sich entspricht den gängigen Systemen und kann durch jedes IT-Unternehmen erstellt werden.

(3) Datenmanagement-System:

Aufgabe des Datenmanagement-Systems ist die Speicherung und Bereitstellung der erhobenen Daten. Die Speicherung ist grundsätzlich zwar aufwendig, für sich genommen aber auch durch andere Anbieter lösbar. Sie steht jedoch in engem Zusammenhang mit der nachfolgenden Teilkomponente.

(4) Interpretationskomponente:

Aufgabe des Systembestandteils ist die Verarbeitung und Bewertung der erhobenen Informationen, um Aussagen über die Tragfähigkeit treffen zu können.

Dieser Produktteil ist aus Sicht der Marktteilnehmer das wichtigste Element und mit dem größten Mehrwert verbunden. Gleichzeitig ist die Nachahmung vergleichsweise schwierig und aufwendig.

II. Potentielle Wettbewerber mit vergleichbaren oder ähnlichen Produkten

Das AURIS-System wird als Gesamtsystem mit Sensorik und dazugehörigem Datenmanagementsystem und Interpretationskomponente entwickelt sowie mit der Möglichkeit, bestehende Sensorik zu integrieren. Im Rahmen der Sekundäranalyse wurden Unternehmen

recherchiert, die ebenfalls ein solches Gesamtsystem für die Strukturüberwachung von Hochbauten anbieten.

Es konnten tatsächlich Unternehmen im nordamerikanischen und europäischen Raum ermittelt werden, die ein zumindest ähnliches System anbieten können. Ein System mit identischem Funktionsumfang konnte jedoch nicht identifiziert werden. Dies ist insbesondere auf die Interpretationskomponente zurückzuführen, die sich auch im Rahmen der Marktanalyse als die Komponente erwiesen hat, die als Alleinstellungsmerkmal gesehen wird.

Um mit den AURIS-Entwicklungen vergleichbare Systeme zu ermitteln, wurden die Systeme anderer Unternehmen in die einzelnen Produktkomponenten und Eigenschaften aufgegliedert, um einen direkten Vergleich durchführen zu können. Es wurde eine Unterteilung in Sensornetzwerk und Datenmanagement vorgenommen. Die Eigenschaften des Sensornetzwerkes nach Sensortypen und den Eigenschaften des Systems, wie kabellos, energieautark und strukturintegriert wurden ermittelt. Die relevanten Faktoren für die Erfassung des Datenmanagementsystems sind die webbasierte Auslegung, automatisierte Datenerfassung und die automatisierte Datenverarbeitung sowie eine Interpretations- und Bewertungskomponente. Außerdem wurde versucht die Analyseinhalte der einzelnen Systeme zu ermitteln.

Abbildung 20 Zusammenfassung der relevanten Vergleichsfaktoren

Anbieter		AURIS
Gesamt		sensorisches Echtzeit-Strukturüberwachungsystem (SHM-System)
Sensoren	Mechanische Parameter	Dehnung Schwingung Beschleunigung
	Physikalische Parameter	Temperatur akustische, faseroptische & Korrosionssensoren
Sensor-eigenschaften	kabellos	+
	energieautark	+
	strukturintegriert	+
Datenmanagementsystem		automatisierte Datenerhebung, Speicherung, Aufbereitung und Auswertung, Bewertung
Webbasiert		+
Automatisierte Datenerfassung		+
Automatisierte Bewertung		+
In Echtzeit		+
Analyseinhalte		Resttragfähigkeit
Bauwerkskollapsanalyse		+

(Quelle: Eigene Darstellung)

Insgesamt ist festzustellen, dass kein exakt identisches System auf dem europäischen und nordamerikanischen Markt existiert. Bezüglich der verschiedenen Komponenten und Eigenschaften der verglichenen Monitoringlösungen sind Abweichungen erkennbar. Eine vergleichbare Software für die Bauwerkskollapsanalyse konnte nicht ermittelt werden. Die Sensorikeigenschaft „kabellos" konnte bei der Mehrzahl der Systeme gefunden werden. Die strukturintegrierte Einbettung der Sensoren wird zu gegenwärtigen Zeitpunkt dagegen kaum bzw. überhaupt nicht praktiziert. Die Systemeigenschaft „webbasiert" konnte als gängige Praxis identifiziert werden.

Der größte Unterschied zwischen dem AURIS-System und den verglichenen Monitoringlösungen besteht in der automatisierte Bewertungskomponente. Keines der untersuchten Monitoringsystem weist eine vergleichbare oder ähnliche Komponente in seinem System auf. Die Bewertung der Tragfähigkeit muss bei allen verglichenen Systemlösungen ex post durch einen Menschen durchgeführt werden. Die Möglichkeit automatisierter Interpretation während des laufenden Betriebs stellt eine ein Alleinstellungsmerkmal (USP- unique selling proposition) des AURIS-Systems dar. Das USP ist ein Leistungsmerkmal, durch dass sich eine Technologie oder ein Produkt erheblich von anderen Varianten unterscheidet.

Die Systemlösungen von Smartmote[23] zeigt mit den AURIS-Entwicklungen am stärksten Übereinstimmungen. Zur Produktpalette gehört ein zerstörungsfreies „Struktural Health Monitoring System" (SHM) mit Sensorik. Die Sensorik ist kabellos und batteriebetrieben, aber nicht strukturintegriert. Das Monitoringsystem verfügt nach eigenen Angaben über eine automatisierte Datenerfassung, Speicherung und erweiterte Datenanalyse. Zum Produktumfang zählen daneben auch Schallemmissionsmessungen.

Das Unternehmen Digitexx[24] bietet ebenfalls ein System an, dass mit den AURIS-Entwicklungen starke Übereinstimmungen zeigt. Zur Produktpalette gehört eine Echtzeit-Gebäudeüberwachung mit Sensorik und Datenerfassungssystem. Die Sensorik ist kabellos, aber nicht strukturintegriert. Das Monitoringsystem verfügt über eine automatisierte Datenerfassung und eine Strukturanalyse mit manueller und ereignisgesteuerter Auslösung. Das Unternehmen schätzt die eigene Leistungsfähigkeit wie folgt ein: "The Digitexx solution provides accurate, low-cost real time structural health information. This allows a structural engineer to have instantaneous interpretations of the data, which in turn allows the engineer to make confident, efficient decisions in a more time and cost effective manner."
In der Abbildung werden die Systeme mit den stärksten Übereinstimmungen zusammengefasst.

Abbildung 21 Zusammenfassung der System mit stärksten Übereinstimmungen

	Art und Umfang des Angebots			
Unternehmen	**Insgesamt**	**Sensorik**	**Datenmanagementsystem**	**Kollaps-Analyse-Software**
Smartmote	• zerstörungsfreies Struktural Health Monitoring (SHM)-System mit Sensorik	• Dehnung, Spannung, Temperatur, Feuchte	• automatisierte Datenerfassung, Speicherung und erweiterte Datenanalyse	-

[23] http://www.smartmote.de/
[24] http://www.digitexx.com

Digitexx	• Echtzeit-Gebäudeüberwachung • Datenerfassungssystem&Sensoren	• Beschleunigung, Belastung, Druck, Temperatur, etc	• automatisierte Datenerfassung und Strukturanalyse mit manueller und ereignisgesteuerter Auslösung	-

(-) gibt Unterschied zu AURIS-Entwicklungen wieder
(Quelle: Eigene Darstellung)

Darüber hinaus wurde eine erhebliche Zahl von weiteren Anbietern identifiziert, deren Angebot jedoch aktuell noch weiter vom Leistungsspektrum des AURIS-Systems entfernt ist. Diese werden im nachfolgenden Abschnitt beschrieben.

III. Indirekter Wettbewerb / Unternehmen mit möglichem späteren Markteintritt

Insgesamt hat sich bei den Recherchen gezeigt, dass die Datenerfassung über Sensorik und die Verarbeitung in einem Managementsystem in Form von Bereitstellung der erhobenen Daten bereits angeboten wird. Durch den Einsatz von Sensoren können mehr Daten erfasst werden, als dies bei einer ausschließlich visuellen Inspektion möglich wäre. Zum Teil ist die Integration von Schwellen- und Alarmwerten möglich, jedoch fehlt es im Vergleich zu AURIS an der tiefergehenden Interpretation der Messwerte. Die Schwellenwerte beziehen sich bei den betrachteten Systemen eher auf übermäßige Lasten, die auf das Bauwerk einwirken und sollen somit die frühzeitige Erkennung von Schäden ermöglichen. Dies entspricht dem derzeitigen Stand der Technik im Bereich Structural Health Monitoring.

Wie bereits beschrieben ist die Nachahmung des Interpretationssystems denkbar. Für die richtige Bewertung und Auswahl der relevanten Daten sind jedoch ein erhebliches Knowhow bezüglich der Baustrukturen und umfangreiche Erfahrungen von Nöten. Die zu entwickelnden Berechnungsmodelle sind sehr umfangreich und kompliziert. Die Nachahmung wird sich aufgrund dessen voraussichtlich als schwierig erweisen.

Eine Wettbewerbssituation für die AURIS-Entwicklungen könnte sich dennoch ergeben, wenn eine automatisierte Bewertung der Tragstruktur nachfragebedingt nicht gegeben ist. Eine Substitution könnte sich ergeben, wenn die Kombination sensorische Datenerfassung und automatisiertes Datenmanagementsystem in Verbindung mit Schwellenwerten kundenseitig als ausreichend bewertet wird.

Tatsächlich hat sich dies im Rahmen der Marktanalyse nicht bestätigt. Vielmehr wurde die Interpretation gerade als der größte Mehrwert gesehen. Reine Schwellenwerte wurden, z.B. durch häufige Fehlalarme, eher kritisch gesehen. Es ist aber denkbar, dass sich Anwendungsfälle abgrenzen lassen, in denen aufgrund des Aufwands oder der Kosten auch Systeme ohne tiefergehende Interpretation als ausreichend gesehen werden.

Alle ermittelten Systeme, die eine sensorische Datenerfassung ermöglichen und diese in einem Datenmanagementsystem verarbeiten, sind mit ihrem Angebotsumfang im Anhang in Anlage 1 dargestellt.

IV. Monitoringlösungen mit Spezialisierung auf Brückenbauwerke

Die AURIS-Entwicklungen sind für ein breites Anwendungsgebiet im Bereich Hochbau ausgelegt. In Bezug auf einzelne Bauwerkstypen könnten sich weitere Wettbewerbssituationen mit Unternehmen, die spezialisierte Monitoringlösungen für bestimmte Bauwerke anbieten, ergeben.

Im Rahmen der allgemeinen Recherche hat sich gezeigt, dass auch Monitoringlösungen explizit für Brückenbauwerke existieren.

Bei diesen Monitoringlösungen zeigt sich eine ähnliche Situation, wie bei den zuvor betrachteten Systemen. Es wird eine sensorische Datenerfassung durchgeführt und diese Daten werden in einem nächsten Schritt innerhalb eines Managementsystems gespeichert und verwaltet. Eine kontinuierliche und automatisierte Bewertung der Daten findet nicht statt.

Das USP der automatisierten Bewertungskomponente dürfte auch in diesem Bereich zu einem erheblichen Wettbewerbsvorteil auf Seiten der AURIS-Entwicklungen führen.

Das BRIMOS (Bridge Monitoring System)[25] zeigt die stärksten Übereinstimmungen mit dem AURIS-System. Im Bereich In - DepthStructuralHealth Monitoring arbeitet dieses System mit einem FE-Modell. Ziel ist die Beobachtung und Auswertung des baulichen Zustands und die Entdeckung von Schäden innerhalb der Infrastruktur. Dabei handelt es sich aber um eine einmalige Bewertung, bei der einmalig alle Daten ermittelt und verarbeitet werden. Eine kontinuierliche Bewertung in Bezug auf die Tragfähigkeit der Strukturen wird nicht durchgeführt.

Eine Übersicht und Zusammenfassung aller ermittelten Monitoringlösungen speziell für Brücken ist im Anhang in Anlage 2 dargestellt.

[25] www.brimos.com

E. Kosten-Nutzen-Analyse

Bei der Kosten-Nutzen-Analyse handelt es sich um ein wirtschaftliches Bewertungsinstrument für Investitionsmaßnahmen. Durch die KNA soll die Effizienz der Anwendung des AURIS-Systems sowohl in betriebswirtschaftlicher, als auch in volkswirtschaftlicher Hinsicht ermittelt werden. Untersuchungen werden für alle ermittelten Marktsegmente durchgeführt, jedoch nicht für individuelle Bauwerke, sondern jeweils für ein Best- und einen Worst-Case Szenario. Im Best Case-Szenario werden alle Faktoren in der Ausprägung berücksichtigt, die voraussichtlich ein positives Ergebnis der KNA begünstigen, während im Worst Case-Szenario die Ausprägungen berücksichtigt sind, die ein ungünstiges Ergebnis erwarten lassen. Hierbei sind die Konstellationen nicht rein hypothetisch, sondern realitätsnah ausgestaltet.

Insgesamt wird durch die Definition von Best und Worst Case eine Bandbreite von möglichen Szenarien abgebildet, die die Einordnung von individuellen Bauwerken in das Spektrum ermöglicht.

Sowohl die konkreten Nutzungsszenarien, als auch die Best- und Worst Case-Szenarien sind aus den Ergebnissen der qualitativen Forschung abgeleitet worden.

I. Verkehrsinfrastruktur: Brücken

1. Szenario

Ähnlich wie bei der Marktanalyse der Kundennutzen eine wesentliche Rolle spielt, ist auch bei der KNA die Art der Nutzung von entscheidender Bedeutung. Hieraus entscheidet sich, was letztlich ein zu erwartender Nutzen ist, mit welcher Wahrscheinlichkeit dieser eintrifft und wie er monetär zu bewerten ist.

Im Rahmen der Analyse von Brücken wurde als Nutzungsszenario angenommen, dass mittels des AURIS-Systems eine Verlängerung der geplanten Nutzungsdauer möglich ist, da hierdurch jederzeit der Zustand des Bauwerks genau zu ermitteln ist und eine Weiternutzung – sofern keine oder zumindest keine wesentlichen Probleme bestehen – unproblematisch möglich ist. Des Weiteren erlaubt das System Reparatur und am Ende ggf. Ersatzentscheidungen zu priorisieren und so einerseits ggf. zu längeren Nutzungsdauern zu gelangen sowie andererseits begrenzte Mittel möglichst effektiv zu allozieren.

Untersucht wurde dies einerseits für den Neubau einer Brücke sowie andererseits für die Nachrüstung eines bestehenden Bauwerks.

Im Einzelnen sind die beiden Szenarien wie folgt definiert:

- **Neubau**: verglichen wird der Neubau einer Brücke ohne AURIS (Referenzfall) mit dem Neubau einer Brücke mit AURIS (mit AURIS) über den gesamten Lebenszyklus
- **Nachrüstung Variante 1** – verglichen wird der Einbau des AURIS-Systems bei einem 40 Jahre alten Brückenbauwerk (mit AURIS) mit einem 40 Jahre alten Brückenbauwerk ohne AURIS (Referenzfall) – in beiden Fällen verbleibende Nutzungsdauer 30 Jahre und **5 Jahre Verlängerung**
- **Nachrüstung Variante 2** – verglichen wird der Einbau des AURIS-Systems bei einem 40 Jahre alten Brückenbauwerk (mit AURIS) mit einem 40 Jahre alten Brückenbauwerk ohne AURIS (Referenzfall) – in beiden Fällen verbleibende Nutzungsdauer 30 Jahre und **10 Jahre Verlängerung**

Für die Berechnung des Nutzens im Katastrophenfall wurde die Eintrittswahrscheinlichkeit ermittelt:

Teilkollaps im Szenario „Katastrophenfall“ 56
Kompletter Kollaps im Szenario „Katastrophenfall“ 26
(gesamt 82, 1970-2004, 34 Jahren)

(Eigene Analysen auf Basis kombinierter Sekundärdaten)

Ermittelte Brückenausfälle/-beschädigung im laufenden Betrieb nach Ursache im Zeitraum 1970-2010 in EU-27 Staaten:

Ursache	**Anzahl**
Terroristische Angriffe	20
Naturgewalten (Hochwasser, starker Regen)	24
Kollision	6
Baufehler	3
Sonstiges/ konnte nicht ermittelt werden	3
Gesamt Teilkollaps	**56**
Kompletter Kollaps des Bauwerkes	**26**

Es ergibt sich eine Eintrittswahrscheinlichkeit während wirtschaftlichen Lebensdauer einer Brücke von 4,2 x 10-4. Diese ist allerdings regional unterschiedlich verteilt. Ein kompletter oder teilweiser Bauwerkskollaps tritt damit eher selten auf. Probleme werden in aller Regel rechtzeitig erkannt. Zu ermittelnde Nutzen bestehen jedoch auch im Katastrophenfall. Diese wurden nachfolgend, ebenso wie die Nutzen im Normalbetrieb detailliert untersucht.

2. Forschungsansatz

Das Ergebnis der KNA gibt die Differenz zwischen dem untersuchten Angebotsmodul und dem Referenzfall wieder. Die Analyse findet im Rahmen des normalen Brückenbetriebs statt sowie im Zusammenhang mit einer möglichen Katastrophe. Im Bereich Brücken werden 2 verschiedene Angebotsmodule im Rahmen der KNA untersucht. Zum einen für den Neubau einer Brücke unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus und im Falle einer Nachrüstung eines bereits bestehenden Bauwerkes unter Berücksichtigung der verbleibenden Lebensdauer.

Abbildung 22 Angebotsmodul und Referenzfall der KNA

Angebotsmodul 1	Brücke mit AURIS-System als **Neubau**
Angebotsmodul 2	Brücke mit AURIS-System als **Nachrüstung** bei einem Bestandsbauwerk
Referenzfall	Brücke ohne Investitionsmaßnahme

Das Ziel ist es, anhand der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu analysieren, ob der Einsatz des AURIS-Systems für den Betreiber der Infrastruktur sowie im Rahmen volkswirtschaftlicher

Aspekte rentabel ist oder nicht. Die Investitionsmaßnahme ist wirtschaftlich vorteilhaft, wenn das Verhältnis der Kosten-Nutzen-Bilanz kleiner 1 ist.

Der Untersuchungszeitraum beginnt mit dem Beginn der Investitionsmaßnahme und endet mit dem Ende der Nutzungsdauer. Alle Kosten, die in diesem Zeitraum anfallen, werden berücksichtigt. Die relevanten Indikatoren werden in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 23 Indikatoren der Kosten-Nutzen-Analyse

Kostenindikatoren	Betriebswirtschaftliche Kosten: • Herstellungskosten der Infrastruktur • Betriebs- und Wartungskosten der Infrastruktur
Nutzenindikatoren	Betriebswirtschaftliche Nutzen • Erhaltungs- und Instandsetzungskosten • Inspektionskosten • Verlängerung der Nutzungsdauer Volkswirtschaftliche Nutzen • Transportkosten für Verkehrsteilnehmer • soziale Unfallkosten • wirtschaftliche Folgen eines Brückenausfalls

Die gesamten anfallenden Kosten und Nutzen über den Betrachtungszeitraum werden mit der Eintrittswahrscheinlichkeit in die Berechnungen einbezogen. Die Investitionskosten und Betriebskosten fallen mit Sicherheit an und werden mit dem Wert 1 bei der Eintrittswahrscheinlichkeit berücksichtigt. Die Kostenstellen im Zusammenhang mit einer Katastrophe werden mit der ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeit in Zusammenhang gebracht, da der Eintritt dieser Kosten nicht als selbstverständlich im Rahmen der Nutzungsdauer angenommen werden kann.

Weitere wichtige Arbeitsschritte einer Kosten-Nutzen-Analyse sind die Diskontierung und Sensitivitätsanalyse. Durch die Diskontierung wird für alle anfallenden Kosten im Betrachtungszeitraum der Gegenwartswert anhand eines festen Zinssatzes ermittelt. Das Jahr der Inbetriebnahme dient als Bezugspunkt. Die Betriebskosten werden als einmalige Zahlungen zum jeweiligen Zeitpunkt (Inspektionskosten: alle 3 Jahre/ Wartungskosten: jährlich) aufgezinst.

Die Sensitivitätsanalyse wird angewendet, um kritischen Faktoren, die Einfluss auf den Investitionserfolg haben, zusammenzufassen. Es kann sich dabei um einzelne Annahmen oder auch Eingangsdaten handeln. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird analysiert, wie stark sich die Veränderung dieser Faktoren auf die Ergebnisse in der KNA auswirkt.

Zu den relevanten Faktoren gehören:

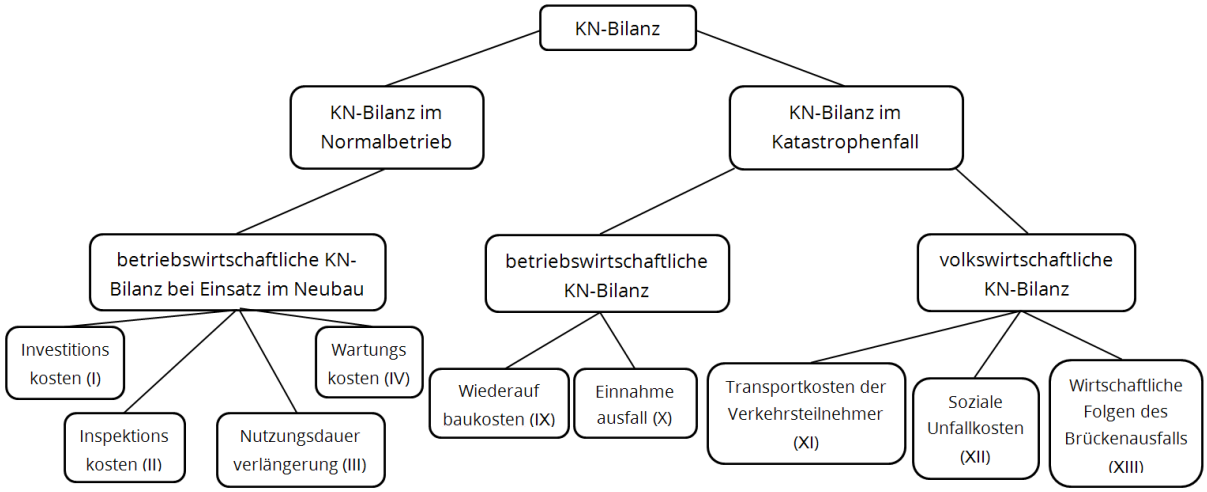
- Größe der Brücke
- Dauer der Verlängerung der Nutzungsdauer
- Anzahl der Tage für Wiederaufbau
- Diskontierungssatz

3. Mengen- und Wertgerüst Neubau

Insgesamt besteht das Mengen- und Wertgerüst aus 9 Kostenstellen. Die Kostenstellen setzen sich aus betriebswirtschaftlichen Aspekten des AURIS-Systems im Normalbetrieb und im Falle

einer Katastrophe sowie aus volkswirtschaftlichen Aspekten im Falle einer Katastrophe zusammen. Eine Zusammenfassung zeigt die nachfolgende Abbildung.

Abbildung 24 Kostenstellen der Kosten-Nutzen-Bilanz für Angebotsmodul Neubau



Die betriebswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Bilanz fasst alle Kosten zusammen die beim Betreiber der Brücke anfallen. An dieser Stelle können dem Betreiber betriebswirtschaftliche Nutzen aufgezeigt werden, die im Vergleich zum Referenzfall ohne Einsatz des AURIS-Systems entstehen.

Kosteneinsparungen entstehen durch Änderung der Erhaltungs- und Instandsetzungskosten und bei den Inspektionskosten. Durch das AURIS-System wird der Zustand der Brücke kontinuierlich überwacht und Schäden können frühzeitig erkannt werden. Sehr früh erkannte Beeinträchtigungen haben meist deutlich geringere Reparaturkosten zur Folge. Die Wartungskosten können in Folge dessen geringer ausfallen. Daneben führt die Verlängerung der Nutzungsdauer zu einem später nötigen Neubau und damit insgesamt zu einer längeren Standzeit der Brückenbauwerke als im Referenzfall. Durch die Installation des AURIS-Systems fallen allerdings Mehrkosten an, die für den Referenzfall entfallen.

Im Falle einer Katastrophe muss der Betreiber weitere Kosten für den Wiederaufbau und möglicher Einnahmeausfälle berücksichtigen. Durch das AURIS-System ist eine schnellere und genauere Schadensdiagnose möglich. Der Wiederaufbau kann dadurch beschleunigt werden, die Kosten minimiert werden und der Einnahmenausfall aus Mautgebühren verringert werden.

Die volkswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Bilanz fasst alle Kosten zusammen, die im Falle einer Katastrophe nicht beim Betreiber direkt anfallen, sondern von der Allgemeinheit getragen werden müssen. Darunterfallen die Transportkosten, die sozialen Unfallkosten und Kosten für den Ausfall der Brücke.

Die sozialen Unfallkosten sollen durch den Einsatz des AURIS-Systems gesenkt werden. Dies ist insbesondere durch den schnelleren und gezielteren Einsatz der Rettungskräfte möglich. Die Anzahl der Toten kann sich insoweit ändern, dass Schwerverletzte schneller behandelt werden und nicht versterben. Die Anzahl der Verletzten und die Höhe der Sachschäden bleiben dagegen unverändert.

Des Weiteren unterscheiden sich die Kosten für den Transport der Verkehrsteilnehmer und die Kosten der wirtschaftlichen Folgen des Ausfalles nicht zwischen Referenzfall und Angebotsmodul. Der entscheidende Unterschied ist in der Dauer des Brückenausfalls begründet.

Die Berechnungen der einzelnen Kostenstellen werden sowohl für das Angebotsmodul mit AURIS-System und den Referenzfall ohne AURIS-System ermittelt. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Ergebnisse abschließend gegenübergestellt. Die ermittelten Kosten und Annahmen, die für die Kosten-Nutzen-Analyse getroffen wurden, wurden in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern festgelegt.

Die berechneten Szenarien Best und Worst Case unterscheiden sich anhand verschiedener Aspekte, um die Bedeutung des AURIS-Systems besser bewerten zu können. Im Best Case wird von einer Lebensdauer von 70 Jahren ausgegangen, der Worst Case beinhaltet eine Lebensdauer von 50 Jahren. Die Größe der Brückenbauwerke ist in den untersuchten Szenarien ebenfalls unterschiedlich. Im Best Case handelt es sich um ein großes Bauwerk (46.410 m² Fläche), im Worst Case um ein kleineres (705 m² Fläche). Im Falle einer Katastrophe ist im Best Case eine wirtschaftlich wichtige Brücke und im Worst Case eine eher unwichtige Brücke definiert.

Abbildung 25 Betriebswirtschaftliche Bilanz im Normalbetrieb bei Neubau

Kostenstelle	**Formel**
Kostenstelle I : Investitionskosten des AURIS-Systems	$IB_{Neu} = P_S * n_S + DE + P_{Soft} + P_{Wart}$ IB_{Neu} = Gesamtinvestitionskosten des AURIS-Systems bei Einsatz im Neubau P_S = durschschnittlicher Preis pro Sensor n_S = Anzahl benötigter Sensoren DE = Kosten für Datenerfassung P_{Soft} = durchschnittlicher Preis für das Softwaresystem P_{Wart} = Kostenpauschale für Wartungskosten des AURIS-Systems
Kostenstelle II : Inspektionskosten	$Ik_{Neu} = L / 6 * \mu_H * K_H + L / 6 * \mu_E * K_E$ Ik_{Neu} = Kosten für Inspektionen L = Durchschnittliche Lebensdauer des Bauwerks in Jahren μ_H = Änderungsfaktor – Hauptprüfung K_H = durchschnittliche Kosten einer Brückenhauptprüfung μ_E = Änderungsfaktor – Einfache Prüfung K_E = durchschnittliche Kosten einer Einfachen Brückenprüfung
Kostenstelle III : Verlängerung der Nutzungsdauer	$NV_{Neu} = NBK + (ND_G * \varphi_{Neu})$ NV_{Neu} = Verlängerung der Nutzungsdauer bei Neubau NBK = Neubaukosten

	ND_V = verlängerte Nutzungsdauer φ_{Neu} = jährlicher Kostensatz für Verlängerung der Lebensdauer/ Wartungs-& Inspektionskosten
Kostenstelle IV : Wartungskosten	$WK = HK * L * (I_{Jahr} - I_{erwartet})$ WK = Wartungskosten HK = Herstellungskosten des Bauwerks L = Lebensdauer des Bauwerkes I_{Jahr} = jährlicher Investitionskostensatz (%) $I_{erwartet}$ = erwartete jährliche Investitionskosteneinsparung (%)

Abbildung 26 Betriebswirtschaftliche Bilanz im Katastrophenfall

Kostenstelle	Formel
Kostenstelle IX : Kosten für Wiederaufbau	$PIK_B = WK * \delta$ PIK_B = Kosten für Wiederaufbau im Katastrophenfall WK = Wiederaufbaukosten δ = Änderungsfaktor für Kosteneinsparung
Kostenstelle X : Einnahmeausfall	$U_{Ges} = U_{Tag} * T$ U_{Ges} = gesamte fehlende Einnahmen durch Brückenausfall U_{Tag} = durchschnittliche Einnahmen pro Tag T = durchschnittliche Anzahl der Tage für Wiederaufbau

Abbildung 27 Volkswirtschaftliche Bilanz im Katastrophenfall

Kostenstelle	Formel
Kostenstelle XI : Transportkosten der Verkehrsteilnehmer	$Tk_{Ges} = B * Tk_W * T$ Tk_{Ges} = gesamte zusätzliche Transportkosten durch Brückenausfall B = Anzahl der Betroffenen Tk_W = Fahrtkostenänderung durch zusätzlichen Weg und Zeit

	T = durchschnittliche Anzahl der Tage für Wiederaufbau
Kostenstelle XII : Soziale Unfallkosten	$SUK = \mu_V * V * K_V + \mu_{To} * To * K_{To}$ SUK = Soziale Unfallkosten pro Unglück μ_V = Änderungsfaktor – Verletzte V = durchschnittliche Anzahl an Verletzten pro Unglück K_V = Kosten pro Verletzter μ_{To} = Änderungsfaktor – Tote To = durchschnittliche Anzahl an Toten pro Unglück K_{To} = Kosten pro Todesopfer
Kostenstelle XIII : wirtschaftliche Folgen des Brückenausfalls	$K_W = \lambda * (BIP_R - K_{PA} - K_{Tour}) * T$ K_W = Gesamtkosten für wirtschaftliche Folgen des Brückenausfalls λ = Wirtschaftsfaktor (1 = nicht verzichtbar / 0 = umfahrbar) BIP_R = Bruttoinlandsprodukt der Region pro Tag K_{PA} = Kostenpauschale für entgangenen Gewinn aus Produktionsausfall/-verzögerung K_{Tour} = Kostenpauschale für entgangenen Gewinn aus Tourismus der Region T = durchschnittliche Anzahl der Tage für Wiederaufbau

4. Ergebnisse Neubau

3.1 betriebswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Bilanz im Normalbetrieb

Für den Einsatz des AURIS-Systems im Neubau wurde im Best Case von einer geplanten Nutzungsdauer von 70 Jahren und einer zusätzlichen verlängerten Nutzungsdauer von 10 Jahren ausgegangen. Die Investitionskosten für das AURIS-System entfallen für den Referenzfall. Kostenersparnisse fallen in diesem Zeitraum im Bereich von Inspektions- und Wartungskosten an. Die Verlängerung der Nutzungsdauer führt dazu, dass die Investitionskosten für einen neuen Brückenbau nach 70 Jahren nach hinten verschoben werden können. Betrachtet man die Zahlen, zeigt sich, dass die größte Kosteneinsparung durch die Verlängerung der Nutzungsdauer erwirtschaftet wird. Die relativ große Zahl im Referenzfall für die Kosten der Nutzenverlängerung setzen sich aus einem anteilig kalkulierten Baukostensatz und den anfallenden Inspektions- und Wartungskosten zusammen. Im AURIS-Fall entfallen die anteiligen Baukosten. Insgesamt ist in absoluten Zahlen über den Betrachtungszeitraum eine Einsparung von 31.954.470,02 € für die betriebswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Bilanz im Normalbetrieb möglich. Dies entspricht insgesamt einem Kosten-Nutzen-Verhältnis von 0,76.

Im Worst Case wurde eine geplante Nutzungsdauer von 50 Jahren und eine zusätzliche Verlängerung der Nutzungsdauer von 10 Jahren angenommen. Die größte Kosteneinsparung wird wie schon im Best Case im Rahmen der Verlängerung der Nutzungsdauer erwirtschaftet. Die Kostenersparnis über den gesamten Betrachtungszeitraum liegt in absoluten Zahlen bei 761.653,82 €. Das betriebswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Verhältnis im Normalbetrieb entspricht 0,72. Da es sich um ein kleineres Bauwerk als im Best Case handelt, sind die Kostenstrukturen insgesamt geringer und führen zu dem etwas positiveren Kosten-Nutzen-Verhältnis, während die Kosteneinsparungen in absoluten Zahlen deutlich geringer ausfällt als im Best Case.

	Best Case (N=80 Jahre)		**Worst Case (N= 60 Jahre)**	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Investitionskosten	0,00 €	9.359.500,00 €	0,00	198.500,00
Inspektionskosten	5.225.462,46 €	4.702.916,21 €	153.872,86	146.179,22
Wartungskosten	66.503.327,98 €	59.852.995,18 €	1.161.807,73	1.103.717,35
Verlängerung Nutzungsdauer	59.568.077,32 €[26]	25.426.986,35 €	1.448.797,29	554.427,50
Gesamtkosten	**131.296.867,76 €**	**99.342.397,75 €**	**2.764.477,88 €**	**2.002.824,07 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**-31.954.470,02 €**		**-761.653,82 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**0,76**		**0,72**	

3.2 Kosten-Nutzen-Bilanz im Katastrophenfall

Bei Eintritt einer Katastrophe sind die anfallenden Kosten unabhängig von der wirtschaftlichen Bedeutung der Brücke im Referenzfall stets höher als im AURIS-Fall. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis liegt im Best und im Worst Case bei 0,67. In absoluten Zahlen ausgedrückt, können Kosteneinsparungen von 1.213.596.001,02 € und 295.146.978,82 € erzielt werden. Unter Berücksichtigung von Diskontierung und Eintrittswahrscheinlichkeit liegen diese Werte bei liegen diese jedoch nur noch bei 123.000 bis 512.000 €.

Die Kosten-Nutzen-Bilanz ist in eine betriebswirtschaftliche und eine volkswirtschaftliche Bilanz unterteilt. Betrachtet man die einzelnen Kostenstellen, zeigt sich, dass die größte Kosteneinsparung zwischen Referenzfall und AURIS-Fall im Bereich der volkswirtschaftlichen Bilanz erwirtschaftet wird. Im Worst Case Szenario sind die anfallenden Kosten im Referenzfall und im AURIS-Fall gering. Dies ist zum einen darauf zurück zu führen, dass in diesem Szenario per Definition keine Mauteinnahmen anfallen. Da es sich um ein verhältnismäßig kleines Brückenbauwerk handelt, sind deutlich geringere Reparaturkosten veranschlagt. Insgesamt lässt sich aber zusammenfassen, dass der Einsatz des AURIS-Systems im Falle einer Katastrophe wirtschaftlich sinnvoll ist.

[26] Enthält anteilig kalkulierten (Neu-)Baukostensatz und Inspektions-/Wartungskosten

	Best Case		Worst Case	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Betriebswirtschaftliche Bilanz				
Wiederaufbaukosten	12.661,77	11.395,59	2,13	1,91
Einnahmeausfall	18.736,43	12.490,96	0,00	0,00
Volkswirtschaftliche Bilanz				
Transportkosten	63.189,51	42.126,34	10.876,85	7.251,23
soziale Unfallkosten	1.257,44	1.117,29	12,27	1.187,37
Wirtschaftliche Folgen	1.450.482,41	966.988,27	362.620,60	241.747,07
Gesamtkosten	**1.546.327,57 €**	**1.034.118,45 €**	**373.511,85 €**	**250.187,58 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**-512.209,11 €**		**-123.324,27 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**0,67**		**0,67**	

i. Kosten-Nutzen-Bilanz insgesamt

Abschließend werden jetzt alle betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Kostenstellen in einer Kosten-Nutzen-Bilanz zusammengefasst. Es zeigt sich, dass sich die bisherigen Ergebnisse aus den Teilbilanzen bestätigen.

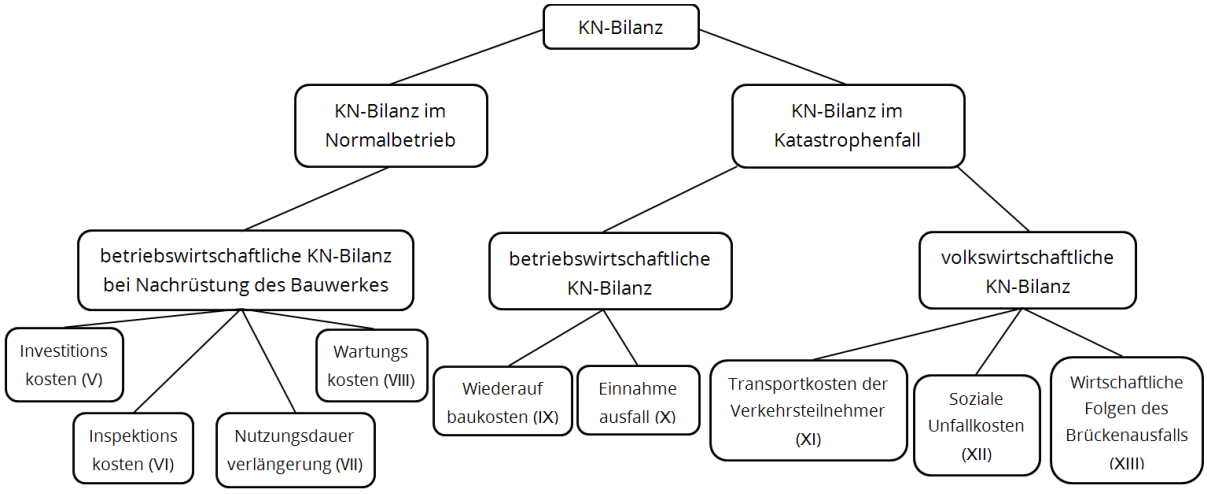
Die größte Kostenersparnis bei Einsatz des AURIS-Systems zeigt sich im Bereich der Betriebskosten im Normalbetrieb im Best Case sowie im Worst Case. Die Kostenersparnis im Falle einer Katastrophe steigert die Einsparungen zusätzlich, verändert den Wert aber nicht wesentlich. Insgesamt liegt die Kostenersparnis zwischen ca. 32,5 Mio. € und knapp 900.000 € im Worst Case. Dies entspricht einem Kosten-Nutzen-Verhältnis von 0,76 und 0,72.

	Best Case		Worst Case	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Investitionskosten	0 €	9.359.500,00 €	0 €	198.500,00 €
Betriebskosten	131.296.867,76 €	89.982.897,75 €	2.764.477,88 €	1.804.324,07 €
Kosten im Katastrophenfall	1.546.327,57 €	1.034.118,45 €	373.511,85 €	250.187,58 €
Gesamtkosten	**132.843.195,33 €**	**100.376.516,20 €**	**3.137.989,73 €**	**2.253.011,65 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**-32.466.679,13 €**		**-884.978,08 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**0,76**		**0,72**	

Mengen- und Wertgerüst Nachrüstung

Das Mengen- und Wertgerüst setzt sich aus insgesamt 9 Kostenstellen zusammen und umfasst sowohl betriebswirtschaftliche Aspekte und volkswirtschaftliche Aspekte im Falle einer Katastrophe.

Abbildung 28 Kostenstellen der Kosten-Nutzen-Bilanz für Angebotsmodul 2



Der Betrachtungszeitpunkt beginnt mit dem Einbau des AURIS-Systems 30 Jahre vor Ende der ursprünglich geplanten Nutzungsdauer. Die Gesamtlebensdauer des Bauwerkes beträgt 70 Jahre.

Die Kostenstellen für die betriebswirtschaftliche Bilanz im Normalbetrieb und volkswirtschaftliche Bilanz im Katastrophenfall für das Angebotsmodul Nachrüstung stimmen weitestgehend mit den Kostenstellen aus dem Angebotsmodul für den Neubau überein. Der

wesentliche Unterschied besteht in der Dauer des Betrachtungszeitraumes. Kosteneinsparungen im Rahmen von Inspektionen und Wartung fallen in einem kürzeren Zeitzyklus an.

Die berechneten Szenarien Best und Worst Case unterscheiden sich anhand der Brückengröße. Der Best Case hat eine Brückenfläche von 46.410 m² und der Worst Case eine Fläche von 705 m². Im Falle einer Katastrophe ist im Best Case eine wirtschaftlich wichtige Brücke und im Worst Case eine eher unwichtige Brücke definiert.

Abbildung 29 Betriebswirtschaftliche Bilanz bei Einsatz als Nachrüstung

Kostenstelle	**Formeln**
Kostenstelle V : Investitionskosten des AURIS-Systems	$IB_{Nach} = P_S * n_S + DE + P_{Soft} + K_I$ IB_{Nach} = Gesamtinvestitionskosten des AURIS-Systems bei Nachrüstung am Bauwerk P_S = durschschnittlicher Preis pro Sensor n_S = Anzahl benötigter Sensoren DE = Kosten für Datenerfassung P_{Soft} = durchschnittlicher Preis für das Softwaresystem KI = Kostenpauschale für die Installation des AURIS-Systems
Kostenstelle VI : Inspektionskosten	$Ik_{Nach} = L_V / 6 * \mu_H * K_H + L_V / 6 * \mu_E * K_E$ Ik_{Nach} = Kosten für Inspektionen L_V = Verbleibende Lebensdauer des Bauwerks in Jahren μ_H = Änderungsfaktor – Hauptprüfung K_H = durchschnittliche Kosten einer Brückenhauptprüfung μ_E = Änderungsfaktor – Einfache Prüfung K_E = durchschnittliche Kosten einer Einfachen Brückenprüfung
Kostenstelle VII : Verlängerung der Nutzungsdauer	$NV_{Neu} = NBK + (ND_G * \varphi_{Neu})$ NV_{Neu} = Verlängerung der Nutzungsdauer bei Neubau NBK = Neubaukosten ND_V = verlängerte Nutzungsdauer φ_{Neu} = jährlicher Kostensatz für Verlängerung der Lebensdauer/ Wartungs-& Inspektionskosten
Kostenstelle VIII : Wartungskosten	$WK = HK * L * (I_{Jahr} - I_{erwartet})$ WK = Wartungskosten HK = Herstellungskosten des Bauwerks L = verbleibende Lebensdauer des Bauwerkes

	I_{Jahr} = jährlicher Investitionskostensatz (%) $I_{erwartet}$ = erwartete jährliche Investitionskosteneinsparung (%)

Die Formeln für die Kostenstellen im Falle einer Katastrophe sind identisch mit den Formeln der Kostenstellen im Angebotsmodul Neubau und werden nicht nochmals aufgeführt.

5. Ergebnisse Nachrüstung

i. betriebswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Bilanz im Normalbetrieb

Im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Bilanz werden neben den Betriebskosten wie Inspektions- und Wartungskosten auch Kostenersparnisse durch die Verlängerung der Nutzungsdauer berücksichtigt. Anhand der nachfolgenden Abbildungen zeigt sich, dass die Verlängerung der Nutzungsdauer einen Einfluss auf ein positives Kosten-Nutzen-Verhältnis hat. Ist die Verlängerung der Nutzungsdauer auf 5 Jahre definiert, ergibt sich im Best Case (N = 35 Jahre) ein Kosten- Nutzen-Verhältnis von 1,1 und zeigt an, dass der Referenzfall gegenüber dem AURIS-Fall kostengünstiger ist. Im Worst Case (N = 35 Jahre) ergibt sich ein Wert von 0,97, der AURIS-Fall ist somit kostengünstiger als der Referenzfall. Dieses Ergebnis kommt zustande, da im Worst Case eine kleinere Brücke definiert ist und somit geringere Investitionskosten anfallen, die schneller durch Nutzen des AURIS-Systems aufgefangen werden.

Wird die Verlängerung der Nutzungsdauer mit 10 Jahren in die Kalkulation miteinbezogen, ergibt sich eine Kostenersparnis von 2.684.732,48 € und 191.263,11 €. Sowohl für den Best Case (N = 40 Jahre) und den Worst Case (N = 40 Jahre) zeigt sich ein Kosten-Nutzen-Verhältnis kleiner 1 mit 0,92 und 0,84. Wird die Verlängerung der Nutzungsdauer erhöht, ergibt sich jetzt auch für eine Brücke mit großer Brückenfläche ein wirtschaftlicher Vorteil durch den Einsatz des AURIS-Systems.

Insgesamt zeigt sich, dass Brücken mit einer geringeren Brückenfläche stärker zu einem positiven Ergebnis in der betriebswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Bilanz führen. Diese Tendenz schwächt sich mit steigender Dauer der Nutzungsverlängerung ab.

	Best Case (N= 35 Jahre)		**Worst Case (N=35 Jahre)**	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Investitionskosten	0,00 €	9.359.500,00 €	0,00 €	198.500,00 €
Inspektionskosten	1.188.172,89 €	1.069.355,60 €	66.415,26 €	63.094,49 €
Wartungskosten	13.720.749,89 €	12.348.674,90 €	490.026,78 €	465.525,44 €
Verlängerung Nutzungsdauer (5 Jahre)	8.955.317,04 €	3.455.648,45 €	327.604,40 €	133.151,24 €
Gesamtkosten	**23.864.239,82 €**	**24.856.194,28 €**	**884.046,44 €**	**860.271,18 €**
Differenz	**+ 2.368.939,13 €**		**-23.775,27 €**	
Verhältnis	**1,1**		**0,97**	

	Best Case (N= 40 Jahre)		Worst Case (N=40 Jahre)	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Investitionskosten	0,00 €	9.359.500,00 €	0,00 €	198.500,00 €
Inspektionskosten	1.188.172,89 €	1.069.355,60 €	66.415,26 €	63.094,49 €
Wartungskosten	13.720.749,89 €	12.348.674,90 €	490.026,78 €	465.525,44 €
Verlängerung Nutzungsdauer (10 Jahre)	18.261.001,59 €	7.707.661,39 €	663.463,22 €	301.522,21 €
Gesamtkosten	**33.169.924,38 €**	**30.485.191,90 €**	**1.219.905,26 €**	**1.028.642,15 €**
Differenz	**-2.684.732,48 €**		**-191.263,11 €**	
Verhältnis	**0,92**		**0,84**	

ii. Kosten-Nutzen-Bilanz im Katastrophenfall

Die Kosten-Nutzen-Bilanz setzt sich aus einer betriebswirtschaftlichen und einer volkswirtschaftlichen Bilanz zusammen. Die volkswirtschaftliche Bilanz erwirtschaftet die größte Kostenersparnis im Vergleich von Referenzfall und AURIS-Fall. Im Worst Case Szenario fällt innerhalb der betriebswirtschaftlichen Bilanz eine geringe Ersparnis an, was vor allem mit der Szenariodefinition in Zusammenhang steht.

In absoluten Zahlen können insgesamt Kosteneinsparungen von 1.213.596.001,02 € und 295.146.978,82 € erzielt werden. Unter Berücksichtigung von Diskontierung und Eintrittswahrscheinlichkeit liegen diese Werte bei 4.997,16 € und 1.215,31 €. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis liegt im Best und im Worst Case bei 0,67.

	Best Case		Worst Case	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Betriebswirtschaftliche Bilanz				
Wiederaufbaukosten	12.661,77	11.395,59	2,13	1,91
Einnahmeausfall	18.736,43	12.490,96	0,00	0,00
Volkswirtschaftliche Bilanz				
Transportkosten	63.189,51	42.126,34	10.876,85	7.251,23

soziale Unfallkosten	1.257,44	1.117,29	12,27	1.187,37
Wirtschaftliche Folgen	1.450.482,41	966.988,27	362.620,60	241.747,07
Gesamtkosten	**1.546.327,57 €**	**1.034.118,45 €**	**373.511,85 €**	**250.187,58 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**-512.209,11 €**		**-123.324,27 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**0,67**		**0,67**	

iii. Kosten-Nutzen-Bilanz insgesamt

In einem letzten Schritt werden nun die betriebs- und volkswirtschaftliche Bilanz zu einer Gesamtbilanz zusammen geführt. Die bereits ermittelten Erkenntnisse aus den Teilbilanzen bestätigen sich zum Teil.

Wie bereits beim Angebotsmodul Neubau stellen auch bei der Nachrüstung einer Brücke, die Kostenstellen für die Betriebskosten die größten Einsparungen zwischen Referenzfall und AURIS-Fall dar. Die Kosteneinsparungen im Falle einer Katastrophe haben aufgrund der Eintrittswahrscheinlichkeit nur geringe Auswirkung auf das Ergebnis der Kosten-Nutzen-Bilanz.

Im Falle der Verlängerung der Nutzungsdauer um 10 Jahren ist das Kosten-Nutzen-Verhältnis - im Best Case 0,9 mit einer möglichen Einsparung von 3,2 Mio. € und im Worst Case 0,8 mit einer Einsparung von ca. 315.000 € kleiner 1. Wird die Verlängerung der Nutzungsdauer mit 5 Jahren kalkuliert, zeigt der Worst Case eine Ersparnis von ca. 147.000 € und ist damit immer noch vorteilhaft gegenüber dem Referenzfall. Die Betrachtung einer großen Brücke im Best Case führt jedoch zu Mehrkosten von knapp 1,9 Mio € gegenüber dem Referenzfall, die vor allem in den deutlich höheren Investitionskosten begründet ist. Insgesamt zeigt die Nachrüstung von Brücken mit kleinerer Fläche deutlich schneller ein positives Kosten-Nutzen-Verhältnis als bei Brücken mit größerer Fläche.

	Best Case (N= 35 Jahre)		**Worst Case (N= 35 Jahre)**	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Investitionskosten	0,00 €	9.359.500,00 €	0,00 €	198.500,00 €
Betriebskosten	23.864.239,82 €	16.873.678,95 €	884.046,44 €	661.771,18 €
Kosten im Falle einer Katastrophe	1.546.327,57 €	1.034.118,45 €	373.511,85 €	250.187,58 €

Gesamtkosten	**25.410.567,39 €**	**27.267.297,40 €**	**1.257.558,29 €**	**1.110.458,76 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**1.856.730,01 €**		**-147.099,53 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**1,1**		**0,9**	

	Best Case (N= 40 Jahre)		**Worst Case (N= 40 Jahre)**	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Investitionskosten	0,00 €	9.359.500,00 €	0,00 €	198.500,00 €
Betriebskosten	33.169.924,38 €	21.125.691,90 €	1.219.905,26 €	830.142,15 €
Kosten im Falle einer Katastrophe	1.546.327,57 €	1.034.118,45 €	373.511,85 €	250.187,58 €
Gesamtkosten	**34.716.251,95 €**	**31.519.310,35 €**	**1.593.417,11 €**	**1.278.829,73 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**-3.196.941,60 €**		**-314.587,38 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**0,9**		**0,8**	

II. Rechenzentren / Netzknoten

1. Szenario

Untersucht werden die Szenarien, die sich bereits im Rahmen der Marktanalyse als wirtschaftlich relevant erwiesen haben. Hierzu zählen sowohl Netzknoten der Telekommunikation wie auch Hochverfügbarkeitsrechenzentren. Da sowohl Nutzen als auch sonstige Konstellationen hierbei sehr ähnlich sind, wurden diese beiden Anwendung gemeinsam untersucht. In beiden Fällen wurde von einer Unterbringung in einem Bestandsbau ausgegangen. Wie bereits festgestellt, besteht ein wirtschaftliche Nutzen für Hochverfügbarkeitsrechenzentren und Netzknoten gleichermaßen in der Optimierung der Lastgrenzen und damit der Möglichkeit, mehr Server oder andere Einrichtungen auf der gleichen Fläche unterzubringen. Dieser Nutzen realisiert sich im Normalbetrieb.

Darüber hinaus handelt es sich aber um kritische Infrastruktur, deren Ausfall, z.B. im Rahmen eines Katastrophenfalls, zu hohen Folgeschäden führt. Dies zeigte sich beispielsweise beim Brand eines Netzknotens nahe Rotterdam April 2012, bei dem 5 Mio. Kunden mehrere Tage ohne Telefonie, Mobilfunk und Internet verblieben, auch zahlreiche internationale Unternehmen mit starkem Internet-bezug.
In Betracht wurde weitere gezogen, dass durch das System eine frühzeitige Erkennung bzw. Prävention von baulichen Schäden möglich ist. Dies ist von Bedeutung, da nicht nur durch das Gewicht hohe Lasten, sondern auch durch Kühlungsanlagen auf dem Dach sowie Schwungspeicher und Dieselgeneratoren permanent starke Vibrationen in die Struktur eingebracht werden.

Inwieweit diese und weitere Nutzen zu erwartende Mehrkosten übertreffen, ist Gegenstand dieses Abschnitts der KNA Untersuchung. Konkret wird der nachträgliche Einbau des AURIS-Systems bei einem bereits bestehenden Gebäude, das einen Netzknoten beherbergt (mit AURIS) mit einem bereits bestehenden Gebäude ohne AURIS (Referenzfall) verglichen.

In die Untersuchung wurde ferner der Katastrophenfall durch Eintritt eines Anschlags oder Angriffs auf eine der genannten Einrichtungen einbezogen. Hierzu wurde die Eintrittswahrscheinlichkeit ermittelt. Aufgrund mangelnder Verfügbarkeit von Daten zu hochkritischen Rechenzentren wurden für die Eintrittswahrscheinlichkeit allgemein für größere Rechenzentren ermittelt. Diese liegt bei 3,5 * 10-4 insgesamt für eine angenommene wirtschaftliche Lebensdauer des Bauwerks von 25 Jahren.

2. Forschungsansatz Nachrüstung

Ziel ist es, zu überprüfen, ob die Investitionsmaßnahme für den Betreiber unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher und volkswirtschaftlicher Aspekte rentabel ist oder nicht. Im Segment Netzknoten ist das Angebotsmodul definiert als nachträglicher Einbau des AURIS-Systems bei einem bereits bestehenden Gebäude, das einen Netzknoten beherbergt.

Netzknoten - verglichen wird der nachträgliche Einbau des AURIS-Systems bei einem bereits bestehenden Gebäude, das einen Netzknoten beherbergt (mit AURIS) mit einem bereits bestehenden Gebäude ohne AURIS (Referenzfall)

Abbildung 30 Angebotsmodul und Referenzfall der KNA

Angebotsmodul	Nachrüstung eines Bauwerks für Netzknoten mit dem AURIS-System
Referenzfall	Bauwerk ohne Investitionsmaßnahme

Der Untersuchungszeitraum beginnt mit dem Beginn der Investitionsmaßnahme und endet mit dem Ende der Nutzungsdauer. Alle Kosten, die in diesem Zeitraum anfallen, werden berücksichtigt. Die relevanten Indikatoren werden in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 31 Indikatoren der Kosten-Nutzen-Analyse

Kostenindikatoren	Betriebswirtschaftliche Kosten: • Kosten für AURIS-Installation
Nutzenindikatoren	Betriebswirtschaftliche Nutzen: • Verlängerung der Nutzungsdauer • Verbesserung der Lastgrenzen • Wiederaufbaukostenreduktion • Verringerung des Einnahmeausfalls / Schadenersatzansprüche der Kunden Volkswirtschaftliche Nutzen: • Verringerung wirtschaftlicher Folgen unter Beachtung von Kaskadeneffekten

Die gesamten anfallenden Kosten und Nutzen im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Bilanz im Normalbetrieb werden mit einem Wert von 1 bei der Eintrittswahrscheinlichkeit berücksichtigt, da diese mit Sicherheit anfallen. Die Kosten und Nutzen im Falle einer Katastrophe werden mit der ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeit berechnet.

Im Rahmen der Diskontierung werden die anfallenden Kosten anhand eines festen Zinssatzes auf den Gegenwartswert verzinst. Bezugszeitpunkt ist das Jahr der Inbetriebnahme. Die Betriebskosten werden als Einmalzahlungen zum jeweiligen Zeitpunkt über 20 und 10 Jahre aufgezinst.

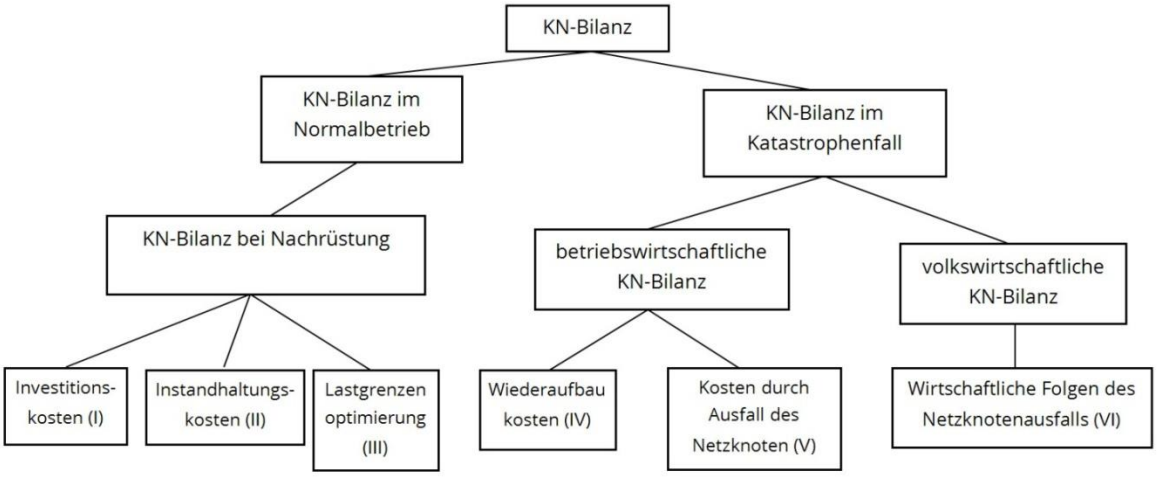
In der Sensitivitätsanalyse wird analysiert, wie stark sich Veränderungen von kritischen Faktoren, die Einfluss auf den Erfolg der Investition haben, auf die Ergebnisse der KNA auswirken. Die zu berücksichtigenden Faktoren sind:

- verbleibende Nutzungsdauer
- Kosten für Instandhaltung
- Änderungsfaktor für Wiederaufbaukosten
- Tage für Wiederaufbau
- Diskontierungssatz

Mengen- und Wertgerüst

Das Mengen- und Wertgerüst umfasst 6 Kostenstellen, die betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Aspekte beinhalten.

Abbildung 32 Kostenstellen der Kosten-Nutzen Bilanz Netzknoten



Kosten und Nutzen, die beim Betreiber des Bauwerkes anfallen, sind zum einen die Investitionskosten des AURIS-System. Im Rahmen von Nutzen, die entstehen können, werden Einsparungen bei der Instandhaltung berücksichtigt. Durch das in die Struktur des Bauwerkes eingebaute AURIS-System ist eine kontinuierliche Überwachung möglich und schon kleinste Schäden können aufgedeckt und beseitigt werden.

Neben der Einsparung in Bezug auf Instandhaltungskosten, wurde weiterer Nutzen in Form von Lastgrenzenoptimierung miteinbezogen. Durch das AURIS-System sind genaue Angaben über die Tragfähigkeit der Bauwerksstruktur möglich, was zur Erhöhung von Lastgrenzen führt. Die Ausnutzung von Flächen für die Vermietung kann dadurch verbessert werden.

Im Falle einer Katastrophe fallen weitere Kosten beim Betreiber an, die durch den Einsatz des AURIS-Systems verringert werden können. Der Nutzen entsteht, wenn der Wiederaufbau beschleunigt wird durch die genaue Kenntnis des Schadensbildes und zusätzlich in Folge dessen der Einnahmeausfall minimiert wird.

Die volkswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Bilanz fasst Kriterien zusammen, die nicht direkt beim Infrastrukturbetreiber anfallen. Die Telekommunikation hat eine zentrale Bedeutung für die Wirtschaft und Gesellschaft. Der Ausfall dieser Struktur führt zu erheblichen Einschränkungen im geschäftlichen und privaten Bereich. Zu den Auswirkungen zählt unter anderem die Unterbrechung von Wertschöpfungsketten in der Wirtschaft in Form von Produktionsausfällen in Unternehmen Im privaten Bereich ist mit erheblichen Einschränkungen und Beeinträchtigungen zu rechnen, die sich einer gesunkenen Konsumentenrente wiederspiegeln.

Für die Betrachtung volkswirtschaftlicher Kosten ist die Berücksichtigung der Größe und Stärke des Ausfalls von Bedeutung ebenso wie die Bedeutsamkeit der Struktur innerhalb der gesamten Telekommunikation. Ein zentraler Netzknoten hat eine höhere Bedeutung als ein weniger wichtiger Netzknoten.

Alle Kostenstellen werden für das Angebotsmodul und den Referenzfall berechnet und zum besseren Vergleich am Ende gegenüber gestellt. Die ermittelten Kosten und Annahmen in der KNA wurden in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern ermittelt.

In der Kosten-Nutzen-Analyse wurden Netzknoten definiert, die sich aufgrund der notwenigen Glasfaseranbindung in innerstädtischen Lagen befinden und zu Hochverfügbarkeits-rechenzentren gezählt werden können. Die festgelegte Größe ist rund 46.000 m². Die Berechnungen für den Best Case sind an einem wirtschaftlich wichtigen Netzknoten angelehnt.

Die verbleibende Nutzungsdauer ist auf 20 Jahre festgelegt. Im Worst Case ist ein wirtschaftlich weniger wichtiger Netzknoten mit einer verbleibenden Nutzungsdauer von 10 Jahren definiert.

Kostenstellen	Formel
Kostenstelle I: Investitionskosten	$IG_{Nach} = P_S * n_S + DE + P_{Soft} + E_{Pau}$ IG_{Nach} = Gesamtinvestitionskosten des AURIS-Systems bei Nachrüstung P_S = durchschnittlicher Preis pro Sensor n_S = Anzahl benötigter Sensoren DE = Kosten für Datenerfassung P_{Soft} = durchschnittlicher Preis für das Softwaresystem E_{Pau} = Pauschale für Installation
Kostenstelle II: Instandhaltungs-/ Betriebskosten	$BK = K_S * \mu_{BK}$ BK = Instandhaltungs-/ Betriebskosten des Gebäudes K_S = durchschnittliche jährliche Kosten für Schönheitsreparaturen/ Instandhaltung/ Wartung μ_{BK} = Änderungsfaktor – Instandhaltungs-/ Betriebskosten
Kostenstelle III: Lastgrenzenoptimierung	$LG_{Opt} = VF_{Ges} * \Omega * P_{VF} * ND_V$ LG_{OPT} = Gesamtnutzen durch Lastgrenzenoptimierung VF_{Ges} = Gesamte vermietete Fläche Ω = Änderungsfaktor P_{VF} = Preis je vermieteter Fläche ND_V = verbleibende Nutzungsdauer

Kostenstellen	Formel
Kostenstelle IV: Wiederaufbaukosten	$K_{Wieder} = WK * \varepsilon$ K_{Wieder} = Kosten für Wiederaufbau im Katastrophenfall WK = Wiederaufbaukosten ε = Änderungsfaktor für Kosteneinsparung
Kostenstelle V: Kosten durch Ausfall des Netzknoten	$EG_{Ausf} = G_{Tgl} * T$ EG_{Ausf} = gesamter entgangener Gewinn durch Ausfall des Netzknoten G_{Tgl} = täglich erwirtschafteter Gewinn T = Anzahl der Ausfalltage

Kostenstellen	Formel
Kostenstelle VI: Wirtschaftliche Folgen des Netzknotenausfalls	$K_W = \delta * (K_{PA} + K_{PH}) * T$ K_W = Gesamtkosten für wirtschaftliche Folgen des Netzknotenausfalls δ = Wirtschaftsfaktor (1 = nicht verzichtbar / 0 = verzichtbar) K_{PA} = Kostenpauschale für entgangenen Gewinn aus Produktionsausfall/-verzögerung K_{PH} = Kostenpauschale für private Haushalte (Konsumentenrente) T = durchschnittliche Anzahl der Tage für Wiederaufbau

3. Ergebnisse

i. betriebswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Bilanz im Normalbetrieb

Im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Bilanz werden Einsparungen bei Instandhaltungskosten und Nutzen aus der Erhöhung von Lastgrenzen berücksichtigt. Der Einsatz des AURIS-Systems ist im Best Case und im Worst Case vorteilhaft. Es ergeben sich Einsparungen von 230.939.849,87 € und 26.303.884.10 €. Durch die Lastgrenzenoptimierung lässt sich die stärkste Ersparnis gegenüber dem Referenzfall erwirtschaften. Anhand von Angaben von Gesprächspartnern aus den geführten Interviews wurden 10 % im Best Case und 5% im Worst Case für die Verbesserung der Lastgrenzen angesetzt. Bei genauerer Betrachtung der Kostenstellen zeigt sich, dass im Best Case bereits die Einsparungen bei den Instandhaltungskosten durch das AURIS-System zu einem leicht positiven Kosten-Nutzen-Verhältnis (0,98) führen. Dieses Ergebnis verstärkt sich, wenn die Nutzungsdauer über 20 Jahre verlängert wird.

	Best Case		**Worst Case**	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Investitionskosten	0,00 €	9.232.300,00 €	0,00 €	9.232.300,00 €
Instandhaltungskosten	121.367.275,16 €	109.230.547,65 €	31.067.816,98 €	27.961.035,29 €
Lastgrenzenoptimierung	228.035.422,35 €	0,00 €	32.429.402,40 €	0,00 €
Gesamtkosten	**349.402.697,52 €**	**118.462.847,65 €**	**63.497.219,38 €**	**37.193.335,29 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**-230.939.849,87 €**		**-26.303.884,10 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**0,34**		**0,59**	

ii. Kosten-Nutzen-Bilanz im Katastrophenfall

Tritt ein Katastrophenfall ein, sind die entstehenden Kosten der Angebotsfall mit dem AURIS-System unabhängig von der wirtschaftlichen Bedeutung des Netzknotens stets geringer als im Referenzfall. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis ist mit 0,67 identisch zwischen Best und Worst Case. In absoluten Zahlen beträgt die Einsparung im Best Case 730.419.711,06 € € und im Worst Case 182.315.226,41 €. Werden Eintrittswahrscheinlichkeit und Diskontierung eingerechnet, liegen die Werte bei 10.415,97 € und 2.599,86 €.

Werden die Kostenstellen genauer betrachtet, zeigt sich, dass die größte Kosteneinsparung im Bereich der volkswirtschaftlichen Bilanz erwirtschaftet wird. In der betriebswirtschaftlichen Bilanz fällt auf, dass die anfallenden Kosten durch den Ausfall des Netzknoten im Worst Case relativ gering ausfallen. Ursächlich dafür sind zum einen die Betroffenheit einer kleineren Fläche des Netzknoten und die geringeren Mieteinnahmen aufgrund des definierten Szenarios.

	Best Case		**Worst Case**	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Betriebswirtschaftliche Bilanz				
Wiederaufbaukosten	938,75	844,87	37,55	891,81
Kosten durch Ausfall des Netzknoten	1.810,68	1.207,12	72,43	48,28
Volkswirtschaftliche Bilanz				
Wirtschaftliche Folgen des Netzknotenausfalls	779.091,58	519.394,39	194.772,90	129.848,60
Gesamtkosten	**781.841,01**	**521.446,38**	**194.882,87**	**130.788,69**

Kosten-Nutzen-Differenz	**-260.394,63 €**	**-64.094,18 €**
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**0,67**	**0,67**

iii. Kosten-Nutzen-Bilanz insgesamt

In einem letzten Schritt werden nun die Teilbilanzen der KNA zusammengeführt und in einem abschließenden Vergleich gegenübergestellt. Die Erkenntnisse aus den einzelnen Teilbilanzen bestätigen sich. Anhand der Gesamtbilanz zeigt sich, dass die Kostenersparnisse vor allem im betriebswirtschaftlichen Teil im Normalbetrieb entstehen. Die Kostenvorteile im Falle einer Katastrophe erhöhen die Einsparungen zusätzlich. Sowohl im Best Case und im Worst Case zeigt sich ein positives Kosten-Nutzen-Verhältnis von 0,34 und 0,59.

Der Einsatz des AURIS-Systems ist für den Betreiber des Netzknotens wirtschaftlich vorteilhaft gegenüber dem Referenzfall.

	Best Case		**Worst Case**	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Investitionskosten	0,00 €	9.232.300,00 €	0,00 €	9.232.300,00 €
Betriebskosten	349.402.697,52 €	109.230.547,65 €	63.497.219,38 €	27.961.035,29 €
Kosten im Falle einer Katastrophe	781.841,01	521.446,38	194.882,87	130.788,69
Gesamtkosten	**350.184.538,53 €**	**118.984.294,03 €**	**63.692.102,25 €**	**37.324.123,98 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**-231.200.244,50 €**		**-26.367.978,27 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**0,34**		**0,59**	

III. PPP-Projekte

1. Szenario

Verglichen wird im nachfolgenden Szenario der Neubau eines Gebäudes im Rahmen eines PPP-Modells, wobei das Gebäude einmal mit dem AURIS-System sowie einmal ohne AURIS ausgestattet ist. Um ein PPP-Projekt handelt es sich in beiden Fällen. Als ein möglicher Nutzen wurde im Rahmen der qualitativen Forschung die Aufdeckung von unentdeckten Mängeln im Rahmen des Eigentumsübergangs genannt. Ein solcher Nutzen wurde in zwei Varianten mit unterschiedlichen Höhen einbezogen.

Einbezogen wurden ferner Kosten im Falle eines Anschlags. Innerhalb von 41 Jahren wurden 22 Anschläge auf Regierungsgebäude im Untersuchungsbereich ermittelt, wenn gleich diese regional unterschiedlich verteilt sind. Die Eintrittswahrscheinlichkeit liegt bei einer angenommenen Lebensdauer des Bauwerks von 50 Jahren bei 0,031.

2. Forschungsansatz Neubau

Das Angebotsmodul, das auf die Wirtschaftlichkeit seiner betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Aspekte untersucht werden soll, ist der Neubau eines PPP-Projektes mit integriertem AURIS-System.

Abbildung 33 Angebotsmodul und Referenzfall der KNA

Angebotsmodul	Neubau eines Gebäudes nach PPP-Modell mit dem AURIS-System
Referenzfall	Neubau eines Gebäudes nach PPP-Modell ohne Investitionsmaßnahme

Mit dem Beginn der Investition beginnt der Betrachtungszeitraum und endet 5 Jahre nach dem Ende der PPP-Projektlaufzeit. Alle anfallenden Kosten und Nutzen, die in diesem Zeitraum anfallen, werden berücksichtigt. Einen Überblick über relevante Indikatoren gibt die nachfolgende Abbildung

Abbildung 34 Indikatoren der Kosten-Nutzen-Analyse

Kostenindikatoren	Betriebswirtschaftliche Kosten: • Kosten für AURIS-Installation
Nutzenindikatoren	Betriebswirtschaftliche Nutzen: • exakte Zustandsbewertung des Gebäudes bei Übergabe • Überprüfung der sachgerechten Vertragsausführung • Wiederaufbaukosten Volkswirtschaftliche Nutzen: • Rettung von Menschenleben

Die betriebswirtschaftlichen Kosten und Nutzen werden mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 1 kalkuliert. Alle anfallenden Kosten im Rahmen einer Katastrophe werden mit der berechneten Eintrittswahrscheinlichkeit für ein Ereignis in der Berechnung zu Grunde gelegt.

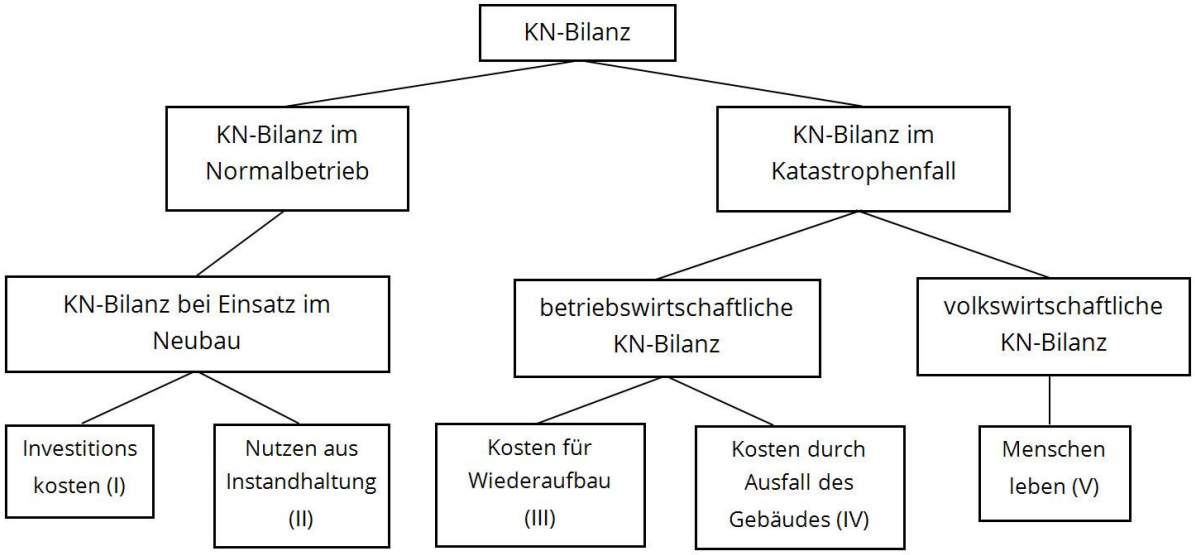
Im Rahmen der Diskontierung wird mit einem festgelegten Zinssatz der Gegenwartswert aller anfallenden Kosten ermittelt. Die Sensitivitätsanalyse gibt wieder, welche kritischen Faktoren Einfluss auf den Erfolg der Investition haben können. Es wird analysiert, wie stark sich die Veränderungen dieser Faktoren auf die Ergebnisse der KNA auswirken. Die zu berücksichtigenden Faktoren sind:

- Nutzenänderungen aus Instandhaltung
- Anzahl an Tagen für Wiederaufbau
- Diskontierungssatz

Mengen- und Wertgerüst

Das Mengen- und Wertgerüst besteht aus 4 betriebswirtschaftlichen und 1 volkswirtschaftlichen Kostenstelle. Einen Überblick gibt die nachfolgende Abbildung.

Abbildung 35 Kostenstellen der Kosten-Nutzen-Bilanz PPP-Projekte



In der betriebswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Bilanz werden alle Kosten erfasst die direkt beim Betreiber anfallen. Ein Nutzen könnte sich im Rahmen der Instandhaltung und Wartung ergeben durch die Reparatur von Schäden oder Bauwerksbeeinträchtigungen nach der Vertragslaufzeit. Insbesondere wenn es sich um Schäden handelt, die ohne das AURIS-System unentdeckt bleiben, da durch das AURIS-System eine exakte Zustandsbewertung des Gebäudes möglich ist.

Die Investition rentiert sich, wenn die Kosten infolge einer Katastrophe geringer ausfallen als beim Referenzfall. Ein Nutzen ergibt sich, wenn der Wiederaufbau aufgrund der exakten Kenntnis des Schadenbildes beschleunigt wird und sich auch die Kosten für den Wiederaufbau in Folge dessen verringern. Die betriebswirtschaftlichen Kosten für den Ausfall des Gebäudes sind im Angebotsmodul und im Referenzfall identisch. Der Unterschied besteht in der Anzahl an Tagen, die die Wiederherstellung benötigt und somit zu einer weiteren Kostenänderung führt.

Neben den betriebswirtschaftlichen Aspekten werden auch volkswirtschaftliche Belange berücksichtigt, die nicht direkt beim Betreiber anfallen. Dabei handelt es sich um externe Kosten, die von der Gesellschaft getragen werden. Das Ziel der AURIS-Entwicklung besteht in der Verbesserung der Informationsgewinnung über das Schadensausmaß und betrifft damit die Verbesserung der Situation für die Rettungskräfte. Abgeleitet von diesem Ziel lässt sich die Verbesserung des Kriteriums Anzahl an Toten und Verletzten herleiten. Die Veränderung dieses Kriteriums spiegelt sich in der Nutzenänderung von Personenschäden wieder. Insbesondere die Anzahl der Toten kann sich insoweit ändern, dass Schwerverletzte schneller behandelt werden und nicht versterben.

Alle Kostenstellen werden sowohl für das Angebotsmodul mit AURIS-System und den Referenzfall ohne Investitionsmaßnahme durchgeführt. Zur besseren Vergleichbarkeit werden am Ende alle berechneten Kostenstellen zusammengefasst und gegenübergestellt.

Die Szenarien Best Case und Worst Case unterscheiden sich vor allem in der definierten Größe der Gebäude. Die Bruttogrundfläche ist im Best Case rund 58.000 m² und im Worst Case 35.000 m². Die Projektlaufzeit ist mit 20 Jahren in beiden Fällen identisch.

Kostenstelle	Formel
Kostenstelle I : Investitionskosten im Neubau	$IG_{Neu} = P_S * n_S + DE + P_{Soft}$ IG_{Neu} = Gesamtinvestitionskosten des AURIS-Systems bei Einsatz im Neubau P_S = durchschnittlicher Preis pro Sensor n_S = Anzahl benötigter Sensoren DE = Kosten für Datenerfassung P_{Soft} = durchschnittlicher Preis für das Softwaresystem
Kostenstelle II : Nutzen aus Instandhaltung	K_{Inst}= RK * SE K_{Inst} = Nutzen aus genutzter Instandhaltung RK = Reparaturkosten SE = Wahrscheinlichkeit das Gewährleistungsschaden eintritt (%)

Kostenstelle	Formel
Kostenstelle III : Kosten für Wiederaufbau	$K_H = PK * \eta$ K_H = Kosten für Wiederaufbau im Katastrophenfall PK = Planungskosten η = Änderungsfaktor für Kosteneinsparung
Kostenstelle IV : Kosten durch Ausfall des Gebäudes	ZK = NF * MP * T ZK = gesamte Zusatzkosten des Gebäudes NF = gesamte zusätzlich gemietete Ersatznutzfläche (in qm) MP = Mietpreis pro qm T = durchschnittliche Anzahl der Tage für Wiederaufbau

Kostenstelle	Formel
Kostenstelle V : Menschenleben	$ML = \alpha_V * V * K_V + \gamma_{To} * To * K_{To}$ ML = Kosten gerettete Menschen pro Unglück α_V = Änderungsfaktor – Verletzte V = durchschnittliche Anzahl an Verletzten pro Unglück K_V = Kosten pro Verletzter γ_{To} = Änderungsfaktor – Tote To = durchschnittliche Anzahl an Toten pro Unglück K_{To} = Kosten pro Todesopfer

3. Ergebnisse

3.1 betriebswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Bilanz im Normalbetrieb

In der Bilanz für den Normalbetrieb wurden die Investitionskosten für das AURIS-System erfasst. Kosteneinsparungen ergeben sich aus Nutzen im Rahmen der Instandhaltung. Für die Berechnung wurde ein jährlicher Kostensatz für Bauschäden ermittelt und mit der Wahrscheinlichkeit für den Eintritt von entdeckten Bauschäden aus Sekundärquellen abgeglichen. Der Wert für die Entdeckung von Mängeln durch das AURIS-System wurde mit 5 und 10 % kalkuliert, um eine breitere Bewertung zu ermöglichen.

Die Ergebnisse zeigen für die untersuchten Fälle gravierende Mehrkosten für den AURIS-Fall gegenüber dem Referenzfall. Die ist vor allem auf die hohen Investitionskosten durch das AURIS-System zurückzuführen. Die Kosten-Nutzen-Verhältnisse liegen zwischen 1100,56 und 359,85.

	Best Case		**Worst Case**	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Investitionskosten	0,00 €	14.895.798,00 €	0,00 €	10.406.300,00 €
Nutzen aus Instandhaltung (5 %)	20.696,98	0,00 €	9.455,48 €	0,00 €
Gesamtkosten	**20.696,98**	**14.895.798,00 €**	**9.455,48 €**	**10.406.300,00 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**+ 14.875.101,02 €**		**+ 10.396.844,52 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**719,71**		**1100,56**	

	Best Case		**Worst Case**	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Investitionskosten	0,00 €	14.895.798,00 €	0,00 €	10.406.300,00 €
Nutzen aus Instandhaltung (10 %)	41.393,97 €	0,00 €	18.910,97 €	0,00 €
Gesamtkosten	**41.393,97 €**	**14.895.798,00 €**	**18.910,97 €**	**10.406.300,00 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**+ 14.854.404,03 €**		**+ 10.387.389,03 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**359,85**		**550,28**	

3.2 Kosten-Nutzen-Bilanz im Katastrophenfall

Bei Eintritt einer Katastrophe sind im Best und im Worst Case die anfallenden Kosten im AURIS-Fall stets niedriger als im Referenzfall. Die Einsparung betragen in absoluten Zahlen 383.691,44 € und 230.112,04 €. Unter Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeit und Diskontierung liegen die Werte bei 240,80 € und 144,41 €. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis liegt im Best und im Worst Case bei 0,69. Der Einsatz des AURIS-Systems ist im Falle einer Katastrophe gegenüber dem Referenzfall wirtschaftlich sinnvoll.

	Best Case		**Worst Case**	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Betriebswirtschaftliche Bilanz				
Wiederaufbaukosten	4.865,14 €	486,51 €	3.497,08 €	349,71 €
Kosten durch Ausfall des Gebäudes	25.129,27 €	18.846,95 €	11.480,39 €	8.610,50 €
Volkswirtschaftliche Bilanz				
Menschenleben	9.020,46 €	7.641,45 €	8.141,84 €	6.938,55 €
Gesamtkosten	**39.014,87 €**	**26.974,91 €**	**23.119,31 €**	**15.898,76 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**-12.039,96 €**		**-7.220,54 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**0,69**		**0,69**	

Kosten und Nutzen sind unter Einbezug der Eintrittswahrscheinlichkeit dargestellt.

3.3 Kosten-Nutzen-Bilanz insgesamt

Abschließend werden nun die Ergebnisse aus den betriebs- und volkswirtschaftlichen Teilbilanzen in einer Gesamtbilanz zusammengefasst und zwischen Angebotsfall und Referenzfall verglichen. Die erwirtschaften Nutzen aus den Kostenstellen im Falle einer Katastrophe verbessern das Kosten-Nutzen-Verhältnis aus der betriebswirtschaftlichen Bilanz leicht. Das AURIS-System führt gegenüber dem Referenzfall aber weiterhin zu gravierenden Mehrkosten und einem negativen Kosten-Nutzen-Verhältnis zwischen 1049,28 und 353,21. Wie bereits in der betriebswirtschaftlichen Teilbilanz ist dieses Ergebnis auf die hohen Investitionskosten des AURIS-Systems zurückzuführen.

	Best Case		**Worst Case**	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Investitionskosten	0,00 €	14.895.798,00 €	0,00 €	10.406.300,00 €
Betriebskosten (5 %)	20.696,98	0,00 €	9.455,48 €	0,00 €
Kosten im Falle einer Katastrophe	**39.014,87 €**	**26.974,91 €**	**23.119,31 €**	**15.898,76 €**
Gesamtkosten	**59.711,85 €**	**14.922.772,91 €**	**32.574,79 €**	**10.422.198,76 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**+14.863.061,06 €**		**+ 10.389.623,97 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**249,9**		**319,9**	

	Best Case		**Worst Case**	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Investitionskosten	0,00 €	14.895.798,00 €	0,00 €	10.406.300,00 €
Betriebskosten (10 %)	41.393,97 €	0,00 €	18.910,97 €	0,00 €
Kosten im Falle einer Katastrophe	780,30 €	539,50 €	462,39 €	317,97 €
Gesamtkosten	**42.174,26 €**	**14.896.337,50 €**	**19.373,35 €**	**10.406.617,97 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**+ 14.854.163,23 €**		**+ 10.387.244,62 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**353,21**		**537,16**	

Die Ergebnisse liegen in einer Höhe, dass zunächst eine wirtschaftliche Nutzung in diesem Szenario ausgeschlossen werden kann. Vorteilhaft ist eine Maßnahme, wenn das Kosten-Nutzen-Verhältnis bei deutlich unter 1 liegt. Werte in Höhe von mehreren Hundert weisen auf eine mangelnde Wirtschaftlichkeit des Einsatzes für diesen konkreten Zweck hin. Allerdings ist anzumerken, dass dies nur auf das hier untersuchte Anwendungsszenario bezogen werden kann. Das eigentliche Problem, dass diese Werte offen legen, ist der Mangel an einem konkreten Nutzen bzw. einer Value Proposition für den gegebenen Einsatzzweck im Rahmen von PPP-Projekten. Die genannten Aspekte genügen für einen wirtschaftlichen Einsatz nicht.

IV. Kühlturm

1. Szenario

Als ein Beispiel für industrielle Anwendungen wurde die Nachrüstung eines Kühlturms mit dem AURIS-System untersucht. Das Szenario geht hierbei davon aus, dass Beschädigungen am Turm vorliegen, jedoch nicht klar ist, ob dieser für die verbleibenden Jahre der Laufzeit eines konventionellen Kraftwerks weiter betrieben werden kann. Die Alternative besteht im Neubau des Kühlturms, obgleich das Kraftwerk nur noch für einen definierten Restzeitraum in Betrieb bleibt. Im Szenario wird weiterhin davon ausgegangen, dass anhand der tiefgehenden Erkenntnisse aus dem AURIS-System eine Verlängerung der Nutzungsdauer möglich sein wird.

2. Forschungsansatz Nachrüstung

Die Analyse bezieht sich auf die betriebswirtschaftlichen Aspekte im Normalbetrieb. Das Angebotsmodul ist als Nachrüstung eines bereits bestehenden Kühlturmes mit dem AURIS-System definiert.

Abbildung 36 Angebotsmodul und Referenzfall der KNA

Angebotsmodul	Nachrüstung eines Kühlturms mit dem AURIS-System
Referenzfall	Kühlturm ohne Investitionsmaßnahme

Mit Beginn der Investitionsmaßnahme beginnt der Untersuchungszeitraum und endet mit dem Ende der Nutzungsdauer. Alle Kosten die in diesem Zeitraum anfallen werden berücksichtigt. Die nachfolgende Abbildung gibt die relevanten Indikatoren wieder.

Abbildung 37 Indikatoren der Kosten-Nutzen-Analyse

Kostenindikatoren	Betriebswirtschaftliche Kosten: • Kosten für AURIS-Nachrüstung
Nutzenindikatoren	Betriebswirtschaftliche Nutzen: • Verlängerung der Nutzungsdauer • Kostensenkung für Wartung

Die gesamten Kosten und Nutzen werden mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 1 angenommen, da sie im Betrachtungszeitraum anfallen. Im Rahmen der Diskontierung wird der Gegenwartswert aller anfallenden Kosten anhand eines festen Zinssatzes berechnet. Die Wartungskosten werden als jährlich anfallende, einmalige Zahlung aufgezinst.

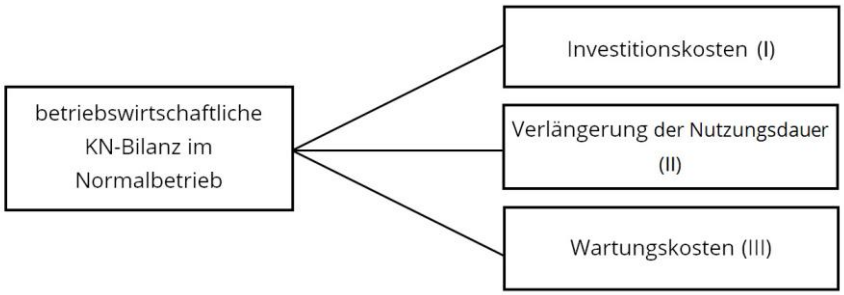
Durch die Sensitivitätsanalyse wird ermittelt, wie stark sich die Veränderung von kritischen Faktoren auf die Ergebnisse der KNA auswirkt. Zu den kritischen Faktoren zählen:

- Veränderung des Wartungskostensatzes
- Diskontierungssatz

Mengen- und Wertgerüst

Das Mengen- und Wertgerüst umfasst 3 Kostenstellen, die die betriebswirtschaftlichen Aspekte im Normalbetrieb wiederspiegeln. Volkswirtschaftliche Faktoren werden nicht erfasst.

Abbildung 38 Kostenstellen der Kosten-Nutzen-Bilanz Kühlturm



Das AURIS-System wird im betrachteten Szenario kurz vor Ende der ursprünglich geplanten Nutzungsdauer eingebaut. Die verbleibende Nutzungsdauer ist im Best Case 6 Jahre und im Worst Case 3 Jahre. In beiden Szenarien wird mit einer verlängerten Nutzungsdauer von 2 Jahren kalkuliert.

Kosteneinsparungen entstehen durch die Änderung der Wartungskosten. Durch das AURIS-System ist eine kontinuierliche Überwachung des Bauwerkes möglich. Im Rahmen der Verlängerung der Nutzungsdauer ist eine weitere Kosteneinsparung gegeben. Insbesondere wenn sich das Bauwerk seinem Nutzungsende annähert, ist eine Aussage über den Zustand und ob es noch weitere Jahre betrieben werden kann relevant. Besonders dann, wenn das zugehörige Kraftwerk in wenigen Jahren seinen Betrieb einstellt und eine Investition in einen Kühlturmneubau nicht mehr als sinnvoll erscheint.

Kostenstellen	Formel
Kostenstelle I : Investitionskosten des AURIS-Systems	$IB_{Nach} = P_S * n_S + DE + P_{Soft} + K_I$ IB_{Nach} = Gesamtinvestitionskosten des AURIS-Systems bei Nachrüstung am Bauwerk P_S = durchschnittlicher Preis pro Sensor n_S = Anzahl benötigter Sensoren DE = Kosten für Datenerfassung P_{Soft} = durchschnittlicher Preis für das Softwaresystem KI = Kostenpauschale für die Installation des AURIS-Systems
Kostenstelle II : Verlängerung der Nutzungsdauer	$NV = ND_G * $ □ NV = Verlängerung der Nutzungsdauer ND_G = verbleibende Nutzungsdauer □ = Änderungsfaktor für Verlängerung der Nutzungsdauer

<u>Kostenstelle III :</u> <u>Wartungskosten</u>	$Wk_{Kühl} = L * (I_{Jahr} - I_{erwartet})$ $Wk_{Kühl}$ = Wartungskosten des Kühlturmes L = verbleibende Lebensdauer des Bauwerks I_{Jahr} = jährlicher Investitionskostensatz (%) $I_{erwartet}$ = erwartete jährliche Investitionskosteneinsparung (%)

3. Ergebnisse Kühlturm Nachrüstung

Die betriebswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Bilanz zeigt sowohl im Best Case und im Worst Case ein positives Kosten-Nutzen-Verhältnis von 0,43 und 0,46. Die größte Kostenersparnis ergibt sich im Bereich der Verlängerung der Nutzungsdauer. Die Differenz zwischen AURIS-Fall und Referenzfall ergibt sich vor allem durch die Einsparung der Herstellungskosten für den Bau eines neuen Kühlturms. Der Einsatz des AURIS-Systems erscheint somit als sinnvoll, wenn es vor allem darum geht die Nutzungsdauer eines Kühlturmes zu verlängern und den Betrieb eines Kraftwerkes für die letzten Jahre bis zu Abschaltung zu gewährleisten.

	Best Case		**Worst Case**	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Investitionskosten	0,00 €	91.000,00 €	0,00 €	91.000,00 €
Verlängerung Nutzungsdauer	23.781.695,19 €	7.528.514,11 €	23.781.695,19 €	7.946.764,89 €
Wartungskosten	5.730.528,60 €	5.157.475,74 €	5.730.528,60 €	5.444.002,17 €
Gesamtkosten	**29.512.223,79 €**	**12.776.989,85 €**	**29.512.223,79 €**	**13.481.767,06 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**-16.735.233,94 €**		**-16.030.456,73 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**0,43**		**0,46**	

Die Berechnungen zeigen für den untersuchten Fall ein deutlich positives Ergebnis der KNA. Jedoch ist darauf hinzuweisen, dass dies nicht ohne weiteres auf andere Nutzungsszenarien übertragen werden kann. Entscheidend ist die Frage, wie hoch der Nutzen ist bzw. welche Kosten im Referenzfall auftreten. Gerade an diesem Punkt ist das aufgezeigte Szenario, dass uns im Rahmen der qualitativen Interviews genannt wurde, besonders relevant, da die Alternative im Neubau besteht.

V. Offshore-Fundamente

1. Szenario

Im Rahmen der Marktanalyse erwies sich speziell das Repowering von Fundamenten von Offshore-Windenergieanlagen als relevanter, und nicht bereits besetzter Anwendungsbereich. Im verwendeten Szenario wird Neubau eines Offshore-Fundamentes mit integriertem AURIS-System mit einem Neubau ohne AURIS-System (Referenzfall) verglichen.

2. Forschungsansatz Neubau

Im Segment Offshore-Fundamente wird eine KNA im Rahmen des betriebswirtschaftlichen Normalbetriebs untersucht. Das Angebotsmodel wird definiert als neugebautes Offshore-Fundament mit integriertem AURIS-System.

Abbildung 39 Angebotsmodul und Referenzfall der KNA

Angebotsmodul	Offshore-Fundament mit AURIS-System
Referenzfall	Offshore-Fundament ohne Investitionsmaßnahme

Der Untersuchungszeitraum beginnt mit dem Beginn der Investitionsmaßnahme und endet mit dem Ende der Nutzungsdauer. Fallen in dieser Zeit Kosten und Nutzen an, werden diese innerhalb der Kosten-Nutzen-Betrachtung berücksichtigt. Einen Überblick über relevante Indikatoren gibt die nachfolgende Abbildung.

Abbildung 40 Indikatoren der Kosten-Nutzen-Analyse

Kostenindikatoren	Betriebswirtschaftliche Kosten: • Herstellungskosten des Offshore-Fundament • Kosten für AURIS-Installation
Nutzenindikatoren	Betriebswirtschaftliche Nutzen: • Verlängerung der Nutzungsdauer des Fundamentes (Repowering)

Die gesamten Kosten und Nutzen werden mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 1 angenommen, da sie im Betrachtungszeitraum anfallen. Durch die Diskontierung wird der Gegenwartswert aller anfallenden Kosten anhand eines festen Zinssatzes berechnet.

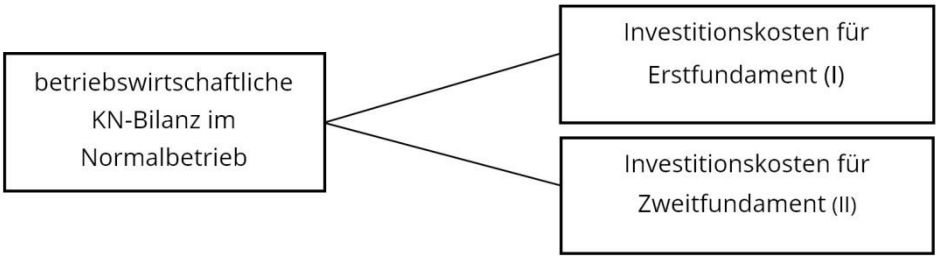
Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird ermittelt, wie stark die Ergebnisse beeinflusst werden durch die Veränderung von kritischen Faktoren. Zu den kritischen Faktoren zählen:

- Kosten für das AURIS-System
- Nutzungsdauer Windenergieanlage
- Diskontierungssatz

Mengen- und Wertgerüst

Das Wertgerüst umfasst 2 Kostenstellen, in denen betriebswirtschaftlichen Aspekte im Normalbetrieb erfasst werden. Volkswirtschaftliche Aspekte werden nicht berücksichtigt.

Abbildung 41 Kostenstellen der Kosten-Nutzen-Bilanz Offshore-Fundamente



Im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Betrachtung geht es vor allem um die verlängerte Nutzung der Fundamente. Die Nutzungsdauer für die technischen Komponenten einer Windenergieanlage liegt zwischen 20 und 25 Jahren. Die Nutzungsdauer der Fundamente liegt demgegenüber bei ca. 50 Jahren. Im Zusammenhang mit Repowering könnte eine weitere Windenergieanlage angebracht werden. Die Kostenersparnis ergibt sich dann durch die entfallenden Kosten für den Abbruch des bisherigen Fundaments und das neue Fundament für die nachfolgende Windenergieanlage. Im Rahmen der Wartung wären weitere Kosteneinsparungen denkbar, aufgrund der Datenlage und bereits existierender Monitoringvarianten für die Überwachung von Windenergieanlagen wird dieser Ansatz nicht weiter verfolgt.

Die Fundamente sind als Schwerkraftfundamente definiert. Im Best Case wird von einem Fundament in Wassertiefen von mehr als 20m mit einer Mantelfläche von 3151 m² ausgegangen. Die Lebensdauer der ersten installierten Windenergieanlage ist auf 25 Jahre definiert. Im Worst Case handelt es sich um ein Fundament für Wassertiefen kleiner 20m und einer Mantelfläche von 896 m². Die Lebensdauer ist auf 20 Jahre festgelegt.

Kostenstellen	**Formel**
<u>Kostenstelle I :</u> <u>Investitionskosten Erstfundament</u>	$IF_E = P_S * n_S + DE + P_{Soft}$ IF_E = Gesamtinvestitionskosten des Erstaufbaus des Fundamentes P_S = durchschnittlicher Preis pro Sensor n_S = Anzahl benötigter Sensoren DE = Kosten für Datenerfassung P_{Soft} = durchschnittlicher Preis für das Softwaresystem
<u>Kostenstelle II :</u> <u>Investitionskosten Zweitfundament</u>	$IF_Z = FK + AK$ IF_Z = Gesamtinvestitionskosten des Zweitaufbaus des Fundamentes FK = Kosten für Zweitfundament AK = Abbruchkosten für erstes Fundament

3. Ergebnisse

Zur Berechnung der Investitionskosten für das erste Fundament wurde je Szenario davon ausgegangen, dass pro Quadratmeter Fundamentfläche ein Sensor installiert wird. Dies führt dazu, dass die Kosten für das AURIS-System doppelt so hoch sind wie die Kosten für das

eigentliche Betonfundament. Im Best Case sind trotz der hohen Installationskosten Kosteneinsparungen durch das Entfallen des Zweitfundaments von 477.973,19 € möglich. Im Worst Case kommt es dagegen zu Mehrkosten durch den Einsatz des AURIS-Systems. Kann aber beispielsweise die Verteilungsdichte der Sensoren auf alle 1,5 m erweitert werden, entsteht in der KNA auch für den Worst Case ein positives Kosten-Nutzen-Verhältnis von 0,76. Es zeigt sich, dass der Einsatz des AURIS-Systems für Fundamente von Offshore-Windenergieanlagen durchaus wirtschaftlich vorteilhaft ist.

	Best Case		**Worst Case**	
	Referenzfall	mit AURIS	Referenzfall	mit AURIS
Investitionskosten Erstfundament	0,00 €	3.153.005,78 €	0,00 €	897.663,88 €
Investitionskosten Zweitfundament	3.630.978,97 €	0,00 €	784.169,75 €	0,00 €
Gesamtkosten	**3.630.978,97 €**	**3.153.005,78 €**	**784.169,75 €**	**897.663,88 €**
Kosten-Nutzen-Differenz	**-477.973,19 €**		**+ 113.494,12 €**	
Kosten-Nutzen-Verhältnis	**0,87**		**1,14**	

F. SWOT-Analyse und Fazit

1. Forschungsansatz

Eine SWOT – Analyse umfasst sowohl eine Stärken-Schwächen-Analyse als auch eine Chancen-Risiko-Analyse und soll die strategischen internen als auch externen Herausforderungen beleuchten, die es zu bewältigen gilt. Ziel ist es, aus der Situationsanalyse heraus strategische Ziele und Maßnahmen abzuleiten und diese zu realisieren.

Folgende Aspekte werden dabei hinterfragt:

- **Interne Faktoren (Fähigkeiten und Ressourcen):**

  Stärken: Wo liegen die Kernkompetenzen? Wo liegt der Leistungsvorsprung?

  Schwächen: Welcher Entwicklungsbedarf muss noch erfüllt werden?

- **Externe Faktoren (Trends und Veränderungen in der Umgebung).**
  Chancen: Wo ergeben sich Chancen für das Analyseobjekt, sei es auf Basis der bestehenden Stärken oder Eliminierung erkannter Schwächen?
  Risiken: Welche Bedrohungen sind auf Basis externer Faktoren und der eigenen Schwächen zu erwarten? Wie können diese durch Abbau von Schwächen oder den Einsatz der Stärken minimiert werden?

Anhand einer Matrix können die entsprechenden Strategieziele dargestellt werden:

Abbildung 42 SWOT-Analyse

SWOT - Analyse		**Interne Faktoren** (Beeinflussbar)	
		Stärken (Strengths)	**Schwächen (Weakness)**
Externe Faktoren (Nicht beein-flussbar)	**Chancen (Oppor-tunities)**	*Strategische Zielsetzung für S-O:* Durch den Einsatz der eigenen Stärken sollen Chancen eröffnet werden	*Strategische Zielsetzung für W-O:* Erkannte Schwächen sollen eliminiert werden, um neue Möglichkeiten zu nutzen
	Risiken (Threats)	*Strategische Zielsetzung für S-T:* Durch den Einsatz eigener Stärken sollen Bedrohungen reduziert oder ausgeglichen werden	*Strategische Zielsetzung für W-T:* E werden Verteidigungs-strategien entwickelt, um vorhandene Schwächen nicht zum Ziel von Bedrohungen werden zu lassen

Mittels der Marktsegmentierung, der Marktanalyse sowie der Wettbewerbsanalyse und der Kosten-Nutzenanalyse wurden zahlreiche Indikatoren ermittelt, auf deren Basis eine umfassende Beurteilung der Technologie aus verschiedenen marktseitigen Perspektiven möglich wird. Diese Aspekte werden im Rahmen der SWOT-Analyse zusammengefasst und bewertet.

2. Transport und Verkehr: Brücken

Stärken: Die Stärke der AURIS-Technologie liegt in diesem Marktsegment zunächst darauf, dass es im Falle einer möglichen Verlängerung der Nutzungsdauer einer Brücke zu klaren wirtschaftlichen Nutzen kommt, die auch im Normalbetrieb auftreten. Neben der Nutzungsverlängerung kommen weiterhin Aspekte wie Wartungsoptimierung und Priorisierung von Reparaturen oder Ersatzneubauten zum Tragen. Alles zusammen führt dies zu einer positiven Kosten-Nutzen-Bilanz, unabhängig vom Eintritt etwaiger Katastrophen.

Schwächen: Eine Schwäche der Technologie sind die hohen, mit dem Einbau verbundenen Investitionskosten. In den analysierten Fallkonstellationen lagen diese zwischen 200.000 € und 9 Mio € pro Brücke. Zwar kam es in den meisten analysierten Szenarien dennoch zu einer positiven Gesamtbilanz, wenn dabei die gesamte Nutzungsdauer berücksichtigt wird, jedoch sind die Investitionskosten gleichwohl Liquiditäts-belastend.
Eine weitere Schwäche besteht darin, dass Kosten und Nutzen der Technologie zeitlich erheblich auseinanderfallen. Es muss also die Bereitschaft vorhanden sein, im Hinblick auf zukünftige Vorteile schon heute entsprechende Mehrkosten in Kauf zu nehmen.

Als Schwäche ist auch zu interpretieren, dass die Vorteilhaftigkeit der Maßnahme bei einem Neubau wesentlich eindeutiger ist, als im Fall der Nachrüstung. Bei letzterer sind verschiedene Faktoren zu beachten, um vorab Aussagen über die Sinnhaftigkeit einer Investitionsmaßnahme treffen zu können.

Chancen: Eine erhebliche Chance besteht darin, dass mit der Technologie eine vorhandene Problemlage des Marktes adressiert wird, die derzeit gerade aktuell ist. Durch die Alterung von Brückenbauwerken sowie die zunehmende Belastung besteht an vielen Stellen in Europa Bedarf an einer genauen Kenntnis der Resttragfähigkeit sowie der damit möglichen Priorisierung. Insgesamt trifft damit eine (wie in der Marktanalyse festgestellte) positive Sicht der Marktteilnehmer mit einem realen Bedarf zusammen.

Risiken: Es ergeben sich auch einige Risiken. So setzen die Investitionskosten grundsätzlich die Bereitschaft sowie die Möglichkeit voraus, höhere Herstellungskosten in Kauf zu nehmen. Dieses Risiko scheint zwar in Anbetracht der aktuellen Problemlage weniger im Vordergrund zu stehen. Es ist dabei aber auch zu berücksichtigen, dass sich das Interesse der Marktteilnehmer besonders auf die Nachrüstung und den problemorientierten Einsatz ausgerichtet ist. Gerade in der Nachrüstung ist das System aber weniger wirtschaftlich, als beim Neubau. Darüber hinaus kommt die Höhe des Nutzens stark auf die tatsächliche Möglichkeit einer Nutzungsverlängerung und deren Länge an. Erst bei einer Nutzungsverlängerung von 10 Jahren kann vergleichsweise sicher von einer positiven Gesamtbilanz ausgegangen werden. Ansonsten hängt das Ergebnis stark vom individuellen Bauwerk ab.

Ein Risiko besteht weiterhin darin, dass eine Nutzungsverlängerung des Bauwerks und damit ein wirtschaftlicher Nutzen pauschal nicht zuverlässig vorausgesetzt werden können. Vielmehr kommt es hierbei auf exteren Faktoren des Bauwerks an und das AURIS-System stellt vielmehr nur eine Möglichkeit zu deren Bewertung dar.

Ein letztes Risiko ist darin zu sehen, dass gerade der Neubau und damit das Monitoring über den gesamten Life-Cycle besonders wirtschaftlich sind. Dies ist zwar eine Sichtweise, die nach den Ergebnissen der Marktanalyse wohl auf dem Vormarsch ist. Jedoch ist dies noch keineswegs allgemein verbreitet. Die Akzeptanz dieses Ansatzes stellt damit auch eine Bedingung dar.

Fazit: Trotz durchaus vorhandener Risiken wird die Entwicklung im Markt insgesamt sehr positiv beurteilt. Da diese Tatsache mit einem konkreten Bedarf zusammentrifft, gehen wir gleichwohl von guten Voraussetzungen für einen späteren Einsatz der Technologie im Markt aus. Hierbei ist das Marktsegment auch als „Early Adopter“ geeignet, sollte eine Einführung zu einem späteren Zeitpunkt erwogen werden.

Für die weitere Entwicklung der Technologie empfehlen wir auf Basis der vorgenannten Erkenntnisse, die Möglichkeiten der Nachrüstung weiter zu verbessern und ggf. nach Möglichkeiten zu suchen, eine Nachrüstung preisgünstiger zu gestalten. In dem Feld der problemorientierten Anwendung sehen wir kurzfristig das größte Marktpotenzial, für dessen Erschließung jedoch eine weitere Optimierung nötig ist. Der Neubau ist dagegen ein Feld, auf dem schon heute von einer Eignung ausgegangen werden kann. Hier könnte eine weitere Absicherung erreicht werden, in dem die Akzeptanz von Life-Cycle-bezogenen Bewertungen gesteigert wird.

3. ITK: Netzknoten und Hochverfügbarkeitsrechenzentren

Stärken: Neben dem Marktsegment der Brücken stellt sich auch bei Hochverfügbarkeitsrechenzentren sowie bei Netzknoten der Telekommunikation ein Nutzen im Normalbetrieb dar. Dies ist zum einen von hoher Bedeutung für die Bereitschaft potenzieller Anwender zum Einsatz sowie andererseits für das Erreichen einer positiven Kosten-Nutzen-Bilanz. Selten auftretende Nutzen werden hierbei nämlich geringer bewertet als mit Sicherheit eintretende Nutzen. Letztere sind hier in erheblichem Umfang gegeben. Im Fall von großen Rechenzentren ist dieser Nutzen sogar besonders hoch.
Eine Stärke ist ferner, dass Kosten und Nutzen auf Anwenderseite nicht zeitlich auseinanderfallen, wie dies sonst häufig der Fall ist. Nach Durchführung der Maßnahme treten, z.B. durch Optimierung von Lastgrenzen, sofort klare Nutzen auf. Diese werden zusätzlich ergänzt, durch einen volkswirtschaftlichen Sicherheitsgewinn durch Schutz wichtiger kritischer Infrastruktur.

Schwächen: Die Schwächen liegen auch hier in den erheblichen Investitionskosten. Im Falle eines großen Rechenzentrums werden, wie in unserem Beispiel, leicht mehrere Millionen € erreicht.

Chancen: Wie schon bei den Brücken treffen auch hier eine positive Sicht des Marktes mit einem potenziellen Bedarf zusammen. Zusätzlich ist in diesem Marktsegment aber bereits eine umfassende Bereitschaft für Monitoring vorhanden. Gerade durch die realisierbaren Last-Optimierungen lassen sich zusätzliche Einnahmen erwirtschaften, was zu einer besonders hohen Bereitschaft für den Einsatz führt.

Risiken: Ein Risiko besteht hier in der Frage, ob oder wie gut eine Nachrüstung in Bestandsbauten möglich ist. Anders als beim Neubau kann sicher nicht von Idealbedingungen ausgegangen werden. Der Neubau ist aber ein weniger relevantes Szenario.
Ein weiteres Risiko besteht darin, dass die wirtschaftliche Konstellation große Rechenzentren begünstigt, für kleinere oder mittlere Rechenzentren jedoch weniger attraktiv ist. Gerade sehr große Rechenzentren sind aber in etwas geringerer Anzahl vorhanden als kleine und mittlere.

Fazit: Allein aus betriebswirtschaftlichen Gründen ist der Einsatz in großen Hochverfügbarkeitsrechenzentren sehr sinnvoll. Da auch die Marktsicht in diese Richtung geht, sehen wir dieses Marktsegment ebenfalls als sehr gut geeignet für eine zukünftige Anwendung der Technologie. Das Interesse der Befragten zeigt auch, dass eine Anwendung als „Early Adopter“ wohl erfolgversprechend erscheint. Zwar werden große Rechenzentren hierbei begünstigt. Jedoch sind diese aufgrund ihrer schieren Größe durchaus auch ein relevanter Markt, wenn man auch mit einer geringeren Gesamtzahl rechnen muss. Die Eröffnungspläne der letzten Jahre zeigen weiter, dass ein Trend zu immer größeren Rechenzentren geht und hierbei fast immer Bestandsbauten, wie alte Fabrikgelände, genutzt werden. Insgesamt sehen wir daher in diesem Marktsegment gute Möglichkeiten bei vergleichsweise geringen Risiken. Auch ist der Bedarf an weiteren Modifikationen vergleichsweise gering. Es muss lediglich die Möglichkeit zur Nachrüstung in Bestandsbauten bestehen.

4. Office-Gebäude / Office-Gebäude als PPP-Projekte

Stärken: Es besteht im Rahmen von PPP-Projekten zum Zeitpunkt des Eigentumsübergangs ein Interesse, den Zustand des Bauwerks genau zu kennen und gff. verdeckte Mängel zu erkennen.

Schwächen: Tatsächlich erwarten viele Befragte jedoch kaum verdeckte Mängel. Insgesamt wird bei bestehenden Bauten kaum mit größeren Veränderungen in der Struktur gerechnet. Wie bei diesem Aspekt ist bei den meisten denkbaren Nutzen im Rahmen des PPP-Anwendungsszenarions mit einer geringen Eintrittswahrscheinlichkeit zu rechnen, wodurch denkbare Nutzen im Endeffekt nicht in einem sinnvollen Verhältnis zu den erforderlichen Investitionskosten stehen. Konkrete wirtschaftliche Nutzen sind für diesen Anwendungsfall nicht zu erkennen.

Chancen: Wenn seitens der Befragten ein Nutzen in der Verwendung der AURIS-Technologie gesehen wurde, bezog sich dieser häufig auf den Aspekt, auf einer Augenhöhe und dem selben Informationsstand mit dem PPP-Nehmer sprechen zu können. Dies ist mit der AURIS-Technologie durchaus möglich.

Risiken: Jedoch läßt sich dieser Nutzen anders als mit dem Szenario verdeckter Mängel kaum monetär darstellen. Insgesamt ist daher festzuhalten dass es an konkreten, wirtschaftlich vorteilhaften Nutzen des AURIS-Systems im Rahmen dieses konkreten Verwendungszenarios mangelt.

Fazit: Aus Marktsicht ist es nicht so, dass eine potenzielle Verwendung der Technologie negativ gesehen wird. Entscheident ist im Endeffekt aber das Vorhandensein eines klaren Nutzens. Dieser ist bei PPP-Projekten vielleicht noch eher zu erkennen, als bei Bürogebäuden in klassischer Finanzierungsform. Insgesamt ist dieser Nutzen aber derzeit nicht hinreichend, damit von einer Verwendung ausgegangen werden kann. Es ist nicht auszuschließen, dass in diesem Szenario potenzielle Nutzen bestehen, die mittels der hier verwendeten empirischen Methoden nicht aufgedeckt werden konnten. In jedem Fall ist aber diesem Szenario nur dann eine wirtschaftliche Relevanz beizumessen, wenn für potenzielle Verwender klar erkennbare Nutzen weiter herausgearbeitet oder neu aufgedeckt werden. Im aktuellen Stadion beurteilen wir dieses Anwendungsfeld als weniger geeignet für eine spätere Verwendung.

5. Offshore Windkraftanlagen

Stärken: Die Verwendung des AURIS-Systems im Rahmen des Repowerings von Fundamenten kann bei entsprechender technischer Fallkonstellation durchaus zu relevanten Einsparungen führen.

Schwächen: Eine Schwäche liegt darin, dass bei der aktuell angenommenen Sensordichte Kosten und Nutzen nah beieinander liegen und letztlich die Rahmenbedingungen des Szenarios darüber entscheiden, ob die Maßnahme wirtschaftlich sinnvoll ist.

Chancen: Da am Turm bereits umfassendes Monitoring stattfindet, ist dieses ein eingeführtes Konzept in diesem Marktsegment. Die wenigen erreichbaren Beurteilungen deuten ferner ein grundsätzliches Interesse an.

Risiken: Das größte Risiko stellt die aktuelle Gesamtsituation der Branche dar. Aufgrund wechselnder Rahmenbedingungen ist die Bereitschaft zur Einführung zusätzlicher Investitionen – trotz grundsätzlichen Interesses - derzeit eher gering ausgeprägt. Ein weiteres Risiko besteht darin, dass das Monitoring der bestehenden Anlagen bereits heute durch die etablierten

Anlagenhersteller realisiert wird. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass hier ein zukünftiger Wettbewerb entstehen könnte.

Fazit: Aktuell bewerten wir dieses Marktsegment als nicht geeignet für eine Einführung. Dies könnte sich jedoch durchaus ändern. Hierfür sind zwei Bedingungen entscheidend: Zum einen sollte die Technologie in Richtung einer Reduzierung der Sensordichte weiterentwickelt werden, bevor ein Markteintritt erwogen wird. Hierdurch kann ein erheblicher Wirtschaftlichkeitsgewinn erzielt werden, der wiederum zu einer höheren Attraktivität für potenzielle Verwender führt. Zum anderen sollte eine investitionsfreudigere Stimmung in der Branche hinzutreten, bevor der Einsatz der AURIS-Technologie ernsthaft erwogen wird.

6. Industrielle Anwendungen / Konventionelle Kraftwerke

Stärken: Der angestrebte Nutzen im Rahmen des untersuchten Szenarios ist die Verlängerung der Nutzungsdauer eines Kühlturms. Soweit diese tatsächlich erreicht werden kann und die Alternative ein Neubau oder kostenintensive Sanierungen sind, kann durch den Einsatz tatsächlich ein beträchtlicher wirtschaftlicher Nutzen im Normalbetrieb erreicht werden. Auch die Kosten-Nutzen-Bilanz fällt positiv aus.

Schwächen: Ob tatsächlich eine Verlängerung der Nutzungsdauer möglich ist, kann nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden. Zwar ermöglicht die AURIS-Technologie die Beurteilung der Frage, ob eine Nutzungsverlängerung vertretbar ist. Jedoch hängen die Tatsachen selbst von anderen Aspekten ab, die durch AURIS nicht zu beeinflussen sind.
Weiterhin wird im untersuchten Szenario ein erheblicher Nutzen erreich, da sich die Alternative besonders kostenintensiv darstellt. Diese Situation ist nicht ohne weiteres auf jede andere Verwendung übertragbar.

Chancen: Soweit die Marktteilnehmer für ihren Fall ein sinnvolles Verhältnis von Kosten und Nutzen erkennen, kann das System dies auch mit einer relevanten Wahrscheinlichkeit umsetzen.

Risiken: Das Problem für das konkret untersuchte Szenario besteht darin, dass ein Vorteil in der Kosten-Nutzen-Bilanz zwar messbar, von Seite potenzieller Verwender aber nicht angenommen wurde. Weiterhin zeigte sich die Ausrichtung der Branche eher auf Kostenvermeidung als auf langfristige Nutzenvorteile konzentriert.

Fazit: Der Anwendungsfall Kühltürme wurde als Beispiel für vielfältige denkbare Anwendungen in industriellem Kontext untersucht. Es zeigte sich dabei, dass es neben dem untersuchten Fall wohl große Mengen denkbarer Anwendungsszenarios gibt. Es zeigte sich jedoch auch, dass der Erfolg hiervon sehr stark auf das jeweilige Szenario ankommt. So viel die Bewertung in dieser Untersuchung sehr positiv aus, weil die alternative besonders kostenintensiv ausfällt. In anderen Fallkostellationen kann der Nutzen dagegen eher im Vordergrund stehen.

In der Gesamtschau erscheint uns eine Anwendung im Rahmen des konkret untersuchten Szenarios zwar denkbar, jedoch nicht als „Early Adopter“ geeignet. Für einen Einsatz wäre viel Überzeugungsarbeit notwendig und das Szenario selbst wird möglicher Weise auch nur in begrenzter Häufigkeit auftreten.

Für das Segment der industriellen Anwendungen im Allgemeinen, unabhängig vom konkreten Beispiel aus dem Energiebereich, kann aber durchaus mit geeigneten Anwendungen gerechnet werden. Diese sind aus externer Perspektive aber zunächst schwer zu identifizieren. Liegt ein konkreter Anwendungsfall vor, ist das Szenario genauestens zu untersuchen. Hierbei sollte

besonders auf den wirtschaftlichen Nutzen im Normalbetrieb geachtet werden. Zum einen führt dieser schnell zu einer Wirtschaftlichkeit des Einsatzes und erhöht damit das Interesse der relevanten Akteure am Einsatz. Selbst dann, wenn der primäre Nutzen nur im Katastrophenfall zum tragen kommt, ist aber ein hinzutretender Nutzen im Normalbetrieb von hoher Bedeutung für die Wahrscheinlichkeit der Anwendung der Technologie.

G. Verwertung der Ergebnisse

Die verwertbaren Ergebnisse sind im Wesentlichen in zwei Kategorien einzuteilen.

Zum einen konnte mit der Durchführung des Teilprojekts eine konkrete Methodik zur Segmentierung potenzieller Anwendungsfelder neuer Technologien entwickelt und erprobt werden. Für dieses Anwendungsfeld besteht aus unserer Perspektive ein hoher Bedarf, sowohl bei Forschungseinrichtungen als auch bei Unternehmen. Wir haben ausgehend von den Projektergebnissen diese Methodik so weiterentwickelt, dass eine Verwendung für vielfältige Anwendungsfälle möglich wird. Hieraus resultierten zwei neue Produkte unseres Unternehmens, zum einen zur marktorientieren Bestimmung von Entwicklungsschwerpunkten und Strategien im Bereich von angewandter Forschung und Entwicklung, zum anderen zu Segmentierungsansätzen bei Anforderungen und Zielen kleiner B2B-Zielgruppen. Beide Produkte sind bereits verfügbar und auch schon im Rahmen von Projekten zum Einsatz gekommen, u.a. in einem Projekt mit der Universität Freiburg sowie in einem Projekt mit microtec südwest. Gespräche über weitere Anwendungen laufen derzeit. Parallel läuft auch eine Weiterentwicklung des Konzepts, bei der eine automatisierte Analyse von unstrukturierten Daten als zusätzliches Erhebungsinstrument zum Einsatz kommen soll.

Zur Methodik der marktorientieren Bestimmung von Entwicklungsschwerpunkten und Strategien im F&E-Kontext ist weiterhin eine Veröffentlichung vorgesehen. Diese ist zur Zeit in Bearbeitung und wird bis Ende des 2. Quartals 2016 erfolgt sein.

Eine weitere Veröffentlichung ist zum Thema der segmentorientieren Vorgehensweise im Rahmen der Innovationsmarktforschung geplant. Wir rechnen mit dem Erscheinen bis zum Ende des 3. Quartals 2016.

Die zweite Kategorie von Ergebnissen besteht in den konkreten Resultaten der empirischen Forschung, insbesondere im ITK Bereich, die wichtige Erkenntnisse zu Struktur von Anbietern und Nachfragern in diesem Segment lieferten. Die Erkenntnisse werden als Basis für weitere wirtschaftliche Tätigkeit in diesem Bereich sowie als Grundlage für eine weitergehende Forschung durch die Emergent Actio KG verwertet.

H. Anhang

Anlage 1: Durchgeführte Empirische Forschung

Persönliche Interviews

	Unternehmen / Institution	Land	Zuständigkeiten	Interview-partner
1	Ed. Züblin AG	Deutschland	Projektpartner / Anbieteranalyse	Herr Dr. Mayer, Herr Franzius
2	Securiton GmbH	Deutschland	Projektpartner / Anbieteranalyse	Herr Schmidt, Herr Harter
3	BAST (Bundesanstalt für Straßenwesen)	Deutschland	Straße	Herr Dr. Krieger, Herr Kaundinya
4	BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung)	Deutschland	Hochbauten	Herr Dr. Rogge
5	Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	Deutschland	Hochbauten	Herr Prof. Lennerts
6	Institut für Technologie und Management im Baubetrieb - Facility Management, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	Deutschland	Forschung	Herr Prof. Lennerts
7	RP Freiburg Referat für Betriebe mit hoher Umweltrelevanz oder hohem Sicherheitsrisiko und Gefahrstofflageranlagen	Deutschland	Industrieanlagen, Gefahrstoffe	Herr Swarowsky
8	ASFINAG	Österreich	Straße	Herr Steiner
9	ÖBB-Infrastruktur AG	Österreich	Bahn	Herr Fischer, Herr Dr. Vill
10	Staatliches Bauamt Schweinfurt	Deutschland	Straße	Herr Haupt
11	Genossenschaft Stadion St. Jakob-Park (GFS)	Schweiz	Stadion	Herr Musfeld
12	STRABAG Property and Facility Services GmbH	Deutschland	Hochbauten	Herr Kratz
13	EnBW Kraftwerke AG	Deutschland	Kraftwerke	Herr Stiebing
14	DB Netz AG	Deutschland	Bahn	Herr Feldwisch, Herr Müller
15	EnBW Erneuerbare Energien GmbH	Deutschland	Windkraft	Herr Boll
16	BKM FMB Energie AG	Schweiz	Wasserkraft	Herr Gehri
17	Deutsche Telekom AG	Deutschland	Rechenzentren, Telekommunikation	Herr Hündgen, Herr Langnickel

18	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung	Deutschland	Hochbauten	Herr Drosch, Herr Tappe
19	Telefonica	Europa	Rechenzentren, Telekommunikation	Herr Anschau
20	Telehouse	Europa	Rechenzentren	Herr Dr. Waldhauser
21	Global Switch	Europa	Rechenzentren	Herr Dziwis
22	SEA-ME-WE 3 Seekabellandestelle	Deutschland	Rechenzentren	Herr Lünsmann
23	Stadt Marktheidenfeld	Deutschland	Hochbauten, PPP-Projekte, Rechenzentren	Herr Kirchner
24	Bundesanstalt für Immobilienaufgaben	Deutschland	Hochbauten, PPP-Projekte	Herr Leitschuh
25	RWE Technology GmbH	Deutschland	Kraftwerke	Herr König
26	Rugeley Power Limited	Großbritannien	Kraftwerke	Herr Mistry
27	Rijksvastgoedbedrijf (Immobilienverwaltung der Regierung, Innenministerium)	Niederlande	Hochbauten, PPP-Projekte, Rechenzentren	Herr van Vulpen

Quantitative Forschung

Thema	Methode	Einladungen	Vollständige Interviews
Europaweite Erhebung unter Erstellern und Betreibern von Brücken (Bahn und Straße)	Onlineerhebung in Deutsch, Englisch, Spanisch, Französisch und Italienisch	488	46 (repräsentieren ca. 22% der Brücken in Europa)
Europaweite Erhebung unter Erstellern und Betreibern Offshore Windenergieanlagen	Onlineerhebung in Deutsch und Englisch mit telefonischem Follow-Up jedes einzelnen Betreibers	59	3 (repräsentieren ca. 5% geplanten Windenergie-Parks und betreuen 720 geplante Windenergieanlagen)

Anlage 2: Ermittelte Unternehmen mit angebotenen Monitoringlösungen

	Art und Umfang des Angebotes												
Anbieter	**Gesamt**	**Sensoren**		**Sensor- und Netzwerkeigenschaften**			**Datenmanagementsystem**	**web basiert**	**automatisierte Datenerhebung**	**automatisierte Auswertung**	**in Echtzeit**	**Analyse-inhalt**	**Bauwerks-kollaps-analyse-software**	**Sonstiges/ Besonderheiten**
		mechanische Parameter	**physikalische Parameter**	**kabellos**	**energieautark**	**Struktur integriert**								
AURIS	sensorisches Echtzeit-Strukturüberwachungs-system (SHM-System)	Dehnung Schwingung Beschleunigung	Temperatur, akustische, faseroptische & Korrosions-sensoren	+	+	+	automatisierte Datenerhebung, Speicherung, Aufbereitung und Auswertung, Bewertung	+	+	+	+	Resttrag-fähigkeit	+	Akustische Sensoren zur Schallemmissions-messung
Smartmote (D) http://www.smartmote.de/	zerstörungsfreie SHM-System mit Sensorik	Dehnung, Spannung	Temperatur, Feuchte, Korrosion	+	batterie betrieben	-	automatisierte Datenerfassung, Speicherung und erweiterte Datenanalyse	+	+	+/-	na	kontinuierlichen Bauzustands-überwachung und Lebensdauer-prognose	-	Schallemmissions-messungen
Digitexx (USA, MK) www.digitexx.com/	Echtzeit-Gebäudeüberwachung – Datenerfassungssystem & Sensoren	Beschleuni-gungsmesser, Belastung, Druck	Temperatur	+	na	-	automatisierte Datenerfassung und Strukturanalyse mit manueller und ereignis-gesteuerter Auslösung Interpretation der Daten durch System	+	+	-	+	Analyse der Struktur	-	Sensoren zum Teil durch externe Hersteller
COWI (DK) www.cowi.com	SHM-System mit Sensorik	verschiedenste Sensoren möglich, je nach Bedarf des Projektes		+	na	na	automatisierte Datenerfassung, Speicherung und Analyse in Verbindung mit Schwellenwerten	+	+	-	+	trouble-shooting-tool bei unvorherge-sehenen strukturellen Problemen	-	Definition von Sanierungszyklen
Strainstall (UK) www.strainstall.com/	Daten-Logger-System sensorische Datenerfassung, Speicherung und Analyse	Dehnungs-, Spannungs-, Belastungs-, Schwingung, Beschleunigungssensoren	Temperatur	+	z. T. autark durch Solar-zellen	-	automatisierte Datenerfassung mit intelligenter Datenverarbeitung und eigener Analysesoftware	+	+	-	-	Batchanalyse Ermüdungs-analyse, Spannungs-analyse	-	

	Art und Umfang des Angebotes													
Anbieter	**Gesamt**	**Sensoren**		**Sensor- und Netzwerkeigenschaften**			**Datenmanagement-system**	**web basiert**	**automatisierte Datenerhebung**	**automatisierte Auswertung**	**in Echtzeit**	**Analyse-inhalt**	**Bauwerks-kollaps-analyse-software**	**Sonstiges/ Besonderheiten**
		mechanische Parameter	**physikalische Parameter**	**kabellos**	**energie autark**	**Struktur integriert**								
Roctest Group (USA) – Smartec SA (CH) – Telemac SAS (F) http://www.roctest-group.com/	SHM-System mit Sensorik	Dehnung, Belastung, Verschiebung,	Temperatur, Korrosion	+	-	-	automatisierte Datenerfassung und Speicherung	+	+	-	na	Interpretation der Daten und Handlungsem-pfehlungen durch Ingenieure des Unternehmens	-	
GeoSIG (CH) www.geosig.com/	SHM-System mit Sensorik	Beschleunigung, Dehnung, Belastung	Feuchte, Temperatur	-	–	+	automatisierte Datenerhebung, Speicherung und Analyse der Daten in Verbindung mit Schwellen- und Warnwerten möglich	+	+	-	na	na	-	Schallemmission wird erfasst starke Ausrichtung Geo-Monitoring
Omnisens (CH) www.omnisens.ch	SHM-System mit Sensoren	Dehnung	verschiedene faseroptische Sensoren - Temperatur	-	-	+/-	automatische Datenerfassung und kontinuierliche Analyse kleiner Variationen von Temperatur und Dehnung	+	+	-	+	Kennwerte in Bezug auf Temperatur/ Dehnung/ Ton	-	frühzeitige Erkennung und Klassifizierung von Warnungen Schwerpunkt scheint im Bereich Pipeline-Überwachung zu liegen
Sensr (USA) www.monitoringstructures.com	SHM-System mit Sensorik	Schwingung, Dehnung Neigung, Verschiebung, Beschleunigung, etc	na	-	-	-	automatisierte Datenerhebung und Verwaltung und meldet in Echtzeit strukturelle Reaktionen	+	+	-	+	strukturelle Reaktionen	-	periodische oder kontinuierliche Auslegung des Systems
Microstrain (USA) www.microstrain.com	Sensornetzwerk mit Datenbank	Dehnungssensoren, Belastung, Vibration, Neigung	Korrosion	+	+	na	Datenmanagement, -erfassung Sensorcloud - Verwaltung und Visualisierung	+	+	-	-		-	Energy-Harvesting-Technologie

na - not available
(+) gibt Übereinstimmung mit den AURIS-Entwicklungen wieder
(-) gibt Unterschied zu AURIS-Entwicklungen wieder

	Art und Umfang des Angebotes												
Anbieter	**Gesamt**	**Sensoren**		**Sensor- und Netzwerkeigenschaften**			**Datenmanagement-system**	**web basiert**	**automatisierte Datenerhebung**	**automatisierte Auswertung**	**in Echtzeit**	**Analyseinhalt**	**Bauwerks-kollaps-analyse-software**	**Sonstiges/ Besonderheiten**
		mechanische Parameter	**physikalische Parameter**	**kabellos**	**energie autark**	**Struktur integriert**								
AURIS	sensorisches Echtzeit-Strukturüberwachungs-system (SHM-System)	Dehnung Schwingung Beschleunigung	Temperatur, akustische, faseroptische & Korrosions-sensoren	+	+	+	automatisierte Datenerhebung, Speicherung, Aufbereitung und Auswertung, Bewertung	+	+	+	+	Resttragfähigkeit	+	Akustische Sensoren zur Schallemmissions-messung
Fynite Solutions http://www.fynitesolutions.com/shm.html	Structural Health Monitoringsystem mit CIAMM-Software-Tool	alle für Anwendung relevanten Sensoren		na	na	-	Real-Time Monitoring processing & analysis	+	na	na	+	an unparalleled level of calibration between predicted and measured values not previously obtainable; enabling real-time automated model reconfiguration in response to changing field conditions reported by a Structural Health Monitoring system	+/-	Spezialisierung auf Brücken
Osmos Canada (Osmos Group) http://www.osmos-canada.com/en/	sensor-aided system for building and installation monitoring	Erfassung statischer und dynamischer Werte - Messung der Verformung in Verbindung mit 18 weiteren Informationen (Dehnung, Schwingung, Spannung, Verformung, Belastung, Eigenfrequenz, Beschleunigung) Anschluss weiterer Sensoren möglich		na	na	+	automatisierte Datenerfassung, Speicherung und Analyse in Verbindung mit Schwellenwerten	+	+	-	+	static average values	-	gleicher Wert für statische und dynamische Prozesse X-Trigger

Anlage 3: Ermittelte Monitoringlösungen für Brücken

	Art und Umfang des Angebotes													
Anbieter	**Gesamt**	**Sensoren**		**Sensor- und Netzwerkeigenschaften**			**Datenmanagementsystem**	**web basiert**	**automatisierte Datenerhebung**	**automatisierte Auswertung**	**in Echtzeit**	**Analyse-inhalt**	**Bauwerks-kollaps-analyse-software**	**Sonstiges/ Besonderheiten**
		mechanische Parameter	**physikalische Parameter**	**kabellos**	**energie autark**	**Struktur integriert**								
VCE - Brimos www.brimos.com	SHM-System mit Sensorik	Beschleunigung,	Temperatur, Wind	na	na	na	automatisierte Datenerfassung und Verwaltung	+	+	-	-	auf Optimierung der Instandhaltung ausgelegt	-	Traffic Analysis
Advitam Group Inc. (F) www.advitam-group.com/	SHM-System mit Sensorik	Beschleunigung, Verschiebung, Ermüdung	Temperatur, Korrosion	na	na	na	automatisierte Datenerhebung und Analyse der Daten in Verbindung mit Schwellen- und Warnwerten möglich	na	+	-	+	technische Analyse auf Basis der strukturellen Risiken	-	
AVT Bridge Check (UK) www.bridgecheck.co.uk/	SHM-System mit Sensorik	Dehnung, Beschleunigung Belastung, Vibration	Temperatur	+	na	na	automatisierte Datenerhebung und Verwaltung,	na	+	-	-		-	Schallemmissions-sensoren
ASFiNAG	Bridge Weigh in Motion	Dehnung, Vibration	na	-	-	-	automatisierte Datenerfassung und Speicherung in einer Datenbank und weiterführende Berechnungen	+	+	-	-	Übersichts-diagramme pro Woche unter Berücksichtigung Verkehr, Fahrzeuggewicht, Wochentag, etc. Achslast- und Verkehrsfluss-modell	-	- zum System gehört auch eine spezielle Wiegeplattform durch berechnete Einflusslinien kann der Zustand der Brückenstruktur untersucht werden -Durchführung von Berechnungen bezüglich der Restlebensdauer bezüglich einer Brücke möglich

na - not available
(+) gibt Übereinstimmung mit den AURIS-Entwicklungen wieder
(-) gibt Unterschied zu AURIS-Entwicklungen wieder

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Bauwerke kritischer Infrastrukturen 9
Abbildung 2 Überblick durchgeführte Forschung Brücken 19
Abbildung 3 Bedeutung Strukturmonitoring 21
Abbildung 4 Einsatz von Strukturmonitoring denkbar 21
Abbildung 5 Überwachungsintensität 22
Abbildung 6 Einsatz bei Neubau oder Nachrüstung 22
Abbildung 7 Wirtschaftlicher Nutzen im Normalbetrieb 23
Abbildung 8 Nutzen der einzelnen Komponenten 24
Abbildung 9 Nutzen der Komponenten nach Verkehrssystem 25
Abbildung 10 Nutzen rechtfertigt höhere Kosten 25
Abbildung 11 Mehrwert der Sensoreigenschaften 26
Abbildung 12 Mehrwert der Sensoreigenschaften nach Verkehrssystem 27
Abbildung 13 Einsatz für Gesamtbauwerk oder Teile 28
Abbildung 14 Nutzen der Systemkomponenten nach betreuten Brücken 29
Abbildung 15 Ergebnis der Faktoranalyse 30
Abbildung 16 Überblick der durchgeführten Interviews 31
Abbildung 17 Überblick durchgeführte Forschung PPP-Projekte 35
Abbildung 18 Überblick durchgeführte Forschung Konventionelle Kraftwerke 37
Abbildung 19 Überblick durchgeführte Forschung Offshore WEA 38
Abbildung 20 Zusammenfassung der relevanten Vergleichsfaktoren 41
Abbildung 21 Zusammenfassung der System mit stärksten Übereinstimmungen 42
Abbildung 22 Angebotsmodul und Referenzfall der KNA 46
Abbildung 23 Indikatoren der Kosten-Nutzen-Analyse 47
Abbildung 24 Kostenstellen der Kosten-Nutzen-Bilanz für Angebotsmodul Neubau 48
Abbildung 25 Betriebswirtschaftliche Bilanz im Normalbetrieb bei Neubau 49
Abbildung 26 Betriebswirtschaftliche Bilanz im Katastrophenfall 50
Abbildung 27 Volkswirtschaftliche Bilanz im Katastrophenfall 50
Abbildung 28 Kostenstellen der Kosten-Nutzen-Bilanz für Angebotsmodul 2 54
Abbildung 29 Betriebswirtschaftliche Bilanz bei Einsatz als Nachrüstung 55
Abbildung 30 Angebotsmodul und Referenzfall der KNA 61
Abbildung 31 Indikatoren der Kosten-Nutzen-Analyse 61
Abbildung 32 Kostenstellen der Kosten-Nutzen Bilanz Netzknoten 62
Abbildung 33 Angebotsmodul und Referenzfall der KNA 67
Abbildung 34 Indikatoren der Kosten-Nutzen-Analyse 67
Abbildung 35 Kostenstellen der Kosten-Nutzen-Bilanz PPP-Projekte 68
Abbildung 36 Angebotsmodul und Referenzfall der KNA 73
Abbildung 37 Indikatoren der Kosten-Nutzen-Analyse 73
Abbildung 38 Kostenstellen der Kosten-Nutzen-Bilanz Kühlturm 74
Abbildung 39 Angebotsmodul und Referenzfall der KNA 76
Abbildung 40 Indikatoren der Kosten-Nutzen-Analyse 76
Abbildung 41 Kostenstellen der Kosten-Nutzen-Bilanz Offshore-Fundamente 77
Abbildung 42 SWOT-Analyse 79

Literaturverzeichnis

Eurolectric – Power Statistics & Trends 2011; Online im Internet: URL: http://www.eurelectric.org/media/26800/power_statistics_and_trends_synospsis-2011-180-0005-01-e.pdf [Stand: 11.09.2012]

Funke, Günther - Spannbetontürme für Multimegawatt - Windenergieanlagen in modularer Bauweise, Optimierung von Schalung, Rüstung, Bewehrung und Beton für On- und Offshore Turmkonstruktionen, Jahrbuch 2005 Bautechnik, VDI Verlag 2005

Koepp, Marcus/ Mellahn, Stefan/ Peter, Frank –Bedarf an konventioneller Kraftwerkskapazität in Deutschland, Gutachten Prognos AG, 2011, Berlin; Online im Internet: URL: http://www.metropoleruhr.de/fileadmin/user_upload/metropoleruhr.de/Regionalplanung/Energiewirtschaft_Fernwaerme/04a_02_Bedarf_konventioneller_Kraftwerkskapazitaet_April_2011.pdf [Stand: 28.06.2012]

Meffert, Heribert (2000): Marketing; Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung; Konzepte-Instrumente-Praxisbeispiele; 9. Auflage, Wiesbaden.

Pepels, Werner (Hrsg.) – Marktsegmentierung – Marktnischen finden und besetzen, 2000 I.H. Sauer-Verlag GmbH, Heidelberg

Steinhoff, Fee, Kundenorientierung bei hochgradigen Innovationen, Wiesbaden 2006

Talke, Katrin, Einführung von Innovationen: Marktorientierte strategische und operative Aktivitäten als kritische Erfolgsfaktoren, Wiesbaden 2005

Zilch, Konrad / Weiher, Hermann / Gläser, Christian (2009): Monitoring im Betonbau; In: ERNST & SOHN (Hrsg.) 2009 Betonkalender; Konstruktiver Hochbau-Aktuelle Massivbaunormen; Berlin, S. 135-184.