

**Gutachten
zu
Einsatzmöglichkeiten
von Satelliten in Bayern**



Autoren:

Prof. Dr. Ulrich Walter (TUM)

Prof. Dr.-Ing. Andreas Knopp (UniBwM)

Dr.-Ing. Martin Langer (OroraTech)

Dipl.-Ing. Matthias Killian (TUM)

Dokumenteninformationen

Projekt	Gutachten zu Einsatzmöglichkeiten von Satelliten für Bayern
Dokumententitel	Gutachten zu Einsatzmöglichkeiten von Satelliten für Bayern
Dok.-Nr.	TUM-ECH-SAT4BAY
Ausgabe	2
Revision	1
Datum	7. September 2020
Status	FINAL

Änderungsnachweis

Ausgabe	Revision	Datum	verantwortlich	Änderungen
1	0	02.07.2020	U. Walter	Initiale Dokumentenversion erstellt
2	1	07.09.2020	U. Walter	Kommentare StMD eingearbeitet

Inhalt

Ziel der Studie	7
Executive Summary	8
1 GENERELLE EINSATZMÖGLICHKEITEN	13
1.1 Aktuelle Situation der Raumfahrtwirtschaft in Coronazeiten	13
1.2 Überlegungen zum Beitrag der Raumfahrt in Pandemiesituationen	18
1.3 Technologien Erdbeobachtung	23
1.4 Technologien Kommunikation	26
1.5 Technologien Navigation	30
1.6 Enabler Technologien	32
1.7 Einsatzbereiche von Satelliten in Bayern	38
1.7.1 Erdbeobachtung zur Klimadatenerhebung, Umweltüberwachung und für Geoinformationsdienste	39
1.7.2 Smart Farming und Precision Agriculture	39
1.7.3 Verkehrsüberwachung und autonome Fahr- und Flugzeuge	42
1.7.4 Staatliche Risikoversorge für Krisen- und Notfallkommunikation	42
1.7.5 Industrie 4.0 und IoT-Anwendungen	43
1.7.6 Smart Cities	44
1.7.7 Smart Grids	45
1.7.8 Quantenkryptographie (QKD)	45
1.7.9 Weltraumrobotik	47
1.7.10 Wissenschaft, Forschung und Ausbildung	48
1.7.11 Finanzmarkt	49
1.7.12 Weltraumbasierte Datenspeicherung	49
1.7.13 Breitbandausbau	50
2 EMPFEHLUNG BESONDERS AUSSICHTSREICHER EINSATZBEREICHE	52
2.1 Anforderungserhebung	52
2.1.1 Erdbeobachtung	52
2.1.2 Kommunikation, Navigation, Digitale Landwirtschaft	69

2.1.3	Quantenkommunikationsinfrastruktur (QCI)	70
2.2	Erdbeobachtung	70
2.2.1	Anforderungen und aktueller Stand	70
2.2.2	Gap Analyse	73
2.3	Krisenkommunikation, Breitbandausbau, Digitale Landwirtschaft, Navigation	73
2.3.1	Anforderungen und aktueller Stand	73
2.3.2	Gap-Analyse	75
2.4	Quantenkommunikations-Infrastruktur (QCI)	76
2.5	Kleinsatellitenschwärme und -konstellationen für selektive EO-Anwendungen	76
2.6	Ermittlung der sinnvollsten Einsatzbereiche	77
2.6.1	Erdbeobachtung	78
2.6.2	Krisenkommunikation, Breitbandausbau, Digitale Landwirtschaft, Navigation	80
2.6.3	Quantenkommunikations-Infrastruktur (QCI)	85
3	ERLÄUTERUNGEN DER AUSGEWÄHLTEN EINSATZBEREICHE UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	86
3.1	Geodaten-Zentrum <i>BigBlue</i>	86
3.2	Krisenkommunikation, Breitbandausbau, Digitale Landwirtschaft, Navigation	95
3.3	Quantenkommunikations-Infrastruktur (QCI)	108
3.4	Kleinsatellitenschwärme und -konstellationen für selektive EO-Anwendungen	113
3.5	Roadmaps	119
3.5.1	Geodaten-Zentrum <i>BigBlue</i>	119
3.5.2	Krisenkommunikation, Breitbandausbau, Digitale Landwirtschaft, Navigation	121
3.5.2.1	Vorbemerkungen	121
3.5.2.2	Entwicklungsphasen Krisenkommunikation	121
3.5.2.3	Entwicklungsphasen Breitbandausbau	123
3.5.2.4	Entwicklungsphasen weltraumgestützte digitale Landwirtschaft	124
3.5.2.5	Entwicklungsphasen eines Bayerischen Kommunikationssatelliten	126
3.5.2.6	Skalierbarkeit der Umsetzung	126
3.5.2.7	Public Outreach	127

3.5.4	Quantenkommunikations-Infrastruktur (QCI)	128
-------	---	-----

LITERATURVERZEICHNIS	130
-----------------------------	------------

Glossar	131
---------	-----

Liste der Gesprächspartner	132
----------------------------	-----

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die drastische Abnahme der NO ₂ -Emissionen über China von vor (Anfang Jan 2020, links) zu während (Mitte Februar 2020, rechts) des Corona Shutdowns. Quelle: NASA/ESA/Joshua Stevens	14
Abbildung 2: Temperaturanomalie in Russland, Frühjahr 2020. Quelle: BerkeleyEarth.org	14
Abbildung 3: Thermal-Infrarot Detektion mit visuellem Overlay von massiven Bränden in Sibirien infolge einer Hitzewelle im nordöstlichen Russland, aufgenommen am 24.06.2020. Breite des Bildausschnitts ca. 300 km. Quelle: OroraTech	15
Abbildung 4: Sieben Krisenszenarien des Social Distancing (Nguyen, et al., 2020)	19
Abbildung 5: Digitale Kernkomponenten für Social Distancing am Beispiel Mobilfunk (Nguyen, et al., 2020)	20
Abbildung 6: Klassifizierung von Satelliten nach Flughöhe, und typische LEO-Satelliten Quelle: Rrakanishu, Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, modifiziert von U. Walter	23
Abbildung 7: Die heutige Starlink-Konstellation mit etwa 400 Satelliten und Inklinationen von 53,0° Quelle: Mark Handley, SpaceX's Starlink video	24
Abbildung 8: weltweite Anzahl an Starts von Satelliten, aufgeteilt in Nanosatelliten (<10 kg), Mikrosatelliten (10-100 kg), Minisatelliten (100-500 kg) und Satelliten > 500 kg. Abbildung adaptiert von (Sweeting, 2018)	32
Abbildung 9: Traditionelle negative Rückkopplung in Raumfahrtgroßprojekten (links); Im Vergleich dazu positive Rückkopplung durch New Space und Kleinsatellitenmissionen (rechts) (Wertz, Conger, Rufer, Sarzi-Amad, & van Allen, 2011)	33
Abbildung 10: Anwendungsfelder für 5G-Technologie, in welcher Satelliten eine kritische Rolle spielen (Murara, 2017).....	34
Abbildung 11: Neue Geschäftsmodelle durch New Space (SpaceTec Partners & BHO Legal, 2016)	38
Abbildung 12: Realisierungsbeispiel Breitbandinternet (Quelle: „Schnelles Internet. Sofort. Über(s)All.“, Deutsche Gesellschaft für Luft und Raumfahrt Lilienthal-Oberth e.V., Bonn, 2019)	51
Abbildung 13: Erdbeobachtung Anforderungen gegenüber Datenquellen.....	72
Abbildung 14: Anwendungsfelder der Kommunikation und Navigation	74
Abbildung 15: Eignungsprofile der Plattformen für Erdbeobachtung	79
Abbildung 16: Eignungsprofile der Plattformen in der Kommunikation und Navigation	84

Abbildung 17: Komponenten der hier betrachteten weltraumbasierten Kommunikationsinfrastruktur (ohne QKD / HAPs, da separates Kapitel)	95
Abbildung 18: Wertschöpfungskette für weltraumbasierte Kommunikationsinfrastruktur - Beispiele	105
Abbildung 19: CubeSat-Schwarm zur Erdbeobachtung (Quelle: MIT, NASA)	113
Abbildung 20: Roadmap Geodaten-Zentrum	119
Abbildung 21: Roadmap Krisenkommunikation	122
Abbildung 22: Roadmap Breitbandausbau	123
Abbildung 23: Roadmap Digitale Landwirtschaft	124
Abbildung 24: Roadmap einer Quanten-kommunikations-Infrastruktur (QCI) bestehend aus QKD-Satelliten und/oder QKD-HALE-Flugzeugen, konform mit einem zukünftigen QCI-Fibre	128

Ziel der Studie

In der Studie [Study to examine the socioeconomic impact of Copernicus in the EU](https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2018-10/Copernicus_SocioEconomic_Impact_October_2016_0.pdf)¹ aus dem Jahre 2016 (zusammengefasst im [Copernicus Market Report, February 2019](https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2019-02/PwC_Copernicus_Market_Report_2019_PDF_version.pdf)²), analysierte die englische Consulting-Firma PricewaterhouseCoopers (PWC) im Auftrag der Europäischen Kommission die gesamten utilitären Auswirkungen der frei verfügbaren Satelliten-Erdbeobachtungsdaten (engl. earth observation data, EO Data) des EU Copernicus Programms auf die europäische Wirtschaft. Zusammenfassend kam sie zu dem Ergebnis, dass der kumulierte wirtschaftliche Wert des Copernicus-Programms die Investition in dieses Programm um einen Faktor von etwa 2,0 bis 2,6 übertraf. Dabei waren die Auswirkungen in den Bereichen Landwirtschaft (mit jährlicher Nutzungssteigerungsrate +31 %) und Forstwirtschaft (+46 %) am größten.

Vor diesem gerade für Bayern interessanten Ergebnissen und den über EO hinausgehenden möglichen Einsatzmöglichkeiten von Satelliten, insbesondere in den Bereichen Kommunikation und Navigation, stellt sich die Frage, ob in Bayern Satelliten und deren vor- und nachgelagerte sozioökonomischen Auswirkungen auf die bayerische Wirtschaft und Gesellschaft bisher optimal genutzt werden oder die Nutzung vielleicht verbessert werden könnte. Wenn Verbesserungen möglich wären, welche Maßnahmen sollten vom Bayerischen Staat ergriffen werden?

In der Regierungserklärung „Das Beste für Bayern“ des Bayerischen Ministerpräsidenten Söder am 18. April 2018 heißt es: „Im Mittelpunkt steht dabei das neue bayerische Raumfahrtprogramm „Bavaria One“. Ziel ist die Entwicklung unbemannter, suborbitaler Flugkörper, Erdbeobachtung und Quantensensorik.“ Hinsichtlich dieser Vorgabe werden zwei Schwerpunkte dieser Studie die Erdbeobachtung und die Quantenkryptographie (Quantenschlüsselverteilung, eng. quantum key distribution, QKD) sein.

¹ https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2018-10/Copernicus_SocioEconomic_Impact_October_2016_0.pdf

² https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2019-02/PwC_Copernicus_Market_Report_2019_PDF_version.pdf

Executive Summary

In der vorliegenden Studie geben die Autoren zunächst einen Überblick über die generellen Verwendungsmöglichkeiten von Satelliten (Abschnitte 1.1 – 1.6) und mögliche Einsatzbereiche von Satelliten in Bayern (Abschnitt 1.7).

Für gängige Abkürzungen siehe das Glossar am Ende dieser Studie. Insbesondere steht der Begriff „Geodaten“ für alle Typen von raumbezogenen Daten, unter anderen auch Erdbeobachtungsdaten (EO-Daten).

Befragung

Einen Kern dieser Studie bildet die Befragung wichtiger in Bayern bedeutender Satellitenforschungs- aber auch Satellitendatenservice-Einrichtungen; darüber hinaus Einrichtungen, die Satellitendaten für eigene Aufgaben nutzen, etwa Behörden, aber auch ausgesuchte Einrichtungen solcher Art in ganz Deutschland. Das Ziel dieser Befragungen war zu erkunden, was der aktuelle und zukünftige Bedarf ist und welche Verbesserungen die befragten Einrichtungen vorschlagen. Dieser Bedarf wurde den aktuellen Möglichkeiten gegenübergestellt und die Bedarfslücken (Gap-Analyse) je nach Anwendungsbereich herausgearbeitet (Abschnitte 2.1 – 2.3).

Eine Sonderstellung nimmt dabei die Quantenkryptographie ein, weil diese eine Zukunftstechnologie ist, zu der es augenblicklich keinen konkreten Bedarf gibt. Dieser wird voraussichtlich erst mit modernen Entschlüsselungsmethoden (Quantencomputer) entstehen. Hier wurde die Befragung beschränkt auf einige führende Wissenschaftler.

Sinnvolle Einsatzbereiche

Mögliche Lösungen der existierenden Bedarfslücken wurden abgeglichen mit den Verbesserungsvorschlägen der befragten Nutzer. Daraus wurden für jedes Anwendungsfeld nach den Kriterien Umsetzbarkeit (Kosten, Dauer) und deren Nutzen insgesamt vier sinnvolle Einsatzbereiche für Satelliten in Bayern abgeleitet, die in den Abschnitten 3.1 – 3.4 im Detail vorgestellt werden. Im Abschnitt 3.5 *Roadmaps* werden Detail einer möglichen, praktischen Umsetzung aufgezeigt.

Handlungsempfehlungen Erdbeobachtung

In diesem Abschnitt geht es ausschließlich um Satellitendaten für Erdbeobachtung (Earth Observation Data, EO-Daten). Details siehe Abschnitt 3.1 und 3.5.1.

EO.1

Alle augenblicklich und in absehbarer Zukunft in Bayern notwendigen, wesentlichen EO-Daten sind entweder kostenfrei (etwa Copernicus-Daten der EU) oder kommerziell kostenpflichtig verfügbar. Es gibt einstimmigen Konsens unter allen Datennutzern, dass wegen dieser Datenverfügbarkeit Bayern für EO-Zwecke keine eigenen Satelliten entwickeln und bauen braucht. Ausnahmen wären Kleinstsatelliten für spezielle Anwendungen. Die Autoren schließen sich dieser Meinung an.

Statt dem Bau größerer eigener EO-Satelliten sollte Bayern entsprechend notwendige Daten von kommerziellen Anbietern durch eine Behördenlizenz den bayerischen Landesämtern kostenlos, durch Gruppenlizenzen privaten bayerischen EO-Service Providern kostengünstig und allen anderen Nutzern zu gängigen Marktpreisen zur Verfügung stellen. Zur Abschätzung der dafür entstehenden Lizenzkosten siehe Abschnitt 3.1, Punkt 11. Davon unabhängig ist eine Förderung der Raumfahrtwirtschaft zur Entwicklung von Satelliten mit neuen Technologien.

EO.2

Ein von allen Befragten genanntes bestehendes Problem ist die Verteilung existierender EO-Daten auf unterschiedliche Archive und deren teilweise schwierige Zugänglichkeit.

Die Autoren empfehlen daher alle in Bayern verfügbaren EO-Daten in einem neuen, zentralen Archiv (Arbeitstitel *BigBlue*, siehe Abschnitt 3.1) zusammenzuführen, das über den europäischen Standard INSPIRE mit anderen Archiven in Deutschland und Europa vernetzt ist.

EO.3

Das zentrale Archiv *BigBlue* soll nicht nur EO-Daten beinhalten, sondern alle in Bayern verfügbaren Geodaten (raumbezogene Daten Bayerns, zu denen unter anderen auch EO-Daten zählen), die durch Steuergelder geschaffen (etwa Geofachdaten der Landesämter) oder von Bayern von kommerziellen Anbietern gekauft wurden.

Die Lagerung und Pflege der aktuellen Geofachdaten verbleibt bei den Landesämtern in ihren eigenen Archiven.

EO.4

Alle im zentralen Geodaten-Archiv *BigBlue* gehaltenen Daten sind für alle Nutzer über geeignete grafische Schnittstellen einfach zugänglich und soweit wie möglich frei verfügbar.

EO.5

BigBlue soll vom Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften betrieben werden und soll eng zusammenarbeiten mit dem GDI-BY in Hof, dem EOC des DLR in Oberpfaffenhofen und den geodätischen Instituten der TU München.

EO.6

BigBlue stellt über die reine Archivierung der Geodaten hinaus ein Arbeitsumfeld für Datenvorverarbeitung, Produktverarbeitung und Nutzerfachberatung für die Nutzer zur Verfügung.

Handlungsempfehlungen Krisenkommunikation, Breitbandausbau, Digitale Landwirtschaft (KBD)

In diesem Abschnitt werden die Handlungsempfehlungen für das Anwendungsfeld *Kommunikation* zusammengefasst. Details hierzu bieten die Abschnitte 3.3 und 3.5.2.

KBD.1

Bayern sollte die digitale Infrastruktur im ländlichen Raum zügig stärken, indem der mittelfristig angestrebte flächendeckende Breitbandausbau mittels Glasfaser kurzfristig durch ein Netz von Satellitenverbindungen flankiert wird. Durch diese marktverfügbare Technologie können Dörfer und Gemeinden, Streusiedlungen und Einzelhöfe einstweilen zielgerichtet an breitbandiges Internet mit Datenraten >50Mbit/sec angeschlossen werden, das für den Austausch von Massendaten, den Medienkonsum und wesentliche Internetanwendungen geeignet ist. Dies schafft notwendige Voraussetzungen für die Digitalisierung der bayerischen Landwirtschaft und macht Home-Office, Distanzlernen sowie freiwillige häusliche Heimisolation in Krisenzeiten möglich (Pandemievorsorge).

Bayern sollte die Satelliten-Kopfstationen und die lokalen Funkverteilnetze zur Verfügung stellen, wobei die Einbindung kommerzieller Dienstleister empfohlen wird.

KBD.2

Bayern sollte sich im Rahmen der Risikovorsorge weltraumbasierte technische Möglichkeiten zur Krisenkommunikation schaffen, um großflächig weitgehend unabhängig von terrestrischer Infrastruktur und Stromversorgung zu sein. Dieselbe Technologie wie unter KBD.1 für den lokalen Breitbandausbau vorgeschlagen, kann ein nicht-ortsfestes Netz von Satellitenverbindungen für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben ermöglichen, sodass hohe Synergiepotenziale mit dem Breitbandausbau bestehen.

Bayern sollte die transportable und mobile Bodeninfrastruktur für seine Einsatzkräfte beschaffen, Lösungen zur Integration in das vorhandene BOS Funknetz erarbeiten und das Krisenkommunikationssystem durch einen Dienstleister betreiben lassen.

KBD.3

Die Digitalisierung der Landwirtschaft erfordert die breitbandige Anbindung von Höfen und Maschinen (siehe dazu KBD.1) für den Zugang zu Erdbeobachtungsdaten sowie ein leistungsfähiges Netzwerk für die maschinelle Kommunikation im „Internet der Dinge“ (Internet-of-Things, IoT). Eine Vielzahl von IoT Verbindungen können kostengünstig über Satelliten realisiert werden.

Bayern sollte eine satellitenbasierte IoT Infrastruktur für Nutzer (Landwirtschaft, Industrie) außerhalb der digital erschlossenen urbanen Zentren bereitstellen. Zu diesem Zweck sollte der Freistaat eine zentrale IoT Bodenstation mit Datenzentrum schaffen, an die sich sowohl Dienstleister für datenbasierte Mehrwertdienste als auch die Nutzer ankoppeln können. Die erforderlichen Satellitenverbindungen sollte der Freistaat ebenfalls zur Verfügung stellen, entweder durch eigene Satelliten oder durch kommerzielle Verträge.

KBD.4

Ein unabdingbarer digitaler Mehrwertdienst in der Landwirtschaft ist die Verteilung von Korrekturdaten (sog. RTK Daten) für Satellitennavigationssignale, um selbstfahrende Maschinen und „Precision Farming“ Anwendungen zu realisieren. Der Freistaat stellt diese Daten inzwischen kostenlos bereit, aber um sie allgegenwärtig nutzen zu können, müssen die Maschinen im Feld über eine Internetverbindung verfügen (heute Mobilfunk).

Bayern sollte gemeinsam mit Dienstleistern einen einfachen satellitenbasierten und daher flächendeckenden Mehrwertdienst für die Verteilung von RTK Korrekturdaten zur Verfügung stellen, weil die Mobilfunknetze keine zufriedenstellende Abdeckung bieten.

KBD.5

Die Maßnahmen KBD.1 bis KBD.4 erfordern die kostengünstige Bereitstellung von Satellitenverbindungen in unterschiedlicher Ausprägung. Aufgrund der hohen Synergiepotenziale aller Anwendungen sollte Bayern diese Aufgabe zentral übernehmen und Satellitenkapazitäten bereitstellen. Dies kann in einem abgestuften Verfahren geschehen, beginnend mit einer skalierbaren Anmietlösung von verfügbaren Satelliten eines kommerziellen Betreibers bis hin zur Realisierung einer eigenen Kommunikationsnutzlast auf einem geostationären Satelliten durch den Freistaat selbst. Eine für Bayern optimierte Kommunikationsnutzlast könnte in Bayern entwickelt und durch die Industrie gefertigt werden. Gestartet würde sie als Mitflugnutzlast (sog. „hosted payload“) auf einem größeren Satelliten eines kommerziellen Anbieters. Der Betrieb der bayerischen Nutzlast würde wiederum aus Bayern heraus (bspw. GSOC) erfolgen.

KBD.6

Anstelle der unter KBD.5 genannten geostationären Satellitenverbindungen können Teile der Anforderungen KBD.1 bis KBD.4 auch mithilfe von High Altitude Platforms (HAPs) oder niedrigfliegenden Satelliten bzw. Satellitenkonstellationen umgesetzt werden. Dabei ergeben sich weitere Alternativen für sonst nicht umsetzbare Echtzeitanwendungen. HAPs oder Satellitenschwärme sind bei Synergiepotenzialen mit Anwendungen aus der Erdbeobachtung und Quantenkommunikation empfehlenswert.

Handlungsempfehlungen Quantenkommunikations-Infrastruktur (QCI)

Details zu den folgenden Handlungsempfehlungen siehe Abschnitt 3.2 und 3.5.3.

QCI.1

Die Autoren empfehlen die Entwicklung und Test einer bayerischen Quantenkommunikations-Infrastruktur (QCI) bestehend aus Quantenschlüssel-Verteilungs-Kleinsatelliten (QCI-Sat) und/oder unbemannten High Altitude Long Endurance Flugzeugen (QCI-HALE). [Abkürzungen siehe Glossar am Ende der Studie].

QCI.2

Dieses QCI-System, das es bisher so noch nicht gibt und einigen Forschungs- und Entwicklungsaufwand erfordert, sollte in folgenden Schritten entwickelt und falls erfolgreich und bei einem vertretbaren Kosten/Nutzen-Verhältnis installiert werden:

1. Ein QCI-Sat-System und ein QCI-HALE-System sollen zunächst unabhängig voneinander entwickelt und in Einzeleinsätzen deren Machbarkeit und Nutzen demonstriert und daraus die Kosten jedes Systems evaluiert werden.
2. Erst danach soll auf Basis von Zuverlässigkeit und Kosten und im Vergleich zu den kommenden QCI-Fibre-System entschieden werden, welches System von beiden das bessere ist.
3. Sollten sich beide oder gar alle drei Systeme in ihrer Anwendung ergänzen, wäre auch ein hybrides System aus beiden oder allen dreien denkbar und umsetzbar.
4. Erst nach diesen Vorentwicklungen und Entscheidungen wären die Bodenstationen mit dem kostenintensiven Betrieb aufzubauen und danach das Flugsegment (HALEs und Satelliten) zu installieren.

1 Generelle Einsatzmöglichkeiten

1.1 Aktuelle Situation der Raumfahrtwirtschaft in Coronazeiten

Erdbeobachtungssatelliten umkreisen die Erde in einer Höhe von typischerweise 800 km und brauchen für einen Umlauf etwa 100 Minuten. Diese Zahlen machen klar: Bei Satelliten geht es im Wesentlichen nicht um spezielle irdische Details, sondern um die Erde als Ganzes. Die Beobachtung und Bewertung räumlicher und zeitlicher Unterschiede ist die Stärke von Satellitenerdbeobachtung.

Daher ist Raumfahrt in Zeiten von Corona dann wichtig, wenn es um den Einfluss der Coronaepidemie auf Länder, Nationen und Kontinente geht und natürlich insbesondere auf die Atmosphäre, die vor Ländergrenzen nicht Halt macht.

Die Vorstandsvorsitzende des DLR, Prof. Dr. Pascale Ehrenfreund, kommentierte diese Situation folgendermaßen: „Die satellitengestützte Erdbeobachtung ermöglicht es uns, aktuelle Veränderungen aufgrund der Coronavirus-Krise auf der ganzen Welt zu überwachen und abzubilden. Dies ermöglicht es uns, die Reduzierung von Emissionen zu messen und so wertvolle Daten für die Erforschung des Klimawandels zu erhalten. Gleichzeitig zeigt uns die Krise, dass kritische Weltrauminfrastrukturen wie das Deutsche Raumfahrtzentrum des DLR auch unter schwierigen Bedingungen voll funktionsfähig sind“. Und der Generaldirektor der ESA, Prof. Dr. Johann-Dietrich Wörner, äußerte: „In solch massiven Krisen werden übergreifende systemische Stärken und Schwächen deutlich sichtbar. Jedem wird klar, dass der Weltraum mehr als ein Nischenthema ist; er ist eine Infrastruktur mit einer breiten Wirkung. Die verschiedenen Weltraumaktivitäten zeigen zum Beispiel das Ausmaß der Krise in Bezug auf die Wirtschaft durch Erdbeobachtung; Satellitenkommunikation ermöglicht Telemedizin und Fernunterricht.“

Der Zusammenbruch des globalen Reiseverkehrs, aber auch das social distancing (siehe Abschnitt 1.2) führten zu einem rasanten Anstieg der Telekommunikation. So wurde an der TU München im Sommersemester alle Lehre auf Online umgestellt, bei der auch Studenten, die nicht mehr nach Deutschland einreisen durften, teilnahmen. Dieser globale Anstieg von Telekommunikation wurde und wird in Zukunft zu einem großen Teil satellitengestützt durchgeführt werden (siehe Abschnitte 2.3 und 3.3).

Doch zurück zu globalen Umweltphänomenen in Zeiten von Corona. Die regionale und globale Verminderung des CO₂-Ausstoßes ist ebenfalls nur durch Erdbeobachtungssatelliten erkennbar (siehe Abbildung 1) Auch ist es trotz Coronakrise nötig, die Auswirkungen des Klimawandels, wie kürzlich anhand der Temperaturanomalie in Sibirien und der verstärkt dort auftretenden Waldbrände, zu messen und besser zu verstehen (siehe Abbildung 2 und Abbildung 3)

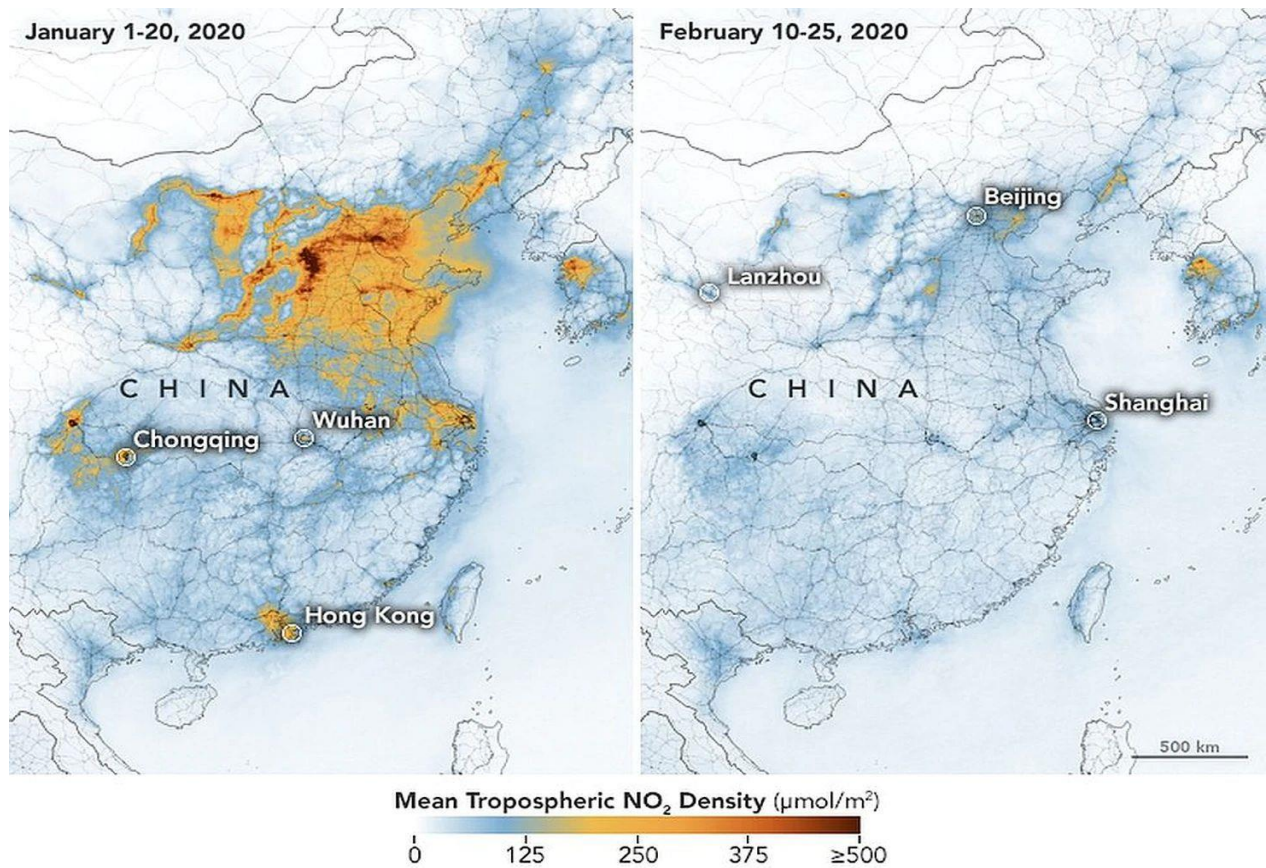


Abbildung 1: Die drastische Abnahme der NO₂-Emissionen über China von vor (Anfang Jan 2020, links) zu während (Mitte Februar 2020, rechts) des Corona Shutdowns. Quelle: NASA/ESA/Joshua Stevens

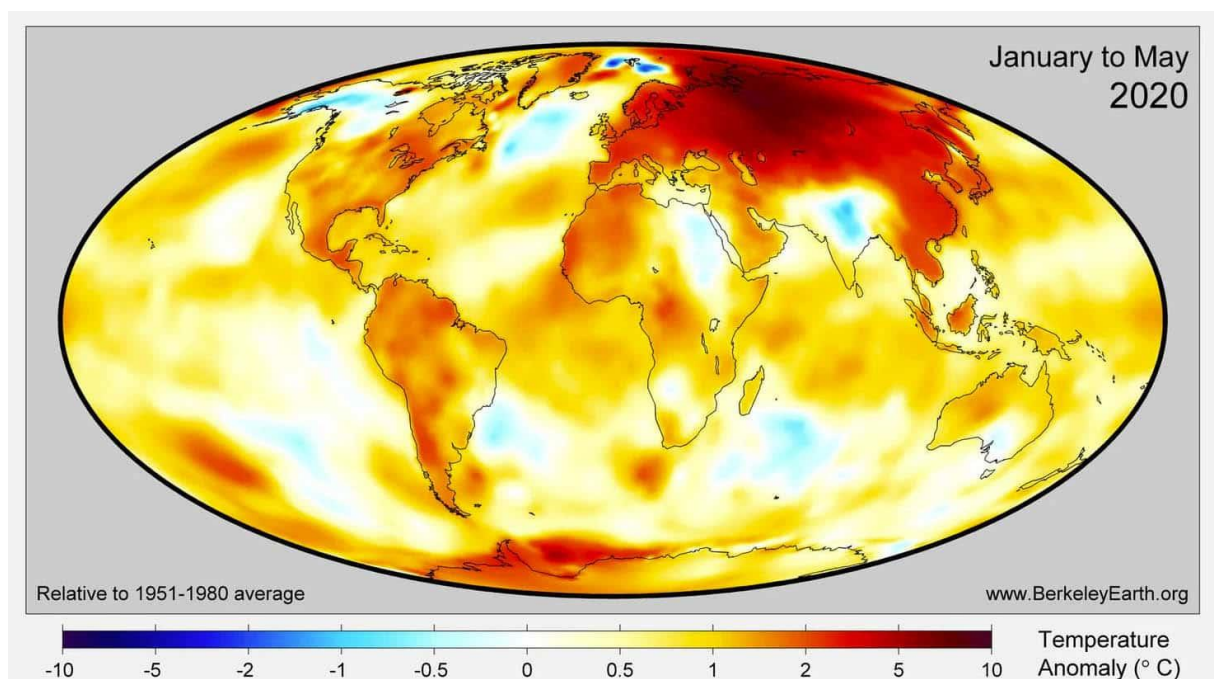


Abbildung 2: Temperaturanomalie in Russland, Frühjahr 2020. Quelle: BerkeleyEarth.org



Abbildung 3: Thermal-Infrarot Detektion mit visuellem Overlay von massiven Bränden in Sibirien infolge einer Hitzewelle im nordöstlichen Russland, aufgenommen am 24.06.2020. Breite des Bildausschnitts ca. 300 km. Quelle: OroraTech

Bayern kann in dieser ungewissen Zeit entscheidende Maßnahmen zur wirtschaftlichen Unterstützung der Raumfahrtunternehmen im Freistaat setzen.

Einerseits, wie in anderen Ländern und Branchen bereits gang und gäbe, muss der Freistaat kurz- und mittelfristig als Ankerkunde für die Raumfahrt auftreten und so den durch die Krise verlorenen Auftragseingang ausgleichen. Dies kann skalierbar erfolgen, von kleineren Studien bis hin zu Leuchtturmprojekten. Die erfolgreiche Umsetzung des Commercial Crew Programs der NASA und anderer kommerziell vergebener Raumfahrtprojekte in den USA zeigen, dass Projekte hier immer unter Konkurrenz verschiedener Anbieter, und bei größeren Projekten auch phasenweise stattfinden sollten. Insbesondere die Konkurrenzsituation ist entscheidend, um Innovation zu fördern und die Qualität der Ergebnisse hochzuhalten.

Des Weiteren sollte der Freistaat selbst es vermeiden, eigene Konkurrenzprodukte zu vorhandenen Unternehmenslösungen vor allem im Downstream-Markt, also auf der Anwendungsseite zu schaffen. Leuchtturmprojekte, welche eine Vielzahl an bayerischen Unternehmen involvieren könnten, sind als Möglichkeit der wirtschaftlichen Stabilisierung in der Pandemie und als Innovationsmotor besonders herauszustellen. Bayern besitzt eine sehr große und [vielfältige Landschaft an Raumfahrtunternehmen](#)³, von kleinen Start-up Unternehmen bis hin zu Global Playern, von den Upstream, also der Satelliten- bzw. Raketenfertigung, bis zu Downstream-Satellitendatenanwendung. Diese Firmen, wie auch Forschung und Politik, können durch in diesem Gutachten vorgestellte Roadmaps selbst in der Krise von gezielten Förderungen und Sofortmaßnahmen profitieren.

³ Seite 48-130, <https://www.dlr-innospace.de/wp-content/uploads/2019/02/Deutsche-Raumfahrtakteure.pdf>

Ein erster grober Kriterienkatalog zur Identifikation wirksamer Sofortmaßnahmen zur kurzfristigen Überbrückung der pandemiebedingten wirtschaftlichen Schwächephase könnte wie folgt aussehen:

1. **Wirkungsbreite:** Wirtschaftliche Unterstützungsmaßnahmen sollten über die gesamte Wertschöpfungskette der Raumfahrtunternehmen in Bayern wirken und nicht nur auf einzelne Bestandteile dieser Kette beschränkt bleiben.
2. **Komplementarität** statt Konkurrenz: Die staatlichen Maßnahmen sollten komplementär auf das vorhandene wirtschaftliche Ökosystem wirken und nicht punktuelle Konkurrenzprodukte und Dienstleistungen erzeugen, bspw. durch den Aufbau eigener staatlicher Fähigkeiten oder die staatliche Förderung isolierter Technologieentwicklungen.
3. **Tempo:** Maßnahmen sollten kurzfristig Wirkung zeigen und nicht durch die raumfahrtüblichen langwierigen Planungsprozesse „entwaffnet“ werden.
4. **Beherrschbarkeit:** Maßnahmen müssen technisch und organisatorisch beherrschbar bleiben. Dies betrifft den Zeit- und Kostenrahmen ebenso wie das Projektmanagement. Viele Studien haben gezeigt, dass „gut gemeinte“ Großprojekte am Ende an ihrer Komplexität gescheitert sind oder schlicht daran, dass der Umsetzungszeitraum so stark aus dem Ruder gelaufen ist, dass das fertige Produkt einfach nicht mehr zeitgemäß war oder benötigt wurde.
5. **Kommunizierbarkeit:** Sowohl der gesellschaftliche Nutzen über die reine Wirtschaftsförderung hinaus als auch das beabsichtigte Endergebnis müssen für alle Bürgerinnen und Bürger im Sinne der Akzeptanz verständlich bleiben.
6. **Zukunftsfähigkeit:** Raumfahrtprojekte müssen so ausgelegt sein, dass der technische Nutzen dem Staat einen dauerhaften Wettbewerbsvorteil verschafft. Dieser kann in technologischem Vorsprung liegen, aber auch in der Schaffung von Infrastruktur, die Promotorenwirkung für neue Geschäftsmodelle hat.

Ausgehend von diesem ersten Kriterienkatalog kommen prinzipiell Förderansätze infrage:

- **Infrastrukturförderung:** Schaffung einer Infrastruktur, die als Nukleus für neue Geschäftsmodelle dienen kann und Anknüpfungspunkt möglichst vieler Wirtschaftspartner entlang der Wertschöpfungskette ist. Hierbei muss es sich um Infrastruktur handeln, die für einzelne Unternehmen eine zu große Investition in Anbetracht ihres Geschäftsmodells ist, die aber – sofern einmal vorhanden – für viele einen Nutzen stiftet. Ein Beispiel, das wir noch näher ausführen werden, ist die Schaffung eines bayerischen Datenzentrums mit einer Bodenstationskomponente für die Fusion terrestrischer und weltraumgestützter Sensordaten im Internet der Dinge. Mit den Daten eines solchen Datenzentrums sind viele neue Geschäftsmodelle denkbar und ableitbar, sodass davon auszugehen ist, dass diese Infrastrukturinvestition den gewünschten Katalysatoreffekt hätte. Zugleich passt die Schaffung einer solchen Infrastruktur weder in das Portfolio von Satellitenherstellern, noch ist sie erschwinglich für Hersteller von Apps oder Softwareprodukten. Auch die Sensorhersteller selbst haben eine andere Marktausrichtung. Da der Aufbau einer solchen Infrastruktur technisch wenig riskant ist, hoch skalierbar bleibt

und durch Nutzung vorhandener Infrastrukturen in wenigen Monaten erste Betriebsergebnisse zeigen könnte, sind weitere Kriterien erfüllt.

- **Raumfahrtgroßprojekt:** Ein zweites klassisches Förderinstrument ist die Auslobung eines Raumfahrtgroßprojektes und Vergabe an einen großen Satellitenhersteller. Hier besteht das Kalkül darin, dass der Satellitenhersteller viel Mittelständler mit deren Technologien einbinden wird, um gemeinsam ein Projekt mit hoher Sichtbarkeit zu realisieren. Nutzen und technologischer Mehrwert werden dabei gleichermaßen durch die Nutzlast des Satelliten bestimmt und könnte verschiedene Facetten der in dieser Studie vorgeschlagenen Nutzendimensionen abdecken und dabei auch die Forschung einbeziehen. Riskant bei solchen Projekten sind jedoch die Zeitlinie sowie eine oft beobachtete Heterogenität der Nutzlastelemente, die sich aus dem Wunsch ergibt, möglichst viele Unternehmen mit ganz unterschiedlichen Produkten zu beteiligen. Die Projekte werden dadurch kompliziert oder auch unbeherrschbar und der erzielte Kompromiss (die „Story“) wird für Außenstehende schwer verständlich. Raumfahrtgroßprojekte können sehr gute Beiträge leisten, aber sie müssen intensiv und professionell durch die Industrie geplant und einem stringenten Kostenmanagement unterworfen werden.
- **„Klassische“ Beschaffung:** Ein alternatives und sehr wirksames Mittel zur Industrieförderung ist die Beschaffung von technischer Ausstattung im Wettbewerb. Hierbei geht es weniger um Ersatzbeschaffungen als vielmehr um den Aufbau neuer oder verbesserter staatlicher Fähigkeiten. Gerade wenn dabei verstärkt Systeme beschafft werden und weniger Einzelkomponenten oder Geräte, kann eine breite Basis von Industrieunternehmen profitieren, bis hin zu Dienstleistern, die später den Betrieb der Systeme sicherstellen. Auch für diesen Ansatz bietet die Studie Vorschläge und Ideen, die schrittweise oder auch komplett mit geringem technischem Risiko zügig umgesetzt werden können.

Die nachfolgende Matrix ordnet die Schwerpunkte der vorliegenden Studie zur Übersicht und ersten Orientierung in die beschriebenen Kategorien ein. Das verwendete Zahlensystem unterscheidet dabei die primäre Natur (1 = besonders ausgeprägt) eines Anwendungsfeldes von Raumfahrt in Bezug auf den Förderansatz von sekundärer (Ziffer 2 = ausgeprägt) und tertiärer (3 = weniger ausgeprägt). Weitere Details werden im Verlauf der Studie ausgeführt.

Tabelle 1: Einordnung der Einsatzschwerpunkte in Projektkategorien

	Geodaten- zentrum	Quanten- kryptographie	Krisenkom- munikation	Breitband- ausbau	Digitale Landwirtschaft	Kleinsatelliten- Konstellation
Infrastrukturförderung	1	2	2	2	1	2
Raumfahrtgroßprojekt	3	1	3	3	3	1
Klassische Beschaffung	2	3	1	1	2	2

Wie bereits zuvor erwähnt, sollte für das Auftreten des Freistaats die Erfahrung der kommerziellen Raumfahrt in den USA aus den letzten Jahren genutzt werden. Die Raumfahrt profitiert, wenn der Staat als Bedarfsträger und Ankerkunde in Form von Beschaffungen auftreten kann. Wenn diese zudem in Konkurrenz verschiedener Anbieter sowie stufenweise stattfindet, kann Innovation zeitgleich mit der Schaffung von Arbeitsplätzen erreicht werden.

1.2 Überlegungen zum Beitrag der Raumfahrt in Pandemiesituationen

In Zeiten von Pandemien, die in der neueren Zeit glücklicherweise bisher nur selten aufgetreten sind, werden auch die Elemente der Daseinsvorsorge des Staates auf die Probe gestellt und durch die Bevölkerung kritisch hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Vollständigkeit überprüft. Mehr als jemals zuvor hat sich dabei in jüngster Zeit gezeigt, welche außerordentliche Bedeutung der digitalen Infrastruktur eines Landes zukommt. Dabei gelten zwei wichtige Voraussetzungen

- Die digitale Infrastruktur muss für *alle* Teile der Bevölkerung zugänglich sein, überall und jederzeit. Die heute noch üblichen Kompromisse zwischen Stadt und Land in Bezug auf den Ausbau der Digitalisierung sind schlagartig nicht mehr akzeptabel, denn die digitale Infrastruktur wird von einem „Komfortgut“ (engl. treffender als „convenience product“ bezeichnet) zu einem essenziellen Baustein der Daseinsfürsorge. Wir werden darauf noch näher eingehen.
- Die digitale Infrastruktur muss *funktionieren*, auch unter völlig *neuen Belastungssituationen* der Netze, der Stromversorgung und Anzahl zugreifender Nutzer. Dass dies in der gegenwärtigen Krise in Deutschland recht gut funktioniert hat, war wohl in gewisser Weise auch ein Glücksfall, der aus der Tatsache resultierte, dass die Menschen gar nicht so schnell auf digitale Kommunikationslösungen umstellen konnten wie die Krise kam. Sehr gut sichtbar wurde das am Beispiel der Schulen, denn am Ende haben die wenigsten Lehrkräfte tatsächlich auf permanenten Online-Unterricht umgestellt und die wenigsten Familien waren in der Lage, ihren Kindern Online-Arbeitsplätze zu schaffen. In Zukunft dürfte aber zu erwarten sein, dass eine verbesserte Medienkompetenz bei Arbeitgebern, Arbeitnehmern und Eltern ein anderes Bild für die nächste Pandemie zeichnen wird.

Aber auch ohne Pandemie dürfte der Trend zum Home-Office bleiben, der durchaus positiv zu sehen ist. Produktive und hochwertige Heimarbeit stärkt den ländlichen Raum, entlastet die Städte, trägt zur Energiewende bei und hilft nicht zuletzt, klassische Rollenbilder in Familien aufzubrechen.

Der Staat wäre daher gut beraten, der digitalen Infrastruktur für Krisensituationen eine ganz neue Bedeutung beizumessen. Pandemien dürften dafür ein gutes Referenzszenario sein, denn im Gegensatz zu anderen Krisen wie Hochwasserereignissen oder Bränden sind Pandemien nicht regional begrenzt. Ferner fordern Pandemien geänderte Verhaltensweisen, die wir aktuell unter neuen Begriffen wie „social distancing“, „Lock-down“ oder „stay-at-home-order“ subsumieren. Auch hier hatten wir wahrscheinlich in der ersten Welle der Pandemie Glück, denn die Situation war

für alle neu und die Menschen haben sie mit einer Mischung aus Angst, Verständnis und Neugier weithin akzeptiert. Wie das bei einer zweiten und dritten Welle aussehen wird, kann man momentan nur spekulieren. Sicher dürfte aber sein: Je angenehmer wir den Menschen das Leben und Arbeiten zuhause gestalten, desto besser sind die Chancen auf Akzeptanz und Erfolg.

Was kann also die Raumfahrt in Krisenzeiten von pandemischen Ausmaßen leisten? Um diese Frage zu beantworten, soll zunächst ein kurzer Abriss zum Stand der Wissenschaft am Beispiel des „Social Distancing“ gegeben werden.

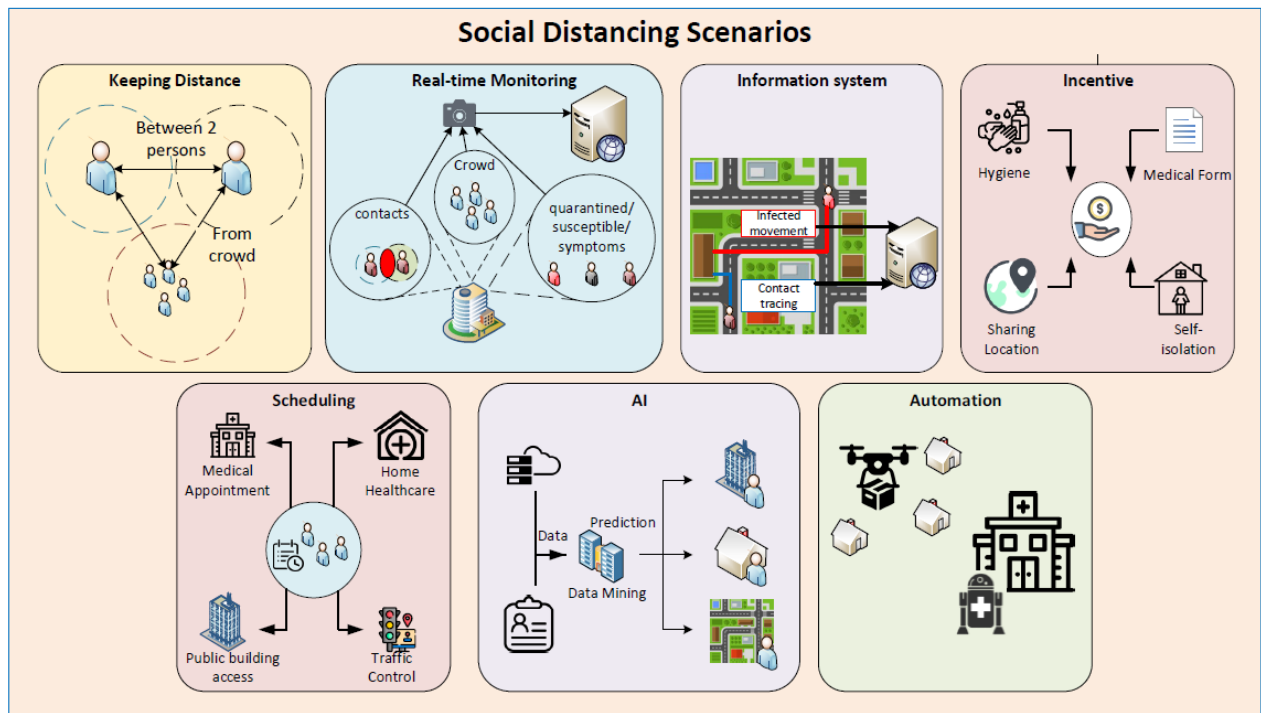


Abbildung 4: Sieben Krisenszenarien des Social Distancing (Nguyen, et al., 2020)

Für das Social Distancing haben sich aus *technologischer Sicht* inzwischen sieben Kernszenarien etabliert, die aus wissenschaftlicher Sicht für eine erfolgreiche Pandemiebekämpfung benötigt werden. Eine Übersicht zeigt Abbildung 4. Eine tatsächliche Umsetzung der technologischen Möglichkeiten erfordert dabei immer eine Abwägung unter gesellschaftlichen, ethischen und juristischen Aspekten. Die Szenarien lassen sich in aller Kürze wie folgt beschreiben:

1. **Abstand halten (*Keeping Distance*):** Hier werden Technologien genutzt, um den Abstand zwischen Personen und Gruppen sicherzustellen und Infektionsketten nachzuverfolgen.
2. **Echtzeit-Monitoring (*Real-Time Monitoring*):** Hier geht es um Beobachtung von Personen, Einrichtungen und Plätzen, bspw. um Massenansammlungen zu registrieren, unerlaubtes Verhalten (bspw. Reiseverhalten) aufzudecken oder um Zugänge von überfüllten Räumen automatisch zu sperren.
3. **Nutzung von Informationssystemen (*Information Systems*):** Hier geht es um Datenbanken, die vielfältige Informationen unterschiedlicher Quellen sammeln

und miteinander verschneiden, um Aussagen über das Bewegungsverhalten zu treffen oder Daten für maschinelle Lernsysteme bereitzustellen.

4. **Nutzung von Belohnungssystemen (*Incentive*):** Dieser Punkt fasst Technologien zusammen, die wie zuvor beschrieben den Menschen das Einhalten besonderer Regeln erleichtern, beispielsweise Breitbandinternetzugänge.
5. **Nutzung von Planungssystemen (*Scheduling*):** Diese Systeme tragen dazu bei, die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Prozesse möglichst effizient am Laufen zu halten, dabei aber Risikofaktoren wie Menschenansammlungen zu vermeiden. Beispiele sind intelligente Warteschlangensysteme für Arztbesuche oder auch Arbeitsplanungsprozesse.
6. **Einsatz von Künstlicher Intelligenz (*KI / AI*):** Computeralgorithmen berechnen und prädiktieren lokale Ausbruchsszenarien, Infektionsketten und Wechselwirkungen zwischen Personen und Organisationen. Sie verwenden dazu die Informationen der anderen Systeme.
7. **Einsatz von Automation:** Mithilfe von Automation werden Prozesse im Güter- und Dienstleistungsaustausch kontaktlos, sodass die Wirtschaft weiterarbeiten kann.

Für jedes der genannten Anwendungsfelder und Szenarien können nun digitale Kernkomponenten identifiziert werden, die das Szenario technisch möglich machen (*enabling*

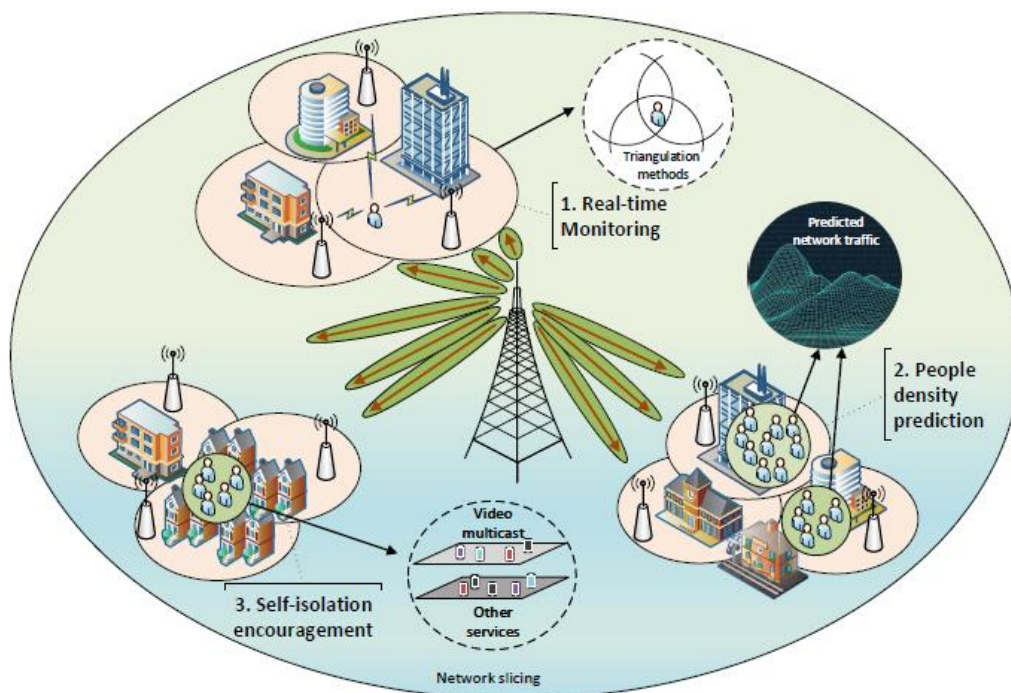


Abbildung 5: Digitale Kernkomponenten für Social Distancing am Beispiel Mobilfunk
(Nguyen, et al., 2020)

technologies). Hierzu zählen *Funktechnologien*, *Navigationstechnologien*, *Erdbeobachtung* oder *Computertechnologien und Algorithmen*. An dieser Stelle ist es nicht erforderlich, ausführlich auf die Szenarien und Technologien einzugehen; stattdessen soll hier ein illustratives Beispiel genügen. Zur Veranschaulichung dient Abbildung 5.

Hier wird die Technologie *Mobilfunk* in den Mittelpunkt gestellt, veranschaulicht durch die Basisstation (den Funkmast) in der Mitte des Bildes. Es zeigt sich, dass mithilfe von Mobilfunksystemen ganz verschiedene Leistungen erbracht werden, die sich einem oder mehreren Anwendungsszenarien zuordnen lassen. Einige Beispiele sind:

1. Die Position eines Nutzers mit Datenendgerät kann permanent recht exakt bestimmt und verfolgt werden.
2. Anhand der eingebuchten Nutzer und ihrer Positionen kann die Dichte von Menschenansammlungen gemessen und verfolgt werden.
3. Mithilfe von Mobilfunk können Personen informiert werden, bspw. in der Selbstisolation oder wenn sie Teil von Infektionsketten sind.
4. Mit Mobilfunk können Menschen zuhause medial versorgt werden, um ihnen die Heimisolation angenehm zu gestalten sie weiter am Arbeitsleben zu beteiligen.
5. (...)

So oder in ähnlicher Form kann nun jede denkbare digitale Technologie und jedes denkbare digitale Produkt untersucht werden, um am Ende alle Voraussetzungen für die Bekämpfung der Pandemie unter aktiver Mitwirkung der Bevölkerung zu schaffen.

Wenn man eine Abstraktionsebene höher ansetzt, also statt von Mobilfunk allgemeiner über Kommunikation spricht, ergibt sich analog dazu das Bild aus Tabelle 2

Tabelle 2: Anwendungsfelder und digitale Kernkompetenzen

Kommunikation	• Erkennung von Menschenansammlungen • Monitoring öffentlicher Plätze • Monitoring infizierter Personen • Verkehrsdichteprojektion • Contact-Tracing • Stay-at-Home Medienversorgung • Verkehrslenkung • ...
Navigation	• Reiseverkehrsmonitoring • Roboterunterstützung • Autonome Ausliefersysteme • Bewegungserkennung • Mobilitätslenkung • ...
Datenbanken und Künstliche Intelligenz	• Bewegungsprofilprognosen • Planung von Arbeitsprozessen • Planung von Arztbesuchen • Trendanalysen • ...
Informationssicherheit / QKD	• Stay-At-Home Arbeitsplätze • Digitaler Fingerabdruck

	• Verteile Arbeitsplätze / Produktionssysteme • ...
Erdbeobachtung	• Reiseverkehrsmonitoring • Autonome Ausliefersysteme • Bewegungserkennung • ...

Es zeigt sich, dass für eine vollständige Behandlung aller erforderlichen Anwendungsfelder eine digitale Infrastruktur benötigt wird, welche die Elemente *Kommunikation, Navigation, KI, Informationssicherheit* (und Datenschutz) sowie im Idealfall auch *Erdbeobachtung* beinhaltet, und zwar für *ALLE Bürgerinnen und Bürger, jederzeit, an jedem Ort* und auch *unter höchster Belastung der Systeme*. Und genau an dieser Stelle setzt der Beitrag der Raumfahrt an, den wir in diesem Gutachten vorstellen und vorschlagen wollen. Konkret wird dieses Gutachten Vorschläge liefern

- wie Mobilfunksysteme im ländlichen Raum mithilfe von satellitengestützten ad-hoc Netzen aufgebaut, verstärkt und von terrestrischer Infrastruktur (bspw. Stromversorgung) unabhängig gemacht werden können.
- wie der Breitbandausbau für die mediale Versorgung der Bevölkerung *kurzfristig* mithilfe von Satellitensystemen verbessert und verstärkt werden kann.
- wie mithilfe von Satellitenlösungen die Genauigkeit von Navigationsdaten verbessert werden kann, sodass Lokalisation und Verfolgung von Objekten überhaupt möglich werden.
- wie mit zentralen Datenbanksystemen verfügbare Informationen aus Satellitendaten und terrestrischen Daten zusammenfasst, verschnitten für Mehrwertdienste bereitgestellt werden können.
- wie Satelliten und hochfliegende Plattformen mit sicherem Schlüsselaustausch die Informationssicherheit verbessern können.
- wie niedrigfliegende Satelliten zum Monitoring auf der Erde beitragen können.

Satelliten kommen immer dann zum Einsatz, wenn digitale Dienste zügig für eine breite Nutzerbasis in der Fläche benötigt werden, entweder zur Unterstützung oder auch zur Überbrückung terrestrischer Infrastruktur. Satellitendienste können die terrestrischen Dienste im voll ausgebauten Zustand nur selten ersetzen, aber dafür haben sie bestimmte günstige Eigenschaften, die ihnen innewohnen und einzig sind. Diese Eigenschaften von Satellitendiensten können in der Krisenbewältigung wichtige Beiträge leisten, wobei die gegenwärtige Pandemie nur ein Beispiel ist.

Zum Abschluss dieses Kapitels sei aber noch erwähnt, dass unsere Absicht nun keineswegs darin besteht, ein Gutachten über die Nutzung von Satelliten für die Pandemiebewältigung zu präsentieren. Vielmehr wollen wir es bei diesem Kapitel zum Thema Pandemien sowie dem Hinweis belassen, dass unsere Vorschläge zur Nutzung von Satelliten immer auch Vorteile für die momentan allgegenwärtige Pandemiesituation bieten, ohne auf diese beschränkt zu sein. Im weiteren Verlauf des Gutachtens werden

wir aber Nutzendimensionen analysieren und diskutieren, die weit über Pandemieszenarien hinausgehen und den Alltag und die Probleme der Menschen in normalen Zeiten adressieren.

1.3 Technologien Erdbeobachtung

Erdumkreisende Satelliten werden im Wesentlichen nach ihrer Flughöhe und der sogenannten Inklination⁴, also dem Winkel der Orbitbahn gegen den Äquator, klassifiziert.

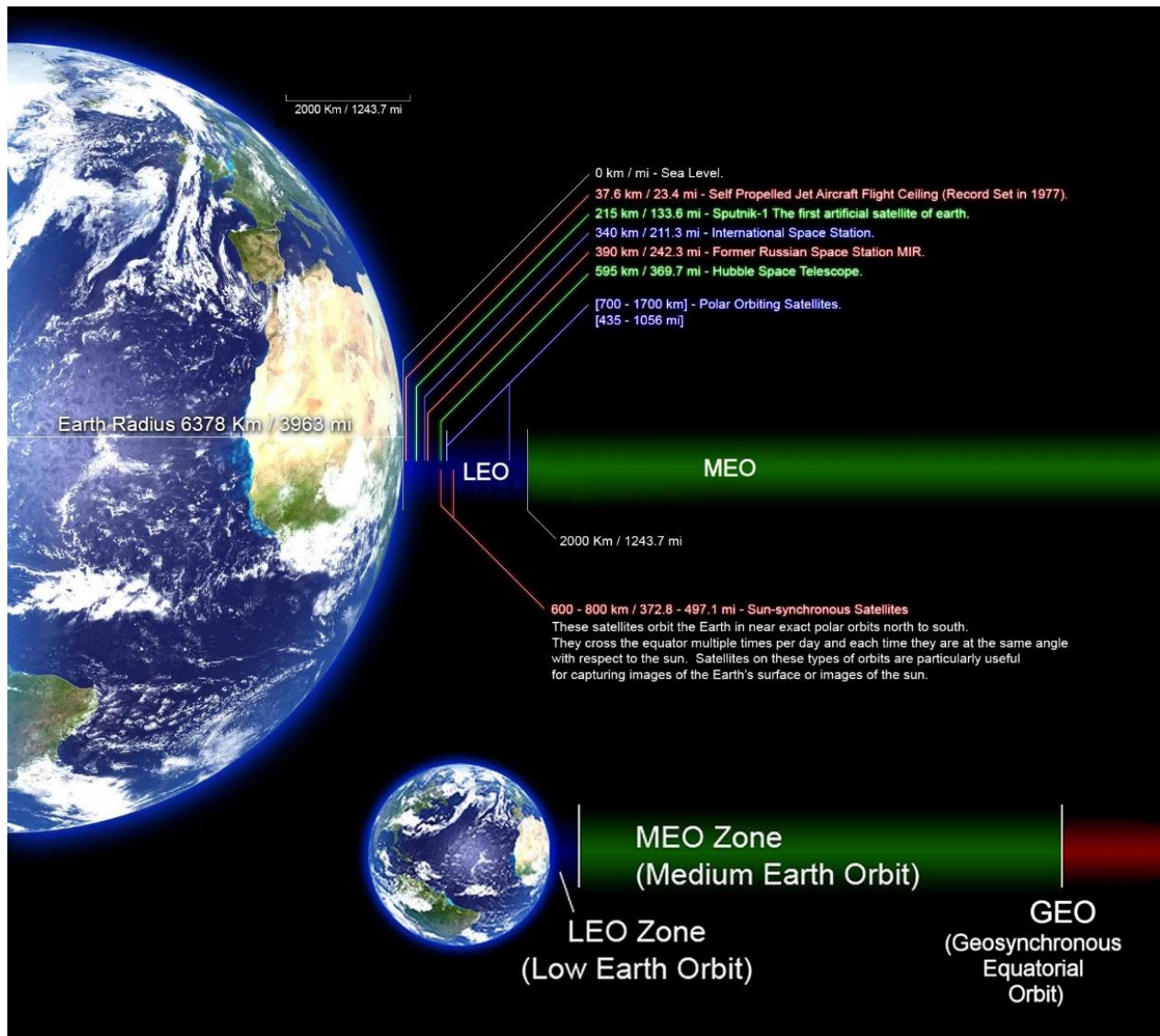


Abbildung 6: Klassifizierung von Satelliten nach Flughöhe, und typische LEO-Satelliten

Quelle: Rakanishu, Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, modifiziert von U. Walter

In sogenannten Low Earth Orbits (LEO: 200 km bis etwa 2000 km Flughöhe, Umlaufzeit zwischen 90 und 130 Minuten) bewegen sich, wegen der geringen Nähe zur Erdoberfläche und zur Atmosphäre, im wesentlichen Erdbeobachtungssatelliten. In Medium Earth Orbits (MEO: 2000 km – 35.786 km Flughöhe) im wesentlichen Navigationssatelliten

⁴ <https://de.wikipedia.org/wiki/Bahnneigung>

(GPS, GLONASS, Galileo) und im sogenannten geosynchronen Erdorbit (GEO: 35.786 km Flughöhe) Kommunikationssatelliten für Nachrichtenübertragung, aber auch militärische Satelliten und Wettersatelliten.

Bei einer Inklination von 0° fliegen Satelliten am Äquator entlang. Je größer die Inklination, umso größer ist der Anteil der Erdoberfläche, der überflogen wird und daher der Beobachtung zugänglich ist. Abbildung 7 zeigt **beispielhaft** die Bahnen der heutigen, etwa 400 Satelliten umfassenden Starlink-Konstellation von SpaceX mit Inklinationen von $53,0^\circ$.

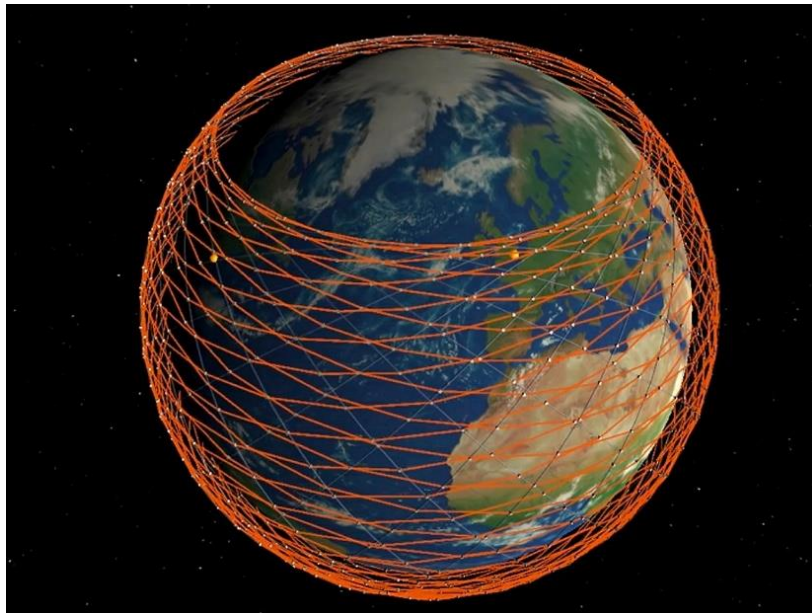


Abbildung 7: Die heutige Starlink-Konstellation mit etwa 400 Satelliten und Inklinationen von $53,0^\circ$

Quelle: Mark Handley, SpaceX's Starlink video

Daher sind – abgesehen von globaler Wetterbeobachtung, die aus GEO durchgeführt wird – für Erdbeobachtung (engl.: Earth Observation, EO) Satelliten in LEO und hohen Inklinationen wesentlich. Dabei sind wiederum die sogenannten sonnensynchronen Satelliten⁵ (siehe Abb. 6) von großer Bedeutung. Da sie nahezu polar fliegen, decken sie nicht nur die gesamte Erdoberfläche ab, sondern werden zudem ständig von der Sonne beschienen, weshalb ihre Solarpaneele ständig Strom erzeugen können, was von großer praktischer Bedeutung ist. Sie haben im optischen Spektralbereich laterale Auflösungen von etwa 30 m bei Landsat, bis zu 30 cm bei modernen heutigen Satelliten wie etwa WorldView-3. Radardaten haben eine laterale Auflösung von bis zu 1 m (TerraSAR-X). Mindestens ebenso wichtig sind die sogenannten Satelliten-Wiederholungszeiten (engl.: revisit periods⁶ oder revisit time), das ist die Zeit, die zwischen den Beobachtungen desselben Punktes auf der Erde durch einen Satelliten vergangen ist. Bei kurzen Wiederholungszeiten spricht man auch von hoher zeitlicher Auflösung. Der Satellit WorldView-3 beispielsweise garantiert eine mittlere Wiederholungszeit von weniger als einem Tag. TerraSAR-X bietet weniger als 2,5 Tage. Beides entspricht einer sehr hohen

⁵ https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnensynchrone_Umlaufbahn

⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_revisit_period

zeitlichen Auflösung. Solche kurzen Zeiten sind oft ausschlaggebend für die Nutzung von EO-Daten, denn wenn es zum Beispiel um die Bestimmung von Reifegraden von Feldfrüchten geht, will man den optimalen Erntezeitpunkt auf den Tag genau bestimmen können.

Fazit

Erdbeobachtungssatelliten in LEO sind Einrichtungen zur globalen Erfassung von Details der Erdoberfläche und Erdatmosphäre. Ihre hohe mögliche laterale Auflösung zusammen mit ihren kurzen Wiederholungszeiten (revisit periods) sind für alle Anwendungen, die eine hohe räumliche und/oder zeitliche Auflösung brauchen, ideal geeignet.

EO-Sensortypen

Erdbeobachtungssatelliten (EO-Satelliten) werden klassifiziert nach ihren Beobachtungssensoren, insbesondere

- dem Typ ihrer Sensoren (aktive Sensoren: Radar, Laser und passive Sensoren: optisch),
- dem Spektralbereich ihrer Sensoren (Radar, Infrarot, optisch) und
- der Anzahl ihrer Spektralkanäle: mono-chromatisch (Radar), optisch panchromatisch (ein schwarz-weiß Kanal für gesamten optischen Bereich), optisch multispektral (typischerweise bis zu 15 Kanäle), optisch hyperspektral (typisch 100 Kanäle oder mehr).

Lasersensoren werden hauptsächlich zur Messung der Aerosole in der Atmosphäre eingesetzt.

Für die Vermessung der Erdoberfläche sind Radar- und optische Sensoren maßgebend. Optische Sensoren haben den Vorteil, finanziell günstig zu sein bei meist hoher lateraler Auflösung. Die Bilddaten sind intuitiv einfach verständlich. Multispektrale und mehr noch hyperspektrale Sensoren, zudem im nahen Infrarot-Bereich, lassen überdies vegetative Unterschiede erkennen oder überhaupt besondere Details herausarbeiten. Durch stereoskopische Aufnahmen lassen sich prinzipiell auch [digitale Höhenmodelle](https://de.wikipedia.org/wiki/Digitales_H%C3%B6henmodell)⁷ (engl.: [digital elevation models](https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_elevation_model)⁸, DEM) anfertigen. Ihr Nachteil ist, dass sie bei Nacht und bei Wolkenbedeckung keine Daten liefern. Aktive Radarsensoren (engl.: [Synthetic Aperture Radar](https://de.wikipedia.org/wiki/Synthetic_Aperture_Radar)⁹, SAR) haben den Vorteil, auch bei Wolkenbedeckung und Tag-und-Nacht Messungen durchführen zu können. Ihr Nachteil ist, dass sie nur monochrom arbeiten und die Interpretation der Daten nicht intuitiv ist, also viel fachliche Erfahrung und Ortsbegehungen zur Identifizierung von Datenpunkten (engl.: [Ground Truth](https://de.wikipedia.org/wiki/Ground_Truth)¹⁰) erforderlich ist. Mit sogenanntem InSAR ([Interferometric SAR](https://de.wikipedia.org/wiki/Interferometric_SAR)¹¹) lassen sich durch Interferometrie zweier Radarstrahlen relativ einfach sehr genaue (< 10 cm) DEMs anfertigen, was von

⁷ https://de.wikipedia.org/wiki/Digitales_H%C3%B6henmodell

⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_elevation_model

⁹ https://de.wikipedia.org/wiki/Synthetic_Aperture_Radar

¹⁰ https://de.wikipedia.org/wiki/Ground_Truth

¹¹ https://de.wikipedia.org/wiki/Interferometric_Synthetic_Aperture_Radar

außerordentlicher Bedeutung für jegliche Anwendung, etwa für Vermessung und Katastrophenschutz, ist. [Gravimetrische](#)¹² Sensoren vermessen das lokale Gravitationsfeld der Erde. Aus dem daraus abgeleiteten [Geoiden](#)¹³ lassen sich großräumig (ab 50.000 qkm) Grundwassermengen, Oberflächen-Wasserspeicher und die Bodenfeuchte bestimmen. Wegen der sehr großräumigen Ergebnisse sind gravimetrischen Daten für Anwendungen in Bayern eher weniger bedeutend.

Fazit

Für angewandte Erdbeobachtung für Bayern spielen Satellitendaten im Radar- und optischen Bereich die wichtigste Rolle. Daher wird in dieser Studie der Einsatz und Nutzung solcher Daten am genauesten analysiert.

1.4 Technologien Kommunikation

Satellitenkommunikation ist ein zentraler Bestandteil des technologischen Fortschritts in der weltweiten Vernetzung und Digitalisierung. Die Anwendungen für die Kommunikation mithilfe von Satelliten im Weltall sind vielfältig und weitverbreitet. Satelliten eignen sich hervorragend, um Signale über eine sehr große Fläche zu verbreiten. Die kostengünstige Verbreitung von Fernsehsignalen ist hierfür das bekannteste Beispiel.

Die Anwendungen für Kommunikationssatelliten gehen aber weit über die Verteilung von Massenmedien hinaus. Mit abgesicherten Punkt-zu-Punkt Verbindungen wird die Übertragung von Live-TV Bildern über Kontinente hinweg genauso ermöglicht wie die Einrichtung missionskritischer Verbindungen zu Standorten im Ausland wie Botschaften oder Militärstützpunkten, aber auch im Rahmen sensibler Firmennetzwerke. In manchen Fällen werden Satelliten dabei sogar dem klassischen glasfaserbasierten Internet vorgezogen, da die Absicherung dieser Satellitenverbindungen gegen Cyber-Angriffe technisch effizienter und zuverlässiger realisiert werden kann. Satelliten ermöglichen heute Sprach- und Datenverbindungen zu jedem Punkt der Erde. Zeitgemäße Satelliten bieten inzwischen Internetverbindungen nicht nur in Flugzeugen und Schiffen, sondern auch in terrestrisch nicht erschlossenen Gebieten. Konsequenter Weise wird daher die Satellitenkommunikation auch als wesentlicher Bestandteil der neu zu errichtenden 5G-Netze betrachtet, was eine Neuerung zu früheren Mobilfunkgenerationen darstellt.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Satellitenindustrie weltweit ist erheblich. Von etwa 320 Mrd. Euro jährlichem Umsatzvolumen der gesamten Raumfahrtindustrie¹⁴ entfallen allein ca. 75% auf die Satellitenindustrie mit den dazugehörigen Services und Equipments. Etwa jeder zweite Euro wird dabei in Kommunikationsanwendungen umgesetzt, wobei die Verbreitung von Satellitenfernsehen mit zwei Drittel dieses Umsatzes noch immer den Löwenanteil stellt. Hier löst vor allem die Verbreitung von internet-basierten Inhalten und Video-on-Demand das klassische, als „lineares Fernsehen“

¹² <https://de.wikipedia.org/wiki/Gravimetrie>

¹³ <https://de.wikipedia.org/wiki/Geoid>

¹⁴ Die hier angegebenen Zahlen spiegeln den Status vor der COVID-19 Pandemie wider.

bezeichnete Angebot ab. Der Markt für satellitenbasierte Angebote wächst vergleichsweise stabil mit ca. 3% pro Jahr, vor allem in den mobilen breitbandigen Satellitenanwendungen sowie im behördlichen Bereich, der Verteidigung und der missionskritischen Kommunikation. Weiteres Wachstum wird von den sog. Mega-Konstellationen erwartet, also gigantischen Netzwerken mehrerer hundert oder tausend Satelliten im erdnahen Orbit, die vor allem für Internetanwendungen vorgesehen sind. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist, dass die BRD viele Weltmarktführer und „hidden champions“ im Bereich der Satellitentechnologie beheimatet, vor allem in Süddeutschland. Eine sehr gute Übersicht über entsprechende Firmen bietet das in Oberpfaffenhofen ansässige Netzwerk BavAIRia e.V. auf seiner Webseite www.bavairia.net.

Weitere wirtschaftliche Impulse werden in den nächsten Jahren von neuen Satellitenanwendungen aus dem Bereich des „Internet der Dinge“ (engl.: Internet of Things, IoT) erwartet. Die Schätzungen über die Anzahl hierfür benötigter Kommunikationsverbindungen gehen derzeit noch weit auseinander, jedoch geht die Mehrzahl der Wissenschaftler und Telekommunikationsunternehmen von einer hohen zweistelligen Milliardenstückzahl weltweit aus. Auch wenn der Löwenanteil dieser Geräte wohl über terrestrische Infrastruktur vernetzt werden wird, zeichnet sich für besonders entlegene geographische Räume ein zunehmendes Angebot an satellitenbasierter Konnektivität ab. Hierbei handelt sich vor allem um Endgeräte kleiner Bauform mit geringen Datenratenanforderungen, die sowohl über niedrigfliegende Satellitenkonstellationen angebunden werden als auch über bestehende geostationäre Satelliten. Während die notwendigen Einzeltechnologien verfügbar sind, fehlt für die Entwicklung wirtschaftlich erfolgreicher Geschäftsmodelle derzeit noch die bodengebundene Infrastruktur, u.a. eine zentrale Bodenstation zum Empfang der Daten sowie ein Datencenter für deren Vor- und Nachverarbeitung. Diese Infrastruktur kann ihre Katalysatorwirkung aber nur entfalten, wenn sie als offen für verschiedene Unternehmen und Geschäftsmodelle gestaltet wird. Aus diesem Grund sowie aus Gründen des Finanzbedarfs bietet sich hier eine Mitwirkung der öffentlichen Hand im Rahmen der Konjunkturförderung an.

Fazit

Satellitenkommunikation gehört seit Jahrzehnten stabil zu den wirtschaftlich erfolgreichsten Raumfahrtanwendungen. Insbesondere als Ergänzung und Erweiterung des Ausbaus von sicheren 5G Netzen, der kritischen Infrastrukturen sowie im Bereich des „Internet der Dinge“ ergeben sich neue Wertschöpfungspotenziale in einem sich verändernden Markt. Bayerische Unternehmen und Forschungsinstitute liefern heute bereits wesentliche technologische Komponenten. Gezielte Infrastrukturmaßnahmen des Freistaats könnten erhebliche Katalysatoreffekte für neue Geschäftsmodelle und KMU entfalten.

Technologisch werden Kommunikationssatelliten in einem ersten Schritt nach ihrem Orbitalabstand von der Erdoberfläche unterschieden. Übliche Orbits liegen zwischen etwa 500km (sog. Low Earth Orbits, LEO) und 36.000km (sog. geostationärer Orbit, GEO): Während geostationäre Satelliten sich mit derselben Geschwindigkeit wie die Erddrehung bewegen und daher von der Erdoberfläche aus stationär erscheinen, müssen sich LEO Satelliten aufgrund der Erdnähe deutlich schneller bewegen, um die erforderliche Zentripetalkraft zum Ausgleich der Erdanziehung aufzubringen. Daher sind einzelne

Satelliten nur für wenige Minuten pro Tag von einem Punkt der Erde aus sichtbar, und es werden viele Satelliten für kontinuierliche Verbindungen benötigt. Die Vor- und Nachteile der Orbits werden in nachfolgender Tabelle miteinander anhand einfacher Kategorien verglichen. Der Begriff „Terminal“ steht dabei synonym für das Endgerät der Nutzer am Boden.

Tabelle 3: Mögliche Auswahlkriterien für verschiedenen Satellitenorbits

Kriterium	GEO Orbit	LEO Orbits
Datenrate bei fester Terminalgröße	niedriger	höher
Benötigte Terminalgröße bei fester Datenratenforderung	größer	kleiner
Signallaufzeit	hoch (ca. 500ms)	gering (<50ms)
Benötigte Satelliten für kontinuierliche Verbindung	1	viele, typ. >60 bis mehrere hundert
Investitionsbedarf (nur Satellitensegment)	geringer, typ. <500 Mio € (ganzer Satellit), <100 Mio € (piggyback)	sehr hoch, typ. >3 Mrd €

Bei LEO Satellitenkonstellationen ist ferner zu beachten, dass sehr unterschiedliche Größen- und Leistungsklassen existieren. Einzelne Satelliten oder kleinere Satellitenkonstellationen werden bereits von sehr kleinen sog. „CubeSats“ geformt. Der Begriff bildet dabei ab, dass sich für diese Klasse von Satelliten ein standardisiertes Format für den Plattformkörper in Würfelform mit Kantenlänge 10cm durchgesetzt hat. CubeSats werden aus Vielfachen dieser Würfel gebildet, was wiederum die standardisierte Integration von Nutzlasten sowie den In-Orbit Transport erleichtert. Solche CubeSats spielen heute vor allem in der Forschung und als Experimentalplattformen eine Rolle. Darüber hinaus gibt es erste kommerzielle Anwendungen in der Erdbeobachtung und im Bereich des Internet der Dinge, die von namhaften Satellitenbetreibern in Europa vorangetrieben werden. CubeSats verwenden weitgehend offene Standards und immer stärker auch standardisierte Schnittstellen, sodass sie einer breiten Öffentlichkeit für Entwicklungen nach dem „open source“ Gedanken zur Verfügung stehen. Firmen nutzen dies vielfach, um gemeinsam mit den Kunden kostengünstige Entwicklungen voranzutreiben. CubeSats bieten zudem den Vorteil vglw. geringer Start- und In-Orbit-Transferkosten sowie geringer Betriebskosten, da viele Satelliten nach Exit der Trägerrakete ausschließlich nach physikalischen Gesetzen fliegen, ohne aktiv in ihrer Lage vom Boden aus gesteuert zu werden. Die Missionen sind daher auch von kürzerer Dauer (Monate bis einige Jahre), bis die Satelliten in die Erdatmosphäre eintreten.

Nach Größe, Tragfähigkeit und elektrischer Leistung oberhalb den CubeSats liegen die Kleinsatelliten (SmallSats). Hier gibt es keine exakte Definition, aber es geht hier um Nutzlastgewichte von etwa 50kg und mehr sowie um eine Gesamtmasse von mehreren hundert Kilogramm. Solche Satellitenplattformen sind professionelle Produkte und geeignet, komplexe Kommunikations- und Erdbeobachtungsnutzlasten mit Lebensdauern von vielen Jahren und hoher Verfügbarkeit zu tragen. Im Gegensatz zu den meisten CubeSats sind diese Satelliten auch voll in Lage und Ausrichtung vom Boden aus geregelt

und sie werden dauerhaft geführt und überwacht. Die Starlink-Satellitenkonstellation nutzt diese Familie von Satelliten. Bei den in vorgenannter Tabelle dargestellten Kosten wurde von einer vergleichbaren SmallSatKonstellation ausgegangen, da später vor allem bei den Telekommunikationsanwendungen nur solche Satelliten für die diskutierten Einsatzbereiche geeignet sind. CubeSats werden dagegen im Rahmen einer möglichen Erdbeobachtungsmission vorgestellt und diskutiert, dann mit anderen Kostenstrukturen.

Eine Alternative zu Satelliten bildet sich derzeit mit der Entwicklung von hochfliegenden Plattformen aus. Es handelt sich dabei um unbemannte Flugzeuge oder Stratosphärenballons, die permanent einen kleineren Ausschnitt der Erdoberfläche überstreichen und als Netzknoten oberhalb der Wolkendecke (typ.15-25km Höhe) fungieren. Diese Objekte verbinden die Vorteile der oben dargestellten Satellitenorbits, d.h. geringe Signallaufzeit und hohe Datenrate bei kleiner Terminalgröße und geringerem Investitionsbedarf. Die Entwicklung dieser Systeme ist aber noch nicht abgeschlossen und ein Markt bildet sich aktuell nur langsam heraus, wobei verschiedene Anwendungen durchaus geeignete Kandidaten für die HAP Technologie darstellen.

Fazit

Die Anforderungen an Datenrate, Häufigkeit der Verbindung und Signallaufzeit bestimmen die Eignung verschiedener Orbits. Wirtschaftlich sinnvoll und umsetzbar sind für Bayern allenfalls nur Beteiligungen an GEO Satelliten („Mitflugrechte“) oder evtl. einzelne LEO Satelliten mit geringer täglicher Verfügbarkeit. Die Auswahl des Raumsegments¹⁵ wird dabei durch das adressierte Anwendungsfeld determiniert.

Ein wichtiger Aspekt im Entwurf einer satellitenbasierten Infrastruktur ist die Integration in das terrestrische Kommunikationsnetz. Die große Mehrzahl der Nutzer wird weltraumbasierte Kommunikation nur akzeptieren, wenn sie sich nahtlos (zumeist wird der engl. Begriff „seamless“ verwendet) in die bekannten terrestrischen Netze integriert und somit mithilfe der üblichen Consumer-Endgeräte benutzbar bleibt. In den letzten Jahren wurde auf nationaler sowie europäischer Ebene enormer Forschungs- und Entwicklungsaufwand in die erforderliche Technik investiert, nicht zuletzt um die marktbeherrschenden Telekommunikationsunternehmen (Telekom, Vodafone, Telefonica) sowie die Netzausrüster (Nokia, Ericsson, Huawei) vom Mehrwert einer weltraumbasierten Kommunikationskomponente zu überzeugen und damit einen neuen Markt für die Satellitenindustrie zu öffnen. Vor allem die in Bayern ansässigen Forschungsinstitute haben sich hier einen erheblichen Wissensvorsprung erarbeitet, aber auch die forschenden KMU wie bspw. die Firma NOMOR in München. Inzwischen mündet dieser Forschungsaufwand sukzessive in Patenten und Ausgründungen aus den Universitäten. Es zeigt sich aber immer deutlicher, dass hierzulande ein institutioneller oder privater Betreiber für die entsprechende Infrastruktur fehlt, obwohl durchaus interessante Geschäftsmodelle zu erkennen sind. Seit die BRD sich in den 90er Jahren vollständig aus dem Betrieb von Weltraumkommunikationsanlagen zurückgezogen hat, dominieren andere europäische Länder wie Luxemburg und Frankreich diesen Markt. Mit dem aktuell zu beobachtenden Innovationsprung im Bereich der 5G Technologien und im Internet der Dinge haben sich

¹⁵ Das Raumsegment beschreibt in der Weltraumtechnologie die technischen Geräte im Orbit, hier konkret die Kommunikationssatelliten.

die Markteintrittsbarrieren innovativer Unternehmen aber reduziert und es bestehen neue Chancen und Möglichkeiten.

Fazit

In der Satellitenkommunikation spielen bodengebundene Infrastrukturen und leistungsfähige Betriebsorganisationen eine ebenso große Rolle wie die Fähigkeit, Satelliten zu bauen und ins All zu verbringen. Vor allem Service-orientierte Geschäftsmodelle mit hohem Wertschöpfungspotenzial hängen entscheidend von der Netzwerkintegration der Satelliten ab. Die entsprechende Infrastruktur ist in Deutschland derzeit kaum vorhanden, würde jungen Unternehmen der sog. „new space economy“ den Markteintritt aber erleichtern.

1.5 Technologien Navigation

Satellitennavigationssysteme sind etablierte Technik und gehören zu den kommerziell erfolgreichsten Raumfahrtanwendungen aller Zeiten. Für die satellitenbasierte Navigation stehen heute mehrere Systeme zur Verfügung, die als GNSS (Global Navigation Satellite Systems) bezeichnet werden. Zu den Bekanntesten gehören das amerikanische Global Positioning System (GPS), das russische GLONASS System sowie das europäische System GALILEO. Alle Systeme strahlen unterschiedlich präzise Referenzdaten zur Orts- und Zeitbestimmung aus. Die meisten Systeme unterscheiden dabei auch Nutzergruppen hinsichtlich der erlaubten Präzision (bspw. zivil-kommerziell, behördlich, militärisch etc.). Die meisten heute kommerziell erhältlichen Navigationsendgeräte nutzen mehrere der verfügbaren Satellitennavigationskonzepte zur Verbesserung der Genauigkeit und zur Plausibilitätsprüfung der empfangenen Daten.

Inzwischen hat sich ein breiter Markt an satellitenbasierten Dienstleistungsangeboten entwickelt. Neben den Grundfunktionen der Ortsbestimmung werden weitere Mehrwertdienste bereitgestellt, bspw. Kartendienste oder Wetterdaten. Die meisten Anwendungen kommen dabei mit den allgemein verfügbaren Referenzsignalen aus, sodass sich kein Handlungsbedarf ergibt. Für einzelne Anwendungen besteht allerdings Bedarf an noch genaueren Informationen, um eine Positionierung im Zentimeterbereich zu ermöglichen (sog. „precision farming“). Zu den prominentesten Nutzern solcher Informationen zählt die Landwirtschaft. Immer wieder diskutiert wird dazu die Frage, ob ein Bundesland wie Bayern seinen Behörden und seiner Bevölkerung ein System zur feinmaschigen Korrektur von Navigationsinformationen zur Verfügung stellen sollte. In Bayern existiert ein solches Korrektursignal auf terrestrischem Wege, insbesondere für die Vermessungsbehörden. Alle Signale von GNSS Satelliten sind Störfaktoren ausgesetzt, die eine hochgenaue Positionierung des Nutzers auf dem Zentimeterlevel nicht ohne Weiteres ermöglichen. Mittels einer speziellen Nutzlast¹⁶, typischerweise auf einem geostationären Satelliten, könnte ein Korrekturdatendienst ausgestrahlt werden, um die Positionierungsgenauigkeit

¹⁶ Unter der Nutzlast verstehen wir die auf einer Satellitenplattform installierten technischen Geräte, die einen besonderen Anwendungszweck erfüllen. So kann ein Satellit mehrere Nutzlasten tragen, bspw. für Kommunikation, Navigation oder Erdbeobachtung.

und Verfügbarkeit auf dieses Niveau zu steigern. Hierbei sind speziell ortsspezifische Korrekturdaten wichtig, die möglichst feinmaschig für den Einsatzbereich Bayern berechnet werden müssen. Bestehende Realisierungen solcher Dienste sind entweder kommerziell oder benötigen eine spezielle Infrastruktur, was in hohen Kosten resultiert. Die vorgeschlagenen Nutzlasten sollen meist den frei verfügbaren Galileo High Accuracy Service (HAS) der Europäischen Kommission ergänzen und für Bayern verbessern, damit eine hohe Positionierungsgenauigkeit für alle Nutzer (Mobilgeräte, Landwirtschaft, Maschinensteuerung, IoT, autonomes Fahren) frei verfügbar ist. Ein Konzept zielt darauf ab, mit Hilfe von Referenzstationen, wie zum Beispiel der bereits vorhandenen SAPOS¹⁷ Bayern Einrichtungen, solche Korrekturdaten zu berechnen. Andere bereits vorhandene Einrichtungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) könnten zur Überwachung des Satelliten verwendet werden. Die Bürger könnten Informationen über die Verfügbarkeit und Qualität der Daten in einem kartenbasierten (z.B. Bayernatlas) Internetportal erhalten.

Eine etwas simplere Alternative zum beschriebenen Ansatz speziell für die Landwirtschaft bietet die Verbreitung von sog. RTK (Real Time Kinematic) Korrekturdaten über Satellit. Solche RTK Daten werden heute bereits terrestrisch verbreitet, bspw. für die Landesvermessungsämter, und es gibt auch kommerzielle Anbieter, die solche Daten über Mobilfunk an Endgeräte senden. Nachteilig ist allerdings, dass außerhalb der terrestrischen Netzabdeckung diese Services nicht verfügbar sind. Vor allem Landwirte leiden unter diesem Nachteil, denn sie benötigen RTK Informationen für die automatisierte Landwirtschaft. Abhilfe schaffen Dienste, die RTK Daten über Satellit bereitstellen. Für GPS bieten vor allem amerikanische Firmen wie TRIMBLE solche Dienste an, Landwirte beklagen aber die Kosten und das oft damit verbundene „Vendor Lock-In“, d.h. den Zwang zum Kauf bestimmter Maschinenmarken (meist aus USA, bspw. von John Deere oder CNH). Bayern könnte hier einen Beitrag zur Autonomie seiner Landwirte leisten und einen eigenen Korrekturdienst über Satellit anbieten. Die entsprechenden Endgeräte für die Maschinen wiederum würden sicherlich durch die Industrie bereitgestellt, wenn erst die technischen Voraussetzungen geschaffen sind. Hersteller wie Fendt in Marktoberdorf, die im Vergleich marktbeherrschenden Anbietern erheblich kleiner sind, aber in Deutschland dennoch den Traktorenmarkt mit dominieren, könnten von einer größeren Marktbreite bei Zusatzausstattungen zum precision farming profitieren.

¹⁷ Der Satellitenpositionierungsdienst SAPOS ist ein Gemeinschaftsprojekt der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland und stellt für jedermann den aktuellen amtlichen Raumbezug mit moderner Technik auf der Grundlage der Satellitensysteme GPS, GLONASS und Galileo bereit.

Fazit

In der Satellitennavigation bieten sich für Bayern derzeit keine sinnvollen Investitionsmöglichkeiten im Bereich der Satelliten bzw. des Weltraumsegments. Gleichwohl haben Dienstleistungen, die Navigationsinformationen nutzen, erhebliche Marktbedeutung. Besonders Investitionen in Infrastruktur zur lokalen Verbesserung der Präzision von Navigationsinformationen in Bereichen mit geringer terrestrischer Netzabdeckung bieten Potential sowohl für die Bevölkerung als auch für KMUs im Bereich der Endgerätefertigung und Softwareprodukte.

1.6 Enabler Technologien

Die fortschreitende Digitalisierung hat in der Raumfahrt zahlreiche neue Anwendungsgebiete eröffnet, und traditionelle Geschäftsbereiche erfahren dadurch starke Umbrüche. Dieser weltweite Trend – genannt New Space – sorgt für einen vermehrten Markteintritt privater Akteure. Insbesondere definiert sich aber New Space durch die Nutzung neuer Technologien und Methoden sowohl auf Satelliten- als auch auf Anwendungsseite. Dies wird allen voran durch miniaturisierte Satelliten, basierend auf kommerziellen Komponenten, und günstigere Startmöglichkeiten mittels kleinerer Trägerraketen oder sogenannten Piggyback-Starts (Kleinsatelliten werden hier als Sekundärnutzlasten „huckepack“ mit einer Primärmission mitgestartet) ermöglicht. Die Kosten für Unternehmen, neue Anwendungen mit Hilfe solcher sogenannten Nano- und Mikrosatelliten auf dem Markt zu platzieren, ist um Größenordnungen geringer als in traditionellen Systemen – was sich auch in der weltweiten Anzahl von Satellitenstarts niederschlägt (siehe Abbildung 8).

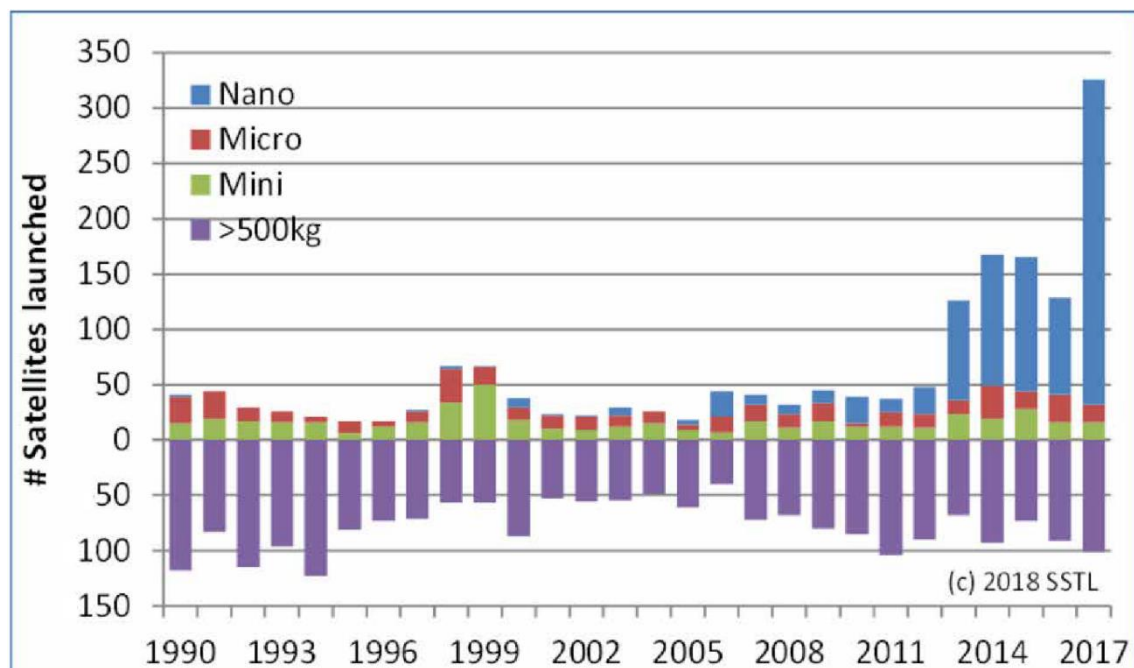


Abbildung 8: weltweite Anzahl an Starts von Satelliten, aufgeteilt in Nanosatelliten (<10 kg), Mikrosatelliten (10-100 kg), Minisatelliten (100-500 kg) und Satelliten > 500 kg. Abbildung adaptiert von (Sweeting, 2018)

CubeSats, also standardisierte Satelliten zwischen 1 kg und 27 kg, sind hier besonders hervorzuheben. Wie in einer Publikation der National Academy of Sciences dargestellt (National Academies of Sciences, 2016), zeigt diese Satellitenklasse starke Anzeichen einer disruptiven Technologie, analog zu PCs oder Smartphones in der Vergangenheit. Die immer breitere Digitalisierung der globalen Wirtschaft und der privaten Lebenswelt, verbunden mit jährlichen Technologiezyklen, erzeugt einen hohen Wettbewerbs- und Innovationsdruck auf die Raumfahrt. New Space ist ein logisches Ergebnis hieraus (SpaceTec Partners & BHO Legal, 2016) (National Academies of Sciences, 2016) (Wertz, Conger, Rufer, Sarzi-Amad, & van Allen, 2011) (Wertz J. R., 2011) (Sweeting, 2018).

Vor allem für kleine und mittlere Unternehmen sind die traditionellen Hürden für einen kommerziellen Einstieg in die Raumfahrt sehr hoch. Das so genannte "Valley of Death" verhindert, dass viele Technologien von niedrigen [Technology Readiness Levels](https://de.wikipedia.org/wiki/Technology_Readiness_Level)¹⁸ (TRLs) zu einer kommerziell vermarktaren Lösung weiterentwickelt werden. Dies ist mit den signifikanten Kosten erklärbar, welche historisch für eine Verifikation im Orbit bestritten werden müssen. Hierdurch wird die Umsetzungsgeschwindigkeit von neuen Technologien in der Raumfahrt abgebremst und Innovationen verhindert. Die Miniaturisierung von Satelliten stellen eine Lösung für dieses Problem dar: Die negative Rückkopplung traditioneller Satelliten- und Raumfahrtprojekte, in welcher sich hohe Kosten, lange Laufzeiten und die Anforderungen an eine hohe Zuverlässigkeit gegenseitig verstärken, und so schnelle Innovationen verhindern, kann so umgekehrt werden (siehe Abbildung 9).



Abbildung 9: Traditionelle negative Rückkopplung in Raumfahrtgroßprojekten (links); Im Vergleich dazu positive Rückkopplung durch New Space und Kleinsatellitenmissionen (rechts) (Wertz, Conger, Rufer, Sarzi-Amad, & van Allen, 2011)

Der weltweite Trend in der kommerziellen Raumfahrt geht weg von Großmissionen hin zu kleinen, schnellen Missionen, mit denen rasch und kostengünstig die Markteignung eines Produkts nachgewiesen werden kann. Dies kann analog zu dem Konzept von Collins and Hansen („bullets vs. cannonballs“) gesehen werden, welches sehr erfolgreich für den digitalen Markt umgesetzt wird (Collins & Hansen, 2011). Die immer schneller werdenden Technologiezyklen aus dem ITK-Sektor befeuern diesen Trend. Firmen wie Planet aus den USA haben bewiesen, wie diese Zyklen, verbunden mit Ansätzen aus der Softwareentwicklung auf ein kommerzielles Kleinsatellitenprogramm umgelegt werden können. Bayern kann hier durch gezielte Impulse Anreize für Unternehmen schaffen, Technologie

¹⁸ https://de.wikipedia.org/wiki/Technology_Readiness_Level

an der Schnittstelle von Raumfahrt und Digitalisierung zu platzieren, und so künftige Massenmärkte zu erschließen. Für künftige Raumfahrtanwendungen sind eine Reihe kritischer Schlüsseltechnologien entscheidend, welche oft aus terrestrischen Anwendungen in die Raumfahrt und Satellitentechnik drängen:

Künstliche Intelligenz (KI): Insbesondere in Anwendungen der Erdbeobachtung/ Geoinformationsdienste werden derzeit oft noch konventionelle Methoden und empirische Modelle eingesetzt, um einen Zusammenhang zwischen den Daten zu finden. KI-Methoden, sowohl bodenseitig als auch satellitenseitig werden dies revolutionieren und sind eine entscheidende Technologie, um aus den riesigen Datenmengen aus dem All (allein die Sentinel Satelliten der ESA produzieren täglich etwa 20 Terrabyte an Daten (Esch, et al., 2018) gewinnbringende kommerzielle Anwendungen zu generieren. Darüber hinaus werden KI und Maschinelles Lernen entscheidende technologische Elemente sein, um die Ressourcenzuteilung in modernen Telekommunikationsnetzen zu optimieren und zu automatisieren. Daraus wird sich ein neuer Markt an hochwertigen Softwareprodukten mit enormen Wertschöpfungspotenzialen ergeben. Marktgiganten wie die chinesische Firma Huawei tragen dieser Prognose schon heute Rechnung, indem sie KI-Technologie-forschungszentren mit zehntausenden Mitarbeitern an einem Standort aufbauen und international Experten wie junge Wissenschaftler abwerben.

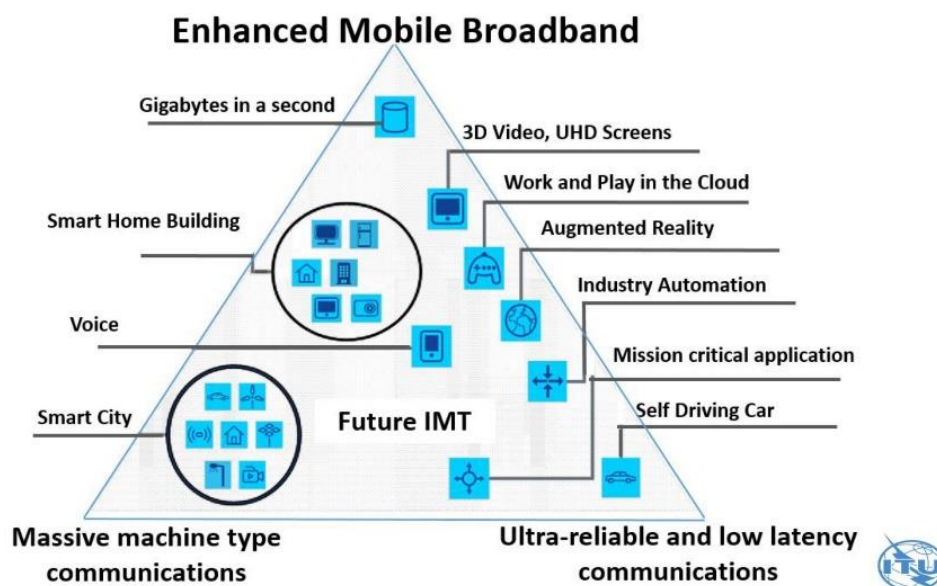


Abbildung 10: Anwendungsfelder für 5G-Technologie, in welcher Satelliten eine kritische Rolle spielen (Murara, 2017).

Big Data: Eng verbunden mit KI-Methoden sind Ansätze aus dem Big Data Bereich, die auf die vorher erwähnten Menge an Daten aus dem All angewandt werden müssen, da herkömmlichen Methoden der Datenverarbeitung für viele Anwendungsfälle nicht oder kaum ausreichen.

5G-Technologie: Die 5G-Technologie transformiert insbesondere IoT- und M2M-Anwendungen. Satelliten werden künftig Teil des weltweiten 5G-Anwendernetzes sein, woraus sich vor allem Anwendungen in 3 Feldern (und deren Schnittpunkten) ergeben (siehe Abbildung 10): Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Ultra-Reliable and Low-

Latency Communications (URLLC), und Massive Machine-Type Communications (mMT) (Murara, 2017). In der mittlerweile als „6G“ bezeichneten nächsten Evolutionsphase der Mobilfunktechnologien werden dazu auch die IoT Anwendungen mit geringen Datenratenanforderungen, geringen Latenzanforderungen und hohen Anforderungen an die Batterielebensdauer eine große Rolle spielen. Außerdem wird die Dominanz von softwarebasierten Funktionen und Netzwerkelementen weiter steigen.

LPWAN: Wie 5G sind auch Netzwerke mit geringen Datenratenanforderungen aber hohen Anforderungen an die Reichweite bei sehr geringer Sendeleistung (Low Power Wide Area Networks, LPWANs) eine kritische Schlüsseltechnologie für die Vernetzung von Milliarden von Geräten und den damit verbundenen IoT- und M2M-Anwendungen. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist der LoRa Standard bzw. sind die als LoRaWAN bezeichneten Netze wie sie bspw. beim MVV in München zum Einsatz kommen. Satelliten spielen hierbei für den weltweiten kostengünstigen Empfang und die Weiterverbreitung dieser LPWAN Daten eine entscheidende Rolle. Für Satelliten optimierte LPWAN Technologien wurden in Bayern an verschiedenen Stellen entwickelt und sind in Startups aus gegründet, sodass ein gewisser Technologievorsprung herrscht.

Blockchain: Ebenso wird für die Kryptographie, vor allem im Schnittpunkt mit IoT-Anwendungen, Blockchain-Technologie eine immer größere Rolle für die Raumfahrt spielen. Erste Anwendungen für die Nachverfolgung von Hilfslieferungen per Satellitennetzwerk zeigen das Potential dieser Technologie: Im ESA-geförderten Projekt [Track&Trust](https://business.esa.int/projects/track-trust)¹⁹ werden beispielsweise Hilfslieferungen in entlegenen Gebieten über Blockchain-Technologie und Satelliten-Uplink abgesichert.

Digital Twin: Der digitale Zwilling stellt insbesondere für Anwendungen der Erdbeobachtung / Geoinformationsdienste entscheidende technologische Vorteile bereit. Er ist eine digitale Reproduktion des realen Systems, beispielsweise der Erde (oder Teilen davon) und stellt das Verhalten realistisch nach.

Satellitennavigation: Eine weitere wichtige Schlüsseltechnologie für Smart Systems, also beispielsweise intelligente Stromsysteme, ist die Satellitennavigation. Hierbei kann sowohl das genaue Positionssignal als auch die genaue Zeitbestimmung von entscheidender Bedeutung sein. Die größten Chancen sind durch das europäische Navigationssystem Galileo im Downstream Market zu finden.

Satelliteninternet: Mit der Satellitenkommunikation durch Satelliteninternet (konventionell und speziell für IoT Anwendungen) ist eine weitere Schlüsseltechnologie für den Downstream Market in naher Zukunft verfügbar.

High Altitude Platform Stations / High Altitude Pseudo Satellites (HAPS): In den letzten Jahren gibt es Bestrebungen ein Bindeglied zwischen herkömmlichen unbemannten Fluggeräten (UAV) und orbitalen Satelliten zu entwickeln. Dieses Bindeglied wird als Höhenplattform, High Altitude Platform oder High Altitude Pseudo Satellite (HAPS) bezeichnet. Es sind unbemannte Einrichtungen, meist sogenannte High-Altitude Long Endurance (HALE) Flugzeuge, die in der Stratosphäre im Bereich bis zu 20 km Höhe und somit oberhalb des zivilen Luftverkehrs zukünftig durch Solarantrieb über viele Monate

¹⁹ <https://business.esa.int/projects/track-trust>

ohne zu landen fliegen können. Weltweit gibt es etwa 12-15 HALE-Projekte. Das für Deutschland interessanteste und auch mit am weitest fortgeschrittene ist [Zephyr](#)²⁰ von Airbus. Zephyr fliegt in Höhen von 15 km bis zu 21,3 km und hält seit dem Juli 2018 den Weltrekord in der Dauerflugzeit von 26 Tagen.

Da HAPS in viel niedrigeren Höhen als Satelliten betrieben werden, ist es möglich, eine kleine Region effektiver abzudecken. Eine geringere Höhe bedeutet auch ein viel geringeres Budget für Telekommunikationsverbindungen (daher ein geringerer Stromverbrauch) und eine geringere Signallaufzeitverzögerung im Vergleich zu Satelliten. Darüber hinaus erfordert die Bereitstellung großer Satelliten erhebliche Zeit- und Geldressourcen in Bezug auf Entwicklung und Start. HAPS hingegen sind vergleichsweise kostengünstiger und schnell einsetzbar. Ein weiterer wesentlicher Unterschied besteht darin, dass ein einmal gestarteter Satellit nicht zur Wartung gelandet werden kann, während dies bei HAPS der Fall ist.

Offen bleiben die tatsächlichen Vollkosten eines HALE-Flugzeug-Systems, weil es bisher noch nicht kommerziell eingesetzt wurde. Es wurde berichtet, dass das Pentagon und die US Navy sieben Zephyr-Flieger beschafft haben, die in 2014 zu einem Preis von 45 Mio. Dollar inklusive einer Bodenstation geliefert wurden. Dazu kommen unbekannte Betriebs- und Wartungskosten.

Quantenkommunikation und Quantencomputing

Die Quantenphysik kennt Besonderheiten, die es in unsere gewöhnlichen makroskopischen Welt nicht gibt und die man technisch ausnutzen kann.

No-Clone Theorem

Eine Besonderheit ist, dass sich Quantenzustände nicht kopieren lassen, ohne sie zu verändern. Ein bei einer Quantenkommunikation übertragenes Photon lässt sich zwar durch einen Dritten abfangen, damit würde aber die Kommunikation zwischen den beiden Partner gestört, was auffiele. Aber ein Photon kann durch einen Dritten eben auch nicht kopiert werden. Diese Abhörsicherheit wird beim [BB84-Protokoll](#)²¹ ausgenutzt.

Quantenverschränkung

Die andere Besonderheit ist die Quantenverschränkung, was bedeutet, dass sich zwei oder mehrere atomare Teilchen, insbesondere zwei Photonen, sich so zusammentun (man sagt verschränken) können, dass sie instantan und das auch über beliebig große Abstände so zusammenwirken, dass sie ein sogenanntes kohärentes Mehrteilchensystem bilden, das man nur durch seinen Gesamtzustand beschreiben kann, jeder Einzelzustand also unbekannt bleibt. Das Besondere dabei ist, dass jeder Eingriff oder auch nur Wechselwirkung mit der Umgebung zum Zerfall dieser Kohärenz führt (sogenannte Dekohärenz).

Verschränkte Mehrteilchensysteme können praktisch für zwei Anwendungen genutzt werden, die nichts miteinander zu tun haben.

²⁰ <https://www.airbus.com/defence/uav/zephyr.html>

²¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Quantenschlüssel%C3%BCsselaustausch#BB84-Protokoll>

1. Quantenkommunikation

Hier werden zwei verschränkte Photonen erzeugt. Damit kann indirekt Information zwischen zwei Partner ausgetauscht werden. Die Sicherheit der Übertragung wird dadurch gewährleistet, dass durch das Abhören eines Dritten, die Verschränkung aufgehoben wird, also der Dritte weder zuhören kann, noch die beiden Partner Informationen weiter austauschen können. Der Informationsaustausch muss in diesem Fall neu gestartet werden, bis die Übertragung ohne Dekohärenz abgeschlossen ist. Das Kryptographieverfahren, das diese Photonenverschränktheit ausnutzt nennt sich [Ekert-Protokoll](#)²².

2. Quantencomputing

Hier wird ein kohärenter Vielteilchenzustand (möglichst viele Atome bei ultratiefen Temperaturen) ausgenutzt, um nicht nur $2^1 = 2$, also binäre Rechnungen wie bei einem gewöhnlichen digitalen Rechner durchzuführen, sondern Rechnungen basierend auf $2^{\text{Anzahl der verschränkten Atome}}$ Zuständen (sogenannte Qbits). Dies erlaubt um viele Größenordnungen schneller Berechnungen. Insbesondere ließe sich dadurch und mit dem sogenannten Shor-Algorithmus ein bisheriger asymmetrischer Kryptokode relativ leicht knacken. Das ist der Grund, warum die Wissenschaftler versuchen, mit dem BB84-Protokoll der Quantenkryptographie sichere symmetrische Kryptokodes zu schaffen.

Quantenkryptographie (QKD)

Die Quantenkryptographie ist ein sehr junges Forschungsfeld innerhalb der Quantenkommunikation, weshalb es bisher noch keine kommerzielle Umsetzung gibt. Da diese Wissenschaft und Technologie jedoch für Bayern interessant erscheint und vom Ministerpräsidenten Söder in seiner Regierungserklärung explizit als wichtiger Teil von *Bavaria One* genannt wurde, ist Quantenkryptographie auch ein wichtiger Teil dieser Studie.

Die Quantenkryptographie beschäftigt sich mit der Verschlüsselung sicherheitskritischer Daten unter Verwendung quantenmechanischer Effekte. Diese besonderen physikalischen Effekte werden jedoch nicht auf die Verschlüsselung selbst angewandt; tatsächlich werden in Zukunft auch weiterhin Daten nach alten bekannten symmetrischen (typischerweise AES-256 Schlüssel) oder asymmetrischen Verfahren (Public-Key-Verfahren) verschlüsselt. Die Quantenkryptographie beschränkt sich vielmehr auf die sichere Erstellung und Verteilung von digitalen Schlüsseln für die besonders einfach anwendbaren symmetrische Kryptosysteme, denn die Sicherheit von Datenübertragungen hängt an der Sicherheit der eingesetzten Schlüssel. Daher ist der Kern der Quantenkryptographie die Quantenschlüsselverteilung (engl. Quantum Key Distribution, QKD) über ein QKD-Netzwerk; dies wird von der ESA als *Quantum Communication Infrastructure* (QCI) bezeichnet. Dieser Begriff wird auch in dieser Studie benutzt.

In Bayern gibt es zwei wichtige Einrichtungen, die sich mit QKD beschäftigen. Auf der Forschungsseite ist dies das Institut für Physik der LMU in München, Prof. Harald

²² <https://de.wikipedia.org/wiki/Quantenschlüsselverteilung>

Weinfurter und auf der technologischen Seite das amerikanische Unternehmen Mynaric AG mit Zweitsitz in Gilching, das Laserterminals baut, über die die Schlüsselverteilung durchgeführt werden kann.

1.7 Einsatzbereiche von Satelliten in Bayern

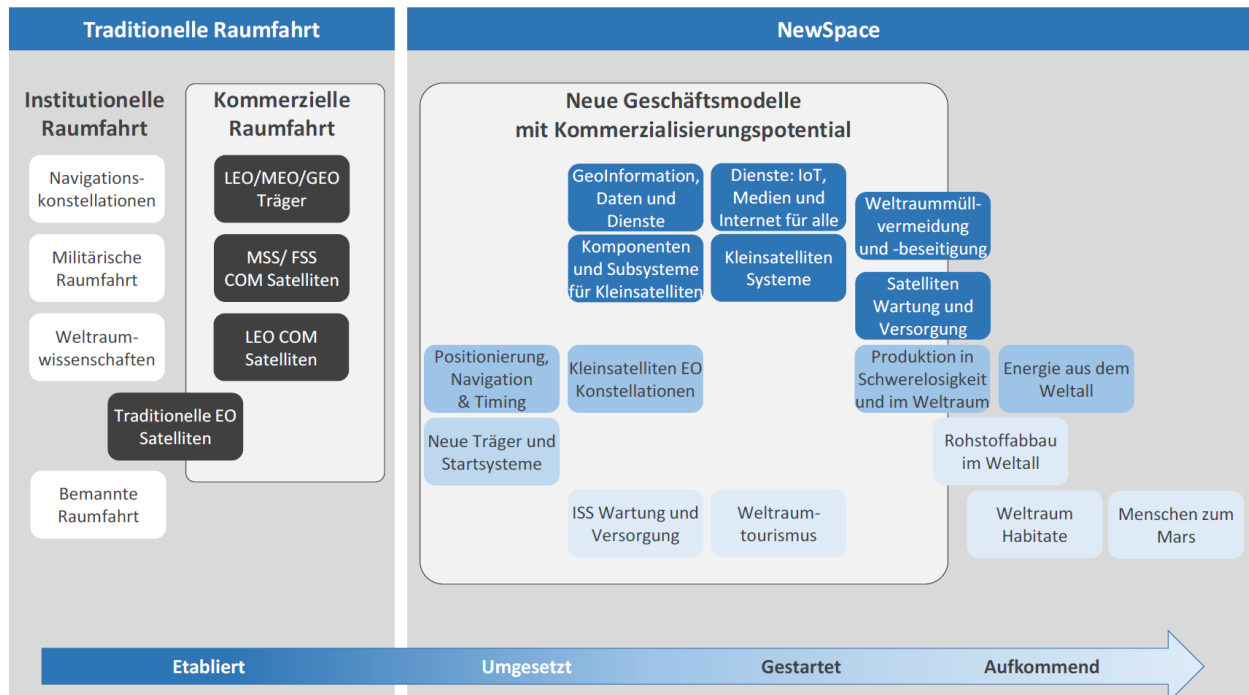


Abbildung 11: Neue Geschäftsmodelle durch New Space (SpaceTec Partners & BHO Legal, 2016)

Durch New Space und die immer breitere Digitalisierung der globalen Wirtschaft und der privaten Lebenswelt ergeben sich zahlreiche neue mögliche Geschäftsmodelle. Abbildung 11 zeigt diese und den Vergleich zur traditionellen Raumfahrt.

Die weltweite Nachfrage an globalen Systemen und Diensten für verschiedenste Anwendungen im Bereich der Digitalisierung (Location Based Services, IoT, Deckung des Breitbandbedarfs, Big Data Anwendungen) steigen kontinuierlich, und neue Geschäftsmodelle (E-Commerce), Dienste (Cloud Computing) und Herangehensweisen (agile Softwareentwicklung) drängen aus dem IT-Sektor in die Raumfahrt (SpaceTec Partners & BHO Legal, 2016).

Wie in (SpaceTec Partners & BHO Legal, 2016) erläutert, sind Markttreiber vorwiegend in folgenden Anwendungsfeldern zu finden:

- Weltweite Datennetze, Breitbandversorgung und das Internet der Dinge
- Geoinformationsdienste für privatwirtschaftliche Anwendungen, z.B. im Versicherungssektor oder in der Öl- und Gasindustrie
- Big Data Anwendungen, deren Datengewinnung satellitengestützt erfolgt
- Autonome Systeme, die sich zur Steuerung und Kontrolle auf Satellitennavigation und -kommunikation stützen

1.7.1 Erdbeobachtung zur Klimadatenerhebung, Umweltüberwachung und für Geoinformationsdienste

Anwendungen zur Erdbeobachtung, insbesondere zur Klimadatenerhebung, Umweltüberwachung und für Geoinformationsdienste stellen das wichtigste kommerzielle Zukunftsfeld von (Klein)Satelliten dar. Bedingt durch den Klimawandel stellt dies sowohl ein drängendes Problem als auch eine große Chance dar, hier Daten von Satelliten aus zu sammeln und diese auch im Downstream Market kommerziell zu nutzen. Beispielsweise liegen nach Berechnung der EU die jährlichen Schäden durch Waldbrand innerhalb der EU bei ca. 3 Milliarden Euro pro Jahr (European Commission, Forest Fires risk reduction: towards an integrated fire management approach in the E.U., 2017). Aufgrund der Klimaerwärmung werden sich laut einer Studie der Europäischen Kommission die durch Waldbrände gefährdeten Gebiete innerhalb der EU bis zum Ende des 21. Jahrhunderts verdreifachen, und vor allem Gebiete in Mittel- und Nordeuropa umfassen (European Commission, FOREST FIRES — Sparking firesmart policies in the EU, 2018). Weitere Beispiele für diesen Trend sind das vermehrte Auftreten von Starkwetterereignissen, die Aufheizung der Städte, langzeitige Trockenperioden und großflächige Waldschäden in Bayern. Gleichzeitig drängen mit der fortschreitenden Digitalisierung Schlüsseltechnologien (Künstliche Intelligenz, Big Data, Digital Twin) in den EO-Downstream Markt, die zahlreiche neue Geschäftsmodelle ermöglichen und auch die wissenschaftliche Auswertung der EO-Daten wesentlich verbessern. Die Vorreiterrolle Bayerns kann hier sowohl für den bayerischen Bürger genutzt werden als auch kommerzielle Exportschlager generieren. Die Auswirkungen des Klimawandels sind bereits jetzt in Bayern messbar und die Entwicklung in den nächsten Jahrzehnten wird diesen Trend verschärfen. Der Einsatzbereich Erdbeobachtung, insbesondere in den Schlüsselfeldern Klimadatenerhebung, Umweltüberwachung und Geoinformationsdienste ist daher aus kommerzieller und gesellschaftlicher Sicht der sinnvollste Einsatzbereich von Satelliten im Zusammenhang mit der Digitalisierung Bayerns.

1.7.2 Smart Farming und Precision Agriculture

Satellitendaten für die Landwirtschaft, zusammengefasst unter den Begriffen Smart Farming und Precision Agriculture sind ein weiteres wichtiges Anwendungsfeld für Bayern. Erste Downstream-Anwendungen aus der Raumfahrt sind hier bereits etabliert. Optische Aufnahmen, Aufnahmen im nahen Infrarot und Radardaten helfen beispielsweise Wachstum auf Feldern zu kontrollieren und den Düngemiteleinsatz und die Bewässerung von Feldern zu optimieren. Satellitennavigationssysteme sind bei der Automatisierung von Erntemaschinen vermehrt im Einsatz, und zunehmend wird die Erdbeobachtung per Satellit auch in der Waldwirtschaft verwendet. Die Land- und Forstwirtschaft ist der drittwichtigste Wirtschaftsfaktor in Bayern und erzielt mit vor- und nachgelagerten Bereichen einen Jahresumsatz von 121 Milliarden Euro und beschäftigt etwa 900.000 Menschen (Bayerischer Bauernverband, 2018). Darüber hinaus stellt sie die Versorgung von einer weit größeren Anzahl von Bürgern sicher und trägt auch wesentlich zum Erhalt der Kulturlandschaft und zum Artenschutz bei. Auch hier wird der Klimawandel einschneidende Veränderungen in Bayern selbst, aber auch über die Landesgrenzen hinaus, mit sich führen. Schlüsseltechnologien der Digitalisierung wie

LPWAN/LoRa-Netzwerke, Künstliche Intelligenz, die 5G-Technologie aber auch das europäische Navigationssystem Galileo können hier künftig noch stärker in der Raumfahrt zur Anwendung kommen, und diese negativen Veränderungen abfedern. Neben den genannten Technologien ist hier vor allem auch die IoT-Einbindung von Satelliten(daten) und die Ergänzung durch komplementäre Sensoren (auf autonomen Fahrzeugen, Drohnen, etc.) entscheidend.

Viele Landwirte und Landwirtschaftsverbände beklagen jedoch, dass der für fast alle Dienste benötigte Ausbau der terrestrischen Kommunikationsinfrastruktur nicht ausreichend fortgeschritten ist. Zugleich sehen sie nach eigener Aussage Bedarf an „5G an der Milchkanne“, wobei sie sich auf zwei wesentliche Merkmale von 5G – die sehr hohen Datenraten und die extrem kurzen Latenzzeiten – beziehen. In der Analyse der Anforderungen zeigt sich zunächst, dass eine gute Internetverfügbarkeit mit ebenfalls guten (4G) Datenraten aber dafür nahezu 100% Netzabdeckung Priorität haben, um entscheidende Elemente des „Smart Farmings“ umsetzen zu können. Gerade flächendeckendes Internet ist entscheidend, da Landmaschinen zunehmen darauf angewiesen sind. In diesem Sinne nutzt und interpretiert der Bayerische Bauernverband nach eigener Aussage auch den „Aufschrei“ der sich nach der kontrovers diskutierten Aussage von Ministerin Karliczek „5G ist nicht an jeder Milchkanne notwendig“ im November 2018 in der breiten Öffentlichkeit gezeigt hat: Die Landwirte haben schlicht Sorge, wie schon beim 4G Ausbau ins Hintertreffen zu geraten, und widersprechen Frau Karliczek medienwirksam. Tatsächlich zeigt sich aber in den digitalen Architekturen, die sich für die Landwirtschaft allmählich herauskristallisieren, dass lokale Netze und lokale Cloud-Lösungen mit lokal verteilten Sensoren höhere Priorität haben als die hinter 5G stehenden Echtzeitanforderungen. Solche Netze nutzen sog. „Edge Computing“ Funktionalitäten, d.h. wichtige Berechnungen und Netzwerkfunktionen werden nicht in einem zentralen Datencenter prozessiert, sondern direkt lokal vor Ort. Damit müssen nicht mehr alle Daten ins Internet, und Echtzeitkommunikationsanforderungen, bspw. zwischen Maschinen, können ebenfalls lokal bedient werden. Ähnliche Ansätze werden unter dem Begriff der „Campusnetze“ auch in größeren Liegenschaften von öffentlicher Hand und Industrie verwendet, jedoch betont der Bayerische Bauernverband, dass eine reine Campusnetzlösung keine dauerhafte Alternative zu gut ausgebauter Mobilfunkinfrastruktur sein kann. Für Smart-Farming Anwendungen werden vordringlich aber andere Aspekte wichtiger. Dazu gehören einerseits hochverfügbare RTK Korrekturdaten für die Navigation, ohne die präzise Maschinenführung unmöglich ist, sowie andererseits die Möglichkeit, Sensorinformationen gezielt abrufen und aggregieren zu können, damit sie mit Karteninformationen in der Maschine verschnitten werden können. Darüber hinaus wäre wünschenswert, Kartendaten mit großem Volumen auch während des Ernteeinsatzes von Datenbanken abrufen zu können. Dies muss aber nicht in Echtzeit geschehen. Aus Sicht der Raumfahrt ergeben sich damit folgende Chancen für den Einsatz von Satelliten:

- Bereitstellung von RTK Korrektursignalen über geostationäre Satelliten
- Bereitstellung von Kartendaten über geostationäre Satelliten
- Anbindung von Sensoren (Tierbeobachtung, Messstellen im Feld, Maschinen) über geostationäre sowie einzelne niedrig fliegende Satelliten, wenn der Abruf von Informationen in geringer Frequenz (stündlich oder nur ein- bis zweimal täglich)

erfolgt und die Datenmengen gering bleiben. Gerade die Sensorik in der Tierhaltung wird als wichtiger Faktor der Digitalisierung vom Bayerischen Bauernverband herausgestellt, da in Bayern die Viehhaltung – vor allem die Milchviehhaltung – in mehr als 75% der Betriebe eine Rolle spielt. Zugleich sind die Betriebe mit durchschnittlich ca. 30ha vglw. klein und werden aufgrund der Topologie in schwierigen Lagen betrieben. Wenn es sich dann noch um Nebenerwerbshöfe (Anteil >60%) handelt, steht auch nur wenig Personal zur Verfügung und die Produktivitätssteigerungen durch digitale Technologien spielen eine wichtige Rolle für die Wettbewerbsfähigkeit.

Die Forderung des Bayerischen Bauernverbandes nach flächendeckender digitaler Infrastruktur mit Gigabitgeschwindigkeiten bleibt dabei erhalten. Heute sind ca. 85% der Haushalte im ländlichen Raum mit >30 Mbit/sec angeschlossen, 75% erreichen mindestens 50 MBit/sec. Glasfaseranschlüsse (Gigabit / sec) sind dagegen nur bei ca. 12% der ländlichen bayerischen Haushalte verfügbar (Fiber-To-The-Home, FTTH), sodass der Gigabitausbau noch einige Zeit in Anspruch nehmen wird. Eine als „Höfebonus“ bezeichnete Förderlinie zur Anbindung von Streusiedlungen und Einzelhoflagen existiert seit 2017. Seit März 2020 ergänzt die Gigabit-Richtlinie der Bayerischen Staatsregierung die Förderbedingungen.

Die große Lücke zwischen verfügbaren Datenraten und gewünschter Gigabitversorgung bietet viel Raum für ergänzende Lösungen, die schnell ausgerollt werden können und akzeptable Datenraten bereitstellen. Satellitenbasierte Internetverbindungen sind eine solche Lösung, die sich zudem gut mit dem zuvor beschriebenen Edge-Computing Ansatz verbinden lässt. In einer unter Leitung der OHB und UniBwM durchgeführten Studie des DLR Raumfahrtmanagements aus dem Jahr 2018 (Chrobry , Knopp Andreas, Knopp, & Schuff, 2018) wurde bspw. gezeigt, wie mithilfe von modernsten Kommunikations-satelliten mit besonders hohem Datendurchsatz (High Throughput Satellites) bis zu 5% der deutschen Haushalte eine breitbandige Internetverbindung > 50 Mbit/sec erhalten könnten²³. Für solche Internetdienste ist es aber erneut erforderlich, eine entsprechende Bodenstation bereitzustellen, die als Einspeisepunkt („Kopfstation“) in das terrestrische Kommunikationsnetz fungiert und zugleich eine definierte und sichere Schnittstelle für die Nutzer bietet. Ein eigener Satellit wird dagegen nicht zwingend benötigt, da Kapazitäten auch angemietet werden können. Sobald aber ein bestimmtes Datenvolumen aufkommt oder ein komplexer Mix an Anwendungen unterstützt werden soll, kann eine eigene Satellitennutzlast als Mitflugpartner eines großen Satellitenbetreibers kommerziell sowie aus Sicht der Datenhoheit sinnvoll sein. Solche Mitflugnutzlasten werden als „piggyback“ oder „hosted payload“ bezeichnet.

²³ Es ist zu beachten, dass in der Studie eine etwa gleichmäßige Flächenaufteilung der Internetanschlüsse in der Bundesrepublik angenommen wurde. Dabei konnten zwischen 400.000 und 2 Mio Haushalte per Satellit angeschlossen werden, je nach angenommenem Überbuchungsfaktor (Lastverteilungsfaktor) des Versorgers. Wenn ein Satellit nur für Bayern zur Verfügung gestellt wird, bleibt die Gesamtzahl der versorgbaren Haushalte demgegenüber nicht ganz konstant, sondern sie reduziert sich aufgrund technischer Gegebenheiten etwas. Prozentual steigt aber natürlich der mögliche Anteil der bayerischen Haushalte mit Satellitenanschlüssen gegenüber der bundesweiten Betrachtung, wenn ein Satellit allein für Bayern vorgesehen wird.

1.7.3 Verkehrsüberwachung und autonome Fahr- und Flugzeuge

Die Verkehrsüberwachung und -koordination ist ein weiteres Zukunftsfeld zur Anwendung von Satelliten in der Schnittstelle zur Digitalisierung. Insbesondere autonomes Fahren und autonomes Fliegen erfordern hochpräzise Satellitennavigation und sind eng mit den Fortschritten im IoT-Bereich verknüpft. Wie bei anderen IoT Anwendungen können Satelliten, insbesondere in Verbindung mit LPWANs und 5G, dezentrale Abdeckung auch in strukturschwachen Regionen bereitstellen. Sofern zukünftig verfügbare Satellitenkonstellationen (bspw. Starlink) genutzt werden können, wird heute vermutet, dass diese dezentrale Abdeckung auch vglw. günstig realisiert werden kann. Die bayerische Strategie im autonomen Fahren und für Lufttaxis kann hier entscheidend mittels Satellitendaten ergänzt werden. Auch die moderne Überwachung des Verkehrs von Fluggeräten bis hin zur automatisierten Paketlieferung durch Drohnen wird durch Satellitendaten gefördert. Insbesondere die Zunahme der Autonomie von Fahrzeugen und Luftfahrzeugen ist hier ein Innovationstreiber. Schlüsseltechnologien an der Schnittstelle zwischen Digitalisierung und Satelliten(daten) sind die Künstliche Intelligenz, sowie 5G- und LPWAN-Netzwerke. Auch kann das Satelliteninternet ein entscheidender Technologietreiber sein. Aufgrund des Stellenwerts der Automobil- und Luftfahrtindustrie in Bayern ist der Einsatz und der Ausbau von Satelliten(daten) in diesem Bereich von großer Bedeutung. Grundsätzlich ist festzustellen, dass Autonomie in der Mobilität nur erreicht werden kann, wenn die Sensorik und Aktorik mit geringer Latenz kommunizieren. Im Allgemeinen werden diese hohen Latenzanforderungen heute gleichgesetzt mit dem Mobilfunkstandard 5G, d.h. als eine Art „5G Performance“ behandelt. In der Tat können aber hohe Latenzanforderungen auch mit anderen Technologien erreicht werden, wie bspw. mit der WLAN-Technik ITS-G5, die ebenfalls im Zusammenhang mit dem autonomen Fahren diskutiert wird²⁴. LPWAN Netzwerke können dabei zur Erfassung von Sensordaten mit geringem Volumen unterstützen, wie das in großen Städten heute schon erfolgt. Erneut sei das Beispiel der Münchner Verkehrsbetriebe genannt. Vor diesem Hintergrund kommen satellitenseitig nur LEO Konstellation für die Ergänzung des Ausbaus der digitalen Verkehrsinfrastruktur infrage. Konstellationen sind aber, wenn überhaupt, nur dann wirtschaftlich, wenn weltweite Kunden adressiert werden können. Eine ergänzende Lösung für Bayern könnte aber darin bestehen, Services bei Betreibern künftiger Mega-Konstellationen (Starlink, Telesat etc.) einzukaufen.

1.7.4 Staatliche Risikovorsorge für Krisen- und Notfallkommunikation

Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) haben charakteristische Anforderungen an die Leistungsfähigkeit ihrer Kommunikationseinrichtungen. Hierzu zählen hohe Verfügbarkeit in allen Situationen sowie hohe Störfestigkeit und Abhörsicherheit. Da kommerzielle Netze diese Anforderungen nur eingeschränkt erfüllen,

²⁴ Ein beachtlicher Teil der Automobilhersteller hat sich in der „5G Automotive Association“ zusammengeschlossen und treibt den Mobilfunkstandard 5G für das autonome Fahren voran, da man sich verbesserte Chancen auf dem Weltmarkt (China) erhofft. Andere Hersteller, zu denen auch Marktführer wie Toyota und VW gehören, favorisieren ITS-G5, insbesondere vor dem Hintergrund der anhaltenden kontroversen Diskussion um die Sicherheit in 5G Netzen.

betreiben BOS hierzulande ein eigenes terrestrisches Kommunikationsnetz, das inzwischen einen sehr guten Ausbaustand erreicht hat und sich auch bei Großlagen und Krisen bewährt. Dieses als „BOS-Funk“ bezeichnete Netz könnte durch eine Satellitenkomponente ergänzt werden für den Fall, dass Krisen- oder Notfallsituationen zu partiellen oder großflächigen Ausfällen der terrestrischen Infrastruktur führen. Solche Situationen sind aus vergangenen Naturkatastrophen wie Hochwasserereignissen bekannt, bei denen es vor allem zum Ausfall der lokalen Stromversorgung kam (z.B. Elbehochwasser in Dresden). Satellitenunterstützung bietet in diesen Fällen eine von terrestrischer Infrastruktur und Energieversorgung unabhängige Alternative, die hoch verfügbar und schnell einsatzbereit ist. Wenn geostationäre Satelliten verwendet werden können (Anforderungen an die Latenz nicht zu hoch), bleibt die Lösung zugleich vglw. kostengünstig. In dem Fall würden mobile Netzknoten eingesetzt, vergleichbar den Basisstationen eines Mobilfunknetzes, die typ. in Spezialfahrzeugen mit handelsüblicher Technik realisiert werden. Die Fahrzeuge spannen ein lokales ad-hoc Netz auf, mit dem sich die BOS Endgeräte verbinden. Dieses Netz wird über Satellit an einen funktionierenden terrestrischen Netzknoten angebunden, der auch in großer Entfernung in einer sicheren Zone verortet sein kann. Erprobte Architekturen dieser Art sind aus dem militärischen Umfeld bekannt, wo regelmäßig Infrastruktur in Einsatzgebieten ohne terrestrische Grundversorgung aufgebaut werden muss. Auch internationale Botschaftsnetze arbeiten teilweise nach diesem Prinzip. Die geostationäre Satellitenkapazität kann dabei angemietet oder als Mitflugnutzlast realisiert werden. Als Kopfstation für das terrestrische Netz wird wiederum eine sichere Bodenstation benötigt. Auch im bundesweiten BOS-Digitalfunknetz kommen mehrere satellitenangebundene mobile Basisstationen (Sat-mBS) zum Einsatz. Für die Einspeisung des Funkverkehrs vom Satellitenlink in das BOS-Digitalfunknetz hat die BDBOS zwei ihrer Vermittlungsstellen mit Satellitenkopfstationen ausgestattet. Von diesen Vermittlungsstellen aus sind die Sat-mBS mit den Vermittlungsstellen in ganz Deutschland verbunden. Mobile Basisstationen kommen vor allem in besonders intensiven Einsatzlagen mit erhöhtem Kapazitätsbedarf an das BOS-Digitalfunknetz oder bei Versorgungsengpässen, bspw. durch Ausfall regulärer Basisstationen, zum Einsatz. Die Sat-mBS bestehen aus einem Zugfahrzeug und einem Anhänger, der die gesamte Systemtechnik für den Betrieb der Sat-mBS beinhaltet. Die aus Bundesmitteln finanzierten Sat-mBS stehen allen polizeilichen und nichtpolizeilichen BOS zur Verfügung. Das bundesländerübergreifende Projekt basierte auf einer Initiative des Inspektors der Bereitschaftspolizeien der Länder im Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. Die Sat-mBS werden bei den Bereitschaftspolizeien der Länder stationiert und dort als verfügbares Einsatzmittel vorgehalten. Diesem Beispiel folgend wird hier eine erweiterte Satellitenfunkausstattung für breite Anwendungsfälle der Krisen- und Notfallkommunikation in Bayern betrachtet.

1.7.5 Industrie 4.0 und IoT-Anwendungen

Die relevante Eigenschaft von Industrie 4.0 und IoT ist die Vernetzung verschiedener Komponenten, beispielsweise im Produktionszyklus (Transportfahrzeuge und Maschinen). Schlüsseltechnologien für die Raumfahrt sind hier die Integration mit der terrestrischen 5G-Technologie, LPWAN-Netzwerke und die Satellitennavigation, Satellitenkommunikation und das Satelliteninternet. Auch erste Anwendungen unter Nutzung von

Blockchain-Technologie und Satelliten, wie das Tracking von Hilfsgütern per Satellitenmodem lassen sich realisieren(siehe Abschnitt 0). In Verbindung mit Künstlicher Intelligenz entstehen sogenannte Artificial Intelligence of Things (AIoT)-Lösungen, also intelligente und vernetzte Systeme welche auch selbstkorrigierende Funktionen ausführen können (Janakiram MSV, 2019). Satelliten sind hier der Schlüssel zur weiträumigen, kostengünstigen Vernetzung dieser Anwendungen. Systeme sind zudem in der Lage autonomer zu arbeiten, und die Produktivität wird erhöht. IoT Anwendungen und Industrie 4.0 besitzen Überlappungen zu Smart Cities und Smart Grids, welche nachfolgend beschrieben werden.

In das Anwendungsfeld „Industrie 4.0“ gehört als wesentlicher Bestandteil die als „Smart Metering“ bezeichnete automatisierte Erfassung von dezentralen Messgrößen. Hier spielen vor allem die Überwachung des Energieverbrauchs sowie die intelligente Verteilung von Energie (Smart Grids) zwischen Erzeugern und Verbrauchern eine große Rolle, nicht zuletzt für die angestrebte Energiewende. Aufgrund des schleppenden Ausbaus der Digitalisierung im ländlichen Raum sowie der besonderen Bedarfe großer Industrieanlagen haben sich für Smart-Metering inzwischen die LPWAN-Netze gegenüber den Mobilfunkstandards durchgesetzt. Besonders erfolgreich und verbreitet ist neben dem LoRa Standard auch der in Bayern entwickelte MIOTY Standard, der ebenfalls zu den LPWAN Technologien gehört und einen unkoordinierten Zugriff verschiedener Sensoren auf das Netz erlaubt. Im Projekt „5G Bavaria“ wird u.a. ein Industrie 4.0 Testbed in Nürnberg aufgebaut, bei dem neben 5G auch LPWAN (MIOTY) betrachtet werden soll. Nahezu alle LPWAN Standards arbeiten heute aber nur terrestrisch und können nicht ohne Weiteres an Satelliten angebunden werden, um bspw. die ländlichen Räume zu erfassen. Bekannte Weiterentwicklungen lassen aber bereits eine Integration in zukünftige LEO Satellitenkonstellationen erwarten. Auch die dann noch fehlenden Verfahren für die Übertragung sehr kleiner Datenmengen über marktverfügbare *geostationäre* Satelliten werden untersucht, sodass in der Kombination von Technologien eine große Breite von IoT Anwendungen über verschiedene Satelliten (auch angemietet oder hosted payload) abgedeckt werden könnte. Dies würde wirksam zur Digitalisierung und zur Energiewende beitragen; bayerische Startups gehören zu den Technologieführern und an Universitäten (bspw. Erlangen, UniBWM) und Fraunhofer Instituten (bspw. IIS) wurden Forschungsgruppen eingerichtet.

1.7.6 Smart Cities

Der Zuzug in Städte der letzten Jahrzehnte wird weiter zunehmen. Nicht nur in der westlichen Welt, sondern vor allem in Entwicklungsländern, ziehen mehr und mehr Menschen in die Städte. Das stellt die Städteverwaltungen in den Bereichen Verkehr, Städteplanung und Umwelt vor große Probleme. Gleichzeitig stellt, wie bereits erwähnt, der Klimawandel Städte künftig vor sehr große Herausforderungen, insbesondere bezüglich der lokalen Aufheizung. Smart Cities, also Städte die IoT Sensoren nutzen, sind eine Antwort auf diese Entwicklung. Satellitendaten sind hier beispielsweise zur Messung des Lokalklimas oder der Schadstoffverteilung in der Stadt einsetzbar. Hier werden die Messdaten mit terrestrischen Sensoren fusioniert und die Aussagekraft der Daten gesteigert. Dies kann direkt zum Schutz der Gesundheit des Bürgers eingesetzt werden.

Auch Anpassungen der Gebäude und andere städteplanerische Maßnahmen können entsprechend umgesetzt und die Verkehrsplanung erleichtert werden. Schlüsseltechnologien aus der Digitalisierung für diese Anwendung sind die Künstliche Intelligenz, LPWAN- und 5G-Netzwerke sowie Big Data. Auch Digital Twins von Städten könnten von Satellitendaten profitieren.

1.7.7 Smart Grids

Smart Grid ist die Bezeichnung für ein intelligentes Stromnetz. Es besteht wie ein herkömmliches Stromnetz aus verschiedenen Stromerzeugern, Energiespeichern und Verbrauchern. Der definierende Unterschied eines intelligenten Stromnetzes zu einem normalen ist die Kommunikation der einzelnen Bestandteile untereinander. Auf diese Weise kann das Stromnetz flexibel auf Änderungen reagieren, was neben einer Optimierung des Betriebs auch unter anderem einen sicheren Betrieb ermöglicht. Analog zu Smart Cities sind hierzu IoT Sensoren einsetzbar, welche über Satelliten einfach vernetzt werden können. Ein intelligentes Stromnetz erlaubt die Integration von kleinen dezentralen Energieproduzenten wie privaten Photovoltaikanlagen und ist ein wichtiges Element für die Energiewende. Schlüsseltechnologie ist neben LPWAN- und 5G-Netzwerken vor allem die Satellitennavigation. Diese ist nötig, um die einzelnen Bestandteile des Smart Grids synchronisieren zu können (Bundesverband der Deutschen Industrie, 2019). Hierzu können die hochgenauen Zeitsignale existierender Satellitennavigationssysteme wie Galileo und GPS verwendet werden. Wie auch bei anderen IoT Anwendungen kann die Datenübertragung von entlegenen Elementen des Stromnetzes über Satelliten erfolgen. Dies können dedizierte Kommunikationssatelliten sein, aber auch das Satelliteninternet kann für diese Aufgabe genutzt werden. Besondere Laufzeitanforderungen ergeben sich nicht, es ist ausreichend, wenn die Laufzeiten genau bekannt sind. Daher kommen GEO und LEO Satelliten infrage.

1.7.8 Quantenkryptographie (QKD)

Um die Bedeutung der QKD für die bayerische Wirtschaft und die dafür notwendigen Technologien zu verdeutlichen, sei zunächst ein Beispiel angeführt. Angenommen zwei bayerische Banken A und B wollen vertrauliche Daten auf digitalem Weg austauschen. Dazu sollen die Daten mit einem klassischen Verfahren verschlüsselt werden, jedoch mit einem so langen gemeinsamen Schlüssel, der eine praktische Entschlüsselung unmöglich macht. Wie können A und B aus der Entfernung einen gemeinsamen Schlüssel vereinbaren, ohne dass ein Dritter davon erfährt, der mit dem Schlüssel die vertraulichen Informationen ebenfalls entschlüsseln könnte?

Die Antwort ist: praktischerweise mit dem quantenmechanischen [BB84-Protokoll](#) (siehe Abschnitt 1.6, Unterabschnitt *Quantenkommunikation und Quantencomputing*) In diesem Verfahren tauschen A mit B Photonen aus, bei denen man nur zwei Zustände (etwa Polarisation) messen kann und die in zwei unterschiedlichen Basisbezugssystemen (vertikal / horizontal, diagonal links/rechts) realisiert werden. Diese beiden möglichen Zustände stellen die Bits 0 und 1 im Dualsystem dar. Es lässt sich zeigen, dass ein solches Protokoll sicherstellt, dass kein Dritter die Information abhören kann, weil durch

ein eventuelles Abhören der gesendete Basiszustand geändert würde und kein Austausch mehr möglich wäre.

Ein Schlüsselaustausch ist zwar auch durch verschränkte Photonen mit dem Ekert-Protokoll möglich (siehe Abschnitt 1.6, Unterabschnitt *Quantenkommunikation und Quantencomputing*) und wurde im Jahre 2020 auch mit einem chinesischen Satelliten [erfolgreich demonstriert](#)²⁵. Die damit erzielte Übertragungsrate ist jedoch sehr gering und betrug im Experiment nur 0,12 Bit pro Sekunde.

Technische Realisierung auf der Erde

Beträgt der räumliche Abstand zwischen A und B weniger als etwa 100 km, so lassen sich zum Austausch der Photonen existierende terrestrische Glasfasernetze benutzen. Für größere Entfernungen ist die Glasfaserdämpfung für eine sichere Photonenübertragung jedoch zu groß. Um dieses Problem im wahrsten Sinne des Wortes zu überbrücken, braucht man Photon-Relaisknotenpunkte (Quantenrepeater), die die abgeschwächten Photonen erneuern. Die Quantenrepeater ließen sich in bestehende Glasfaser-Netzwerkknoten integrieren, müssten aber hinsichtlich möglicher Manipulierbarkeit absolut vertrauenswürdig sein, weshalb abgesicherte Quantenrepeater gemeinhin als *Trusted Nodes* bezeichnet werden. Mehrere Trusted Nodes alle paar Hundert Kilometer können die durch Photonen übertragenen Informationszustände auch über größere Strecken vermittelt (siehe dazu auch das quantenkryptografische [Beijing-Shanghai Backbone Network \(BSBN\)](#)²⁶, das seit 2017 in Betrieb ist, und die Ende 2019 gestartete [BMBF-Forschungsinitiative QuNET](#)²⁷). Der Einbau von Trusted Nodes in existierenden Glasfasernetzen zum Aufbau eines solchen QCI-Fibre Netzwerks wären zwar eine teure aber naheliegende Möglichkeit. Es ist aber nur so sicher wie seine Trusted Nodes räumlich nicht angreifbar sind.

Technische Realisierung durch Satelliten

Unter dem wichtigen Aspekt der Nicht-Angreifbarkeit von Trusted Nodes spielen Satelliten eine wichtige Rolle. Sind sie ideale Trusted Nodes, weil ein räumlicher Zugriff auf sie nahezu unmöglich ist. Wegen der Abhörsicherheit darf (und braucht) ein Laserterminal auf einem Satelliten wenige Milliwatt nicht überschreiten. Daher ist der Leistungsbedarf solcher Satelliten minimal und sie können als Nano- oder gar Piko-Satelliten (wenige Kilogramm Gewicht) realisiert werden. Das wiederum macht sie kostengünstig.

Im Basisszenario für ein sogenanntes QCI-Sat Netzwerk vermittelt ein Satellit (sowohl bei BB84- als auch mit Ekert-Protokoll) als Trusted Node zwischen zwei Banken A und B, die sich beide gleichzeitig in Sichtweite des Satelliten befinden. Die praktische Sichtweite eines Satelliten in LEO beträgt je nach Orbithöhe zwischen etwa 1000 km in 300 km Höhe und 2000 km in 1200 km Höhe. Somit könnte ein Satellit bei einem Überflug beliebige Banken in Deutschland verbinden. In einem räumlich erweiterten Szenario könnte ein QKD-Satellit per BB84 zunächst einen Schlüssel mit der Bank A erzeugen und austauschen, diesen speichern und bei einem Überflug über Bank B ihr diesen Schlüssel per BB84 übertragen. Wegen dieses relativ einfachen Verfahrens könnten die Schlüssel

²⁵ <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2401-y.pdf>

²⁶ http://english.cas.cn/newsroom/archive/news_archive/nu2017/201703/t20170324_175288.shtml

²⁷ <https://www.forschung-it-sicherheit-kommunikationssysteme.de/service/aktuelles/projektstart-qunet>

täglich generiert werden und somit zu einer noch größeren Zuverlässigkeit der Übertragung vertraulicher Daten beitragen.

Hybride Realisierung

Eine QCI könnte auch durch Kombination von QCI-Fibre und QCI-Sat realisiert werden. Da eine Erweiterung bestehender Glasfasernetzwerke zu einem QCI-Fibre sehr kostenintensiv ist, lohnt sich deren Umbau nur in räumlich begrenzten, urbanen Bereichen und bei intensiver Nutzung. Demgegenüber sind Nanosatelliten mit nur wenigen Kilogramm Gewicht günstig und können zwar nur relativ wenige Schlüssel, dafür aber in rurale Bereiche und über größere Entfernung vermitteln. Daher böte sich eine Kombination von QCI-Fibre und QCI-Sat für eine flächendeckende Lösung an, insbesondere für Bayern mit einer historisch geprägten ländlichen Siedlungsstruktur.

Technische Realisierung durch HAPS

Eine weitere sehr interessante Möglichkeit der Realisierung eines großräumigen QCI für Bayern besteht in der Nutzung von HAPS in stratosphärischen Höhen (15-20 km Höhe, also oberhalb des zivilen Flugbetriebs), die dort wegen Solarantrieb im Prinzip unbegrenzt lange über Bayern kreisen könnten. Ihre räumliche Dichte lässt sich nach Bedarf ändern, so dass sie im Prinzip ein relativ einfacher und schnell realisierbarer Ersatz für eine hybride QCI-Fibre/Space wären. Die einzige Unbekannte bei dieser Lösung wären die noch unbekannten Vollkosten eines HAPS-Systems bestehend aus mehreren Flugzeugen.

1.7.9 Weltraumrobotik

Die zukünftige Erkundung und wirtschaftliche Nutzung des Weltalls wird auf robotische Unterstützung angewiesen sein. Auf diese Weise können aufwendige bemannte Einsätze verringert oder gemieden werden. Insbesondere bei der geplanten, von Menschen benutzten Basis in der Mondumlaufbahn („Lunar Gateway“) sowie für die robotische Exploration anderer Himmelskörper spielt autonome und teleoperative Robotik eine große Rolle. Auch ein kommerzielles Interesse (Space Mining) ist hier nachgesiedelt. Solche im Weltraum verifizierte Robotertechnologie kann für terrestrische Anwendungsfelder genutzt werden. In Bayern hat sich das DLR-Institut für Robotik und Mechatronik in Oberpfaffenhofen auf Weltraumrobotik (Robotikarm ROTEX) und terrestrische Anwendungen (Roboter [Justin](#)²⁸) spezialisiert, an der TU München ist es der Lehrstuhl für Raumfahrttechnik in Garching. Die Erfahrungen, die bei der Entwicklung von autonomer Robotik und ferngesteuerter Robotik mittels Telepräsenz entstehen, können oft in anderen irdischen Anwendungsbereichen eingesetzt werden (sogenannte Nutzanwendungen, engl. Spin-Offs). Ein wichtiges Beispiel für ein Weltraum-Spin-Off ist der Einsatz von teleoperierter Robotik für On-Orbit Servicing in der Geriatrie, also der Robotik für Senioren, wie etwa in der [Leuchtturm-Initiative Geriatrie](#)²⁹ der TUM zusammen mit der Stiftung Longlife in Garmisch-Partenkirchen. Wegen des hohen Stellenwertes dieser

²⁸ <https://www.dlr.de/rm/desktopdefault.aspx/tabid-11427/#gallery/29202>

²⁹ <https://geriatrie.msrm.tum.de/de/startseite>

Technologie wird zurzeit unter Federführung der TU München ein von Freistaat Bayern und anderen Stiftungen gefördertes Zentrum für Geriatrie in Garmisch aufgebaut.

1.7.10 Wissenschaft, Forschung und Ausbildung

Wissenschaft, Forschung und ihre mögliche Umsetzung in technische Produkte ist in Deutschland auf unterschiedlichste Institutionen verteilt. Dies gilt auch für Raumfahrttechnik.

Reine Grundlagenforschung und Lehre wird an klassischen Universitäten (etwa LMU und Uni Erlangen) und Max-Planck-Instituten durchgeführt. Technische und angewandte Forschung und Lehre obliegt den Technischen Universitäten und Hochschulen, wobei der Schwerpunkt der Technischen Universitäten auf Forschung und Entwicklung gemeinsam mit Unternehmen und auf höherer Ausbildung (Promotionen) und der der Hochschulen auf Ausbildung liegt. Auftragsforschung insbesondere für Unternehmen ist die Domäne der Fraunhofer-Institute. Großforschungseinrichtungen, also hauptsächlich Forschung und Entwicklung, die „große Anlagen“ benötigen und langfristige Forschungsziele des Staates und der Gesellschaft verfolgen, sogenannte Großforschungszentren, wurden 1995 zur Helmholtz-Gemeinschaft zusammengeführt.

Wissenstransfer in die Wirtschaft

Dieses Geflecht von Forschung einerseits und Unternehmen andererseits hat sich über nun etwa ein Jahrhundert für beide Seiten bewährt und hat internationale Anerkennung gefunden. Das an klassischen Universitäten erlangte Wissen wird in Fachpublikationen veröffentlicht, zu dem im Prinzip jeder Zugang hat. Auch daraus entwickelte Patente können von der Wirtschaft eingesehen werden. Darüber hinaus gibt es gemeinsame Forschungsprojekte zwischen Universitäten und Unternehmen in denen spezifisches Know-how entwickelt und direkt in die Unternehmen transferiert wird. Leider kann sich die Finanzierung solcher Projekte meist nur die großen Unternehmen leisten. Damit auch KMUs davon profitieren, hat Bayern die Bayerische Forschungsförderung (BFS) geschaffen, die 50 Prozent der Projektkosten übernimmt. Ein weiterer großer Vorteil dieser direkten Zusammenarbeit zwischen Universitäten und Unternehmen ist, dass die Unternehmen meist Absolventen der Universitäten aus den Projekten rekrutieren. Fraunhofer-Institute machen neben eigener Forschung ganz gezielt Auftragsforschung jedoch keine Ausbildung und Lehre.

Wissenstransfer in der Raumfahrt

Die Raumfahrt bildet in diesem Geflecht keine Ausnahme. Forschung in Raumfahrttechnik und insbesondere in Satellitentechnik wird zum größten Teil an den Technischen Universitäten einschließlich der Universität der Bundeswehr München sowie zum geringeren Teil an Hochschulen durchgeführt; Ausbildung an beiden. Auch alle anderen Institutionen (MPI, Fraunhofer Institute, Helmholtz = DLR, ...) haben hier dieselben Aufgaben wie in anderen Bereichen auch.

Ein kleiner Unterschied besteht bei der [Deutschen Raumfahrtagentur](https://www.dlr.de/rd)³⁰ (DLR Raumfahrtmanagement). Gemäß des [Deutschen Raumfahrtaufgaben-Übertragungsgesetzes](#)

³⁰ <https://www.dlr.de/rd>

[RAÜG](#)³¹ ist es deren Aufgabe, die Raumfahrt-Finanzmittel der Bundesministerien an die ESA und an Raumfahrtunternehmen über gezielte Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu vergeben³². Auch bei solchen Projekten arbeiten oft Universitäten aber auch Fraunhofer Institute mit Raumfahrtunternehmen zusammen, was zum Wissenstransfer führt und ein Ziel der Projekte ist.

Eine Empfehlung ist, diese bewährten Strukturen so zu belassen und die Bayerische Forschungsstiftung auszubauen, insbesondere für KMUs und Start-Ups interessanter zu gestalten, die von dieser Möglichkeit oft nichts wissen. Dazu sollte die bayerische Regierung über das Wirtschaftsministerium technische Leuchtturmprojekte initiieren und finanzieren, die spezifische bayerische Interessen (etwa Forsten und Landwirtschaft) betreffen und auch ein größeres Bewusstsein in der Bevölkerung für die Wichtigkeit von modernen Technologien für den Wohlstand unserer Gesellschaft schafft. Dies gilt nicht nur für Satellitentechnologien, sondern auch für Technologien in anderen Bereichen.

1.7.11 Finanzmarkt

Eine schnelle Datenübertragung mit einer geringen Übertragungsdauer zwischen Sender und Empfänger kann für Hochgeschwindigkeits-Finanztransaktionen genutzt werden. Dafür wurde speziell die Satellitenkonstellation *Starlink* von SpaceX ausgelegt. Die Blockchain-Technologie und abhörsichere Quantenverschlüsselungsverfahren zur Kommunikation sind hier entscheidende Technologien.

1.7.12 Weltraumbasierte Datenspeicherung

Ein System zur Datenspeicherung und Weiterleitung über ein Netzwerk von Satelliten, wie beispielsweise vom US-amerikanischen Unternehmen [Cloud Constellation Corporation](#)³³ entwickelt, stellt eine weitere Einsatzmöglichkeit dar. Als Vorteil ist hierbei zu sehen, dass die Server im Weltall tatsächlich sehr schwer bis unmöglich physisch zu erreichen sind, und somit hohe Sicherheit bei der Speicherung besteht. Nachteilig wirkt sich aus, dass die Daten (wie in terrestrischen Lösungen auch) übertragen werden müssen, und damit auch potentiell abgehört werden können. Eine Kombination mit QKD und ein künftiger Aufbau eines solche Systems in Europa wäre denkbar. Eine hohe Sicherheit der Daten ist für europäische Regierungen und Unternehmen auch interessant und so kann in diesem sensiblen Bereich eine Abhängigkeit von den USA verhindert werden.

³¹ https://www.gesetze-im-internet.de/ra_g/

³² Eine gewisse Ausnahme bildet das BMVg, das als derzeit einziger nationale Satellitenbetreiber Raumfahrtfinanzmittel hauptsächlich selbst verausgabt und dazu selbst Forschungsk Kooperationen mit den eigenen Universitäten, der Fraunhofer-Gesellschaft sowie den DLR-Instituten unterhält.

³³ <http://spacebelt.com/>

1.7.13 Breitbandausbau

Deutschland rangiert laut OECD beim Breitbandausbau im Vergleich mit anderen Industrienationen aktuell auf einem der hinteren Plätze. Schon heute ist klar: Für eine „digitale Infrastruktur von Weltklasse“ in der Fläche und für alle Haushalte wird der von der Politik bisher favorisierte Glasfaser-netzausbau bis 2025 nicht ausreichen. Wo Informations- und Kommunikationstechnik für die Zivilgesellschaft ebenso bedeutend geworden ist wie für Gewerbe, Industrie, Handel und die Öffentliche Hand, muss eine Breitbandinfrastruktur verlässlich und lückenlos bereitgestellt werden. Schnelles Internet ist heute entscheidend für die Wahl eines Wohn- oder Gewerbestandorts; Ereignisse wie die aktuelle Pandemie machen überdeutlich wie wichtig der Breitbandausbau für die Funktion einer Gesellschaft, für die Wirtschaft und für die Bildung sein kann.

Weltraumbasierte Kommunikation kann eine wichtige Brückentechnologie sein, um dem Breitbandausbau schnell einen erheblichen Schub zu verleihen. Hierbei kommen verschiedene Lösungen infrage, je nach Nutzerforderung in Bezug auf Datenrate und Latenz. Die meisten Internetanwendungen einschließlich Videostreaming sind latenzunkritisch und können sehr kostengünstig über geostationäre Satelliten bereitgestellt werden. Andere Anwendungen wie autonomes Fahren oder Videospiele („Gaming“) haben höchste Anforderungen an die Latenz und sind nur mithilfe von Satellitenkonstellationen in niedrigen Erdsorbits realisierbar. Sprachübertragung und Videokonferenzen (home-office) bilden eine besondere Anwendungsklasse, denn die Latenzanforderungen erfordern nicht zwingend einen niedrigen Erdsorbit, jedoch ist für viele Nutzer die Verzögerung über geostationäre Satelliten nur in besonderen Umständen, wie bspw. dem Ausfall der terrestrischen Kommunikation, akzeptabel. Andererseits ist festzuhalten, dass reine Sprachkommunikation kein primäres Problem des Breitbandausbaus ist, da nahezu 100% der Haushalte mindestens über eine Telefonleitung (Kupfer) verfügen.

Um die Brückentechnologie für ausgewählte ländliche Räume nutzbar zu machen, könnten diese Räume zentral durch eine kleinere Bodenstation (Kopfstation) per Satellit angebunden werden, die ein terrestrisches Netz (4G/5G oder WLAN) für die Bewohner und die Industrie aufbaut. Diese Bodenstation könnte entweder dauerhaft verfügbar sein oder auch nur in Krisensituationen mit erhöhtem Kommunikationsbedarf. Die Satellitenkapazität würde durch angemietete Satelliten oder durch feste Serviceverträge mit großen Satellitenbetreibern bereitgestellt. Eine Kombination mit anderen Anwendungsfeldern, wie bspw. Smart Farming oder behördlicher Krisenkommunikation ist denkbar.

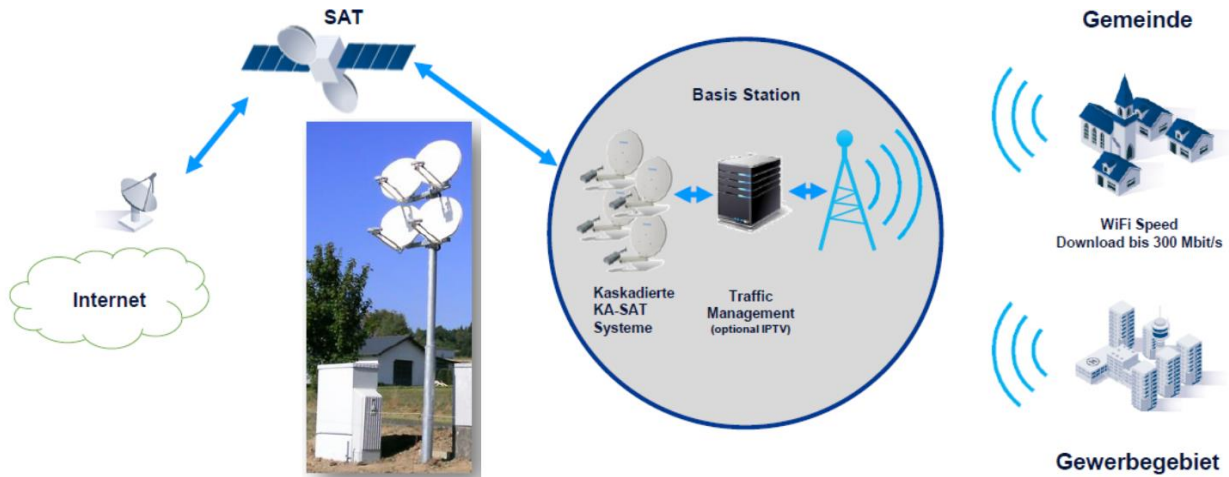


Abbildung 12: Realisierungsbeispiel Breitbandinternet (Quelle: „Schnelles Internet. Sofort. Über(s)All.“, Deutsche Gesellschaft für Luft und Raumfahrt Lilienthal-Oberth e.V., Bonn, 2019)

Ein Realisierungsbeispiel mit Bezug zum marktverfügbaren Satelliten Ka-Sat des französischen Betreibers EUTELSAT zeigt Abbildung 12. Hier wird das lokale Verteilernetz mit WLAN Technologie realisiert; alternativ kann das vorhandene Kupfernetz in der Erde genutzt werden. Zu erkennen ist auch die vergleichsweise kleine und schnell umsetzbare Lösung für die benötigte Kopfstation mithilfe üblicher Satellitenantennen, die aufgrund ihrer Bauform auch für die Bevölkerung einen gewohnten Anblick darstellt und daher gut akzeptiert wird – sogar besser als mancher 5G Mobilfunkmast.

2 Empfehlung besonders aussichtsreicher Einsatzbereiche

2.1 Anforderungserhebung

Im Rahmen dieser Studie wurden zahlreiche Nutzer aus unterschiedlichsten Institutionen (Behörden, private Unternehmen im Datenservice, Anwender, Forschung) befragt, die Satellitendaten und satellitenbasierte Dienstleistungen in ihrer täglichen Arbeit benutzen. Ziel war es, einen Überblick zu bekommen, welche Satelliten mit welchen Daten zurzeit notwendig sind und in Zukunft notwendig werden. Dazu muss man vor allem die Anforderungen der Nutzer an Daten verstehen, aber auch die Interessen und Geschäftsmodelle der bayerischen Industrie. Dieses Kapitel fasst die wichtigsten Erkenntnisse aus den jeweiligen Gesprächen zusammen. Die gewählte Reihenfolge spiegelt sowohl eine ungefähre chronologische Reihenfolge wider aber fasst auch anwendungsähnliche Einrichtungen zusammen.

2.1.1 Erdbeobachtung

EOC / Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD)

Das DFD-Institut als Teil des Earth Observation Centers (EOC) des DLR in Oberpfaffenhofen ist

- das zentrale Satellitendatenarchiv für Erdbeobachtungsdaten in Deutschland, archiviert aber auch Daten europäischer Behörden insbesondere der ESA und EU.
- Aus Datennutzersicht macht es darüber hinaus Datenvorverarbeitung.
- Als wissenschaftliches Institut arbeitet es gemeinsam mit Forschungseinrichtungen weltweit zur Entwicklung von Datenprodukten für neue Anwendungen.
- Als solch breit aufgestellte Einrichtung und im Auftrag des deutschen Innenministeriums stellt es in Form des [Zentrums für satellitengestützte Kriseninformation \(ZKI\)](#)³⁴ in Krisensituationen aufbereitete Daten auch für Behörden zur Verfügung.
- Seit Mitte 2019 kooperiert das DFD mit dem Leibniz-Rechenzentrum in Garching im [Projekt Terra Byte](#)³⁵, in dem große Copernicus-Datenmengen (Big Data) des - mit künstlicher Intelligenz für neue Datenprodukte genutzt werden sollen.

Die archivierten Satellitendaten sind je nach Vertragssituation entweder frei zugänglich, andere sind käuflich, weil ihrerseits zugekauft, wieder andere werden wegen ihrer Sensibilität oder Dateneigentumsrechten nur bestimmten Einrichtungen (etwa zugekaufte WorldView-Daten für das Innenministerium) zur Verfügung gestellt.

Die Nutzer der DFD-Daten sind zum größten Teil private Satellitendaten-Dienstleistungsunternehmen (etwa ESRI, EUSI, SynerGIS, GAF), die die vom DFD vorverarbeiteten Daten weiter verarbeiten – etwa mit anderen Geodaten verschneiden – und so auf die individuellen Wünsche und Anwendungen von Kunden zuschneiden. Weitere wichtige Kunden sind wissenschaftliche Einrichtungen, wie Universitäten, die im wesentlichen neue Anwendungsfelder von Satellitendaten erforschen. In diesem Sinne ist das DFD als

³⁴ https://www.dlr.de/eoc/desktopdefault.aspx/tabid-12937/22595_read-51635/

³⁵ https://www.lrz.de/presse/ereignisse/2019-05-27_dlr-lrz-kooperationsvertrag/

Grundversorgungseinrichtung für institutionelle Satellitendaten und als wissenschaftliche Serviceeinrichtung zu verstehen, die aus diesem Grund beim DLR angesiedelt ist.

Trends. Im Interview mit dem DFD ließen sich folgende Trends im Datenangebot und in der Datennutzung ausmachen:

1. Die frei verfügbaren Sentinel-Daten des EU/ESA Copernicus-Erdbeobachtungs-programms³⁶ werden immer mehr genutzt und sind so zu Butter-und-Brot-Daten für alle Anwender geworden. Sie alleine reichen aber für Anwendungen oft nicht aus, weil ihre räumliche Auflösung mit etwa 20 m gering ist. Oft werden Auflösungen von 1 m oder sogar noch weniger benötigt.
2. Private Satelliten-Dienstunternehmen mit großen Satellitenkonstellationen für Erdbeobachtung, wie etwa Planet Labs³⁷, füllen räumlich und zeitlich die Datenlücken von Sentinel-Daten. → Verstetigung der bisherigen Services.
3. In Zukunft wird es mehr solcher Satellitenkonstellationen geben, auch im bisher nicht so gut abgedeckten Radarbereich, weil sich inzwischen auch Radarsensoren stark miniaturisieren lassen.
4. Die bisher große Anzahl verschiedener Auswerte-Algorithmen werden in Zukunft durch Synergien reduziert.
5. In Zukunft werden vermehrt Atmosphärendaten für Umweltsanwendungen zur Verfügung stehen (laterale „total column data“ von Sentinel 5 und Daten vertikaler Auflösung der Atmosphäre durch Limb-Sounding anderer kommenden Satelliten)
6. Möglicherweise wird großskalige Erdbeobachtung mit dafür geringerer Auflösung (etwa 250 m) in Zukunft aus dem geostationären Orbit (GEO) gemacht, siehe etwa die geplanten koreanischen GEO-KOMPSAT-2A und GEO-KOMPSAT-2B Satelliten.
7. Für kleinskalige Erdbeobachtung in räumlich begrenzten Bereichen (etwa Bayern) könnten in Zukunft auch sogenannte HAPS³⁸ (high altitude platform station, dtsh. Höhenplattform) insbesondere Zephyr von Airbus interessant werden, wenn diese ihre technologische Zuverlässigkeit bewiesen haben und die Wartungskosten im Rahmen bleiben.
8. Der Trend der Nutzer geht hin zu einer sowohl räumlich als auch zeitlich höheren Auflösung der Daten.

EOC / Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF) und TU München (TUM) / Fakultät für Luftfahrt, Raumfahrt und Geodäsie (LRG)

Das IMF-Institut, ebenfalls Teil des Earth Observation Centers (EOC) des DLR in Oberpfaffenhofen, in Personaleinheit (Prof. Bamler) mit der neu geschaffene Fakultät LRG der TUM betreibt Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Fernerkundungstechnologien. Es entwickelt Algorithmen und Methoden, die anwendungsrelevante Geo-Information aus Fernerkundungsdaten extrahieren.

³⁶ <https://www.d-copernicus.de/>

³⁷ <https://www.planet.com/>

³⁸ <https://de.wikipedia.org/wiki/H%C3%B6henplattform>

Die in der Befragung genannten Vorschläge zur besseren Nutzung von EO-Daten in Bayern sind im Wesentlichen:

1. Generelles zu Erdbeobachtungsdaten

- Erdbeobachtung ist wegen der schieren Unmenge von Daten Big Data Business geworden. Nur das europäische Kernforschungszentrum CERN in Genf erzeugt mehr Daten.
- Durch Verschneidung von EO-Daten mit anderen Geodaten und durch den Einsatz von KI ließe sich der Gesamtnutzen vervielfachen. Es gibt von EOC/LRG bereits eine Konzeptstudie zu KI für Copernicus. KI braucht jedoch sehr viel Trainingsdaten, besonders optische. Dafür muss die Menge der dafür kostenlos zur Verfügung gestellten Daten (EO-Daten und klassische Geodaten) deutlich gesteigert werden.
- Da die freie Verfügbarkeit von Geodaten aller Art derzeit nur in NRW praktiziert wird, wenden sich deutsche Forscher meist an das IT.NRW-Archiv in NRW.
- Für KI braucht man nicht nur passende Algorithmen, sondern auch sehr viel Rechenpower und schnellen Zugriff auf Daten.

2. Für die Umsetzung wäre die Schaffung eines **Kompetenzzentrums für EO-Daten** notwendig. In diesem Zentrum soll

- mit Methoden der KI aus EO-Daten neue Pilotanwendungen entwickelt werden.
- eine Datenbank mit einem Höchstleistungsrechner für die dafür riesigen Datenmengen (Big Data) geschaffen werden.
- Ein guter Ausgangspunkt wäre das Terra_Byte Projekt des DFD mit dem LRZ (siehe EOC/DFD Befragung oben). Diese DLR-LRZ Zusammenarbeit ist angeblich ein game changer.
- Die generierten Datensätze müssen homogenisiert, ko-registriert und kalibriert und somit „user ready“ sein.
- Für interessierte Nutzer soll im Zentrum eine Beratung zu möglichen Anwendungen angeboten werden.
- Nutzer sollen im Wesentlichen Behörden oder private EO-Daten-Dienstleister sein (siehe Befragungen weiter unten). Durch das Kompetenzzentrum als Enabler sollen die Dienstleister in die Lage versetzt werden, ihre Endkunden besser bedienen und neue Anwendungsmöglichkeiten erschließen zu können.
- Leuchtturmprojekte sollen über Apps die EO-Möglichkeiten für die Öffentlichkeit (public outreach) darstellen.
- Ein wichtiges Leuchtturmprojekt wäre eine bundesweite Landnutzungs-kartierung.
- Der Kontakt zu den Nutzern soll durch fachliche wie auch Anwendungs-Veranstaltungen gepflegt werden.

- Die Daten und Anwendungen sollten wie von der internationalen [Open Data Cube \(ODC\)](https://www.opendatacube.org/)³⁹ Initiative gefordert und wie in NRW praktiziert (siehe LANUV/NRW Befragungs-Ergebnisse weiter unten) frei verfügbar sein.
 - Dabei sollen die Schnittstellen-Standards des [Open Geospatial Consortiums \(OGC\)](https://www.ogc.org/)⁴⁰ und des [INSPIRE-Standards](https://inspire.ec.europa.eu/)⁴¹ der Europäischen Kommission berücksichtigt werden.
 - Es war der explizite Wunsch des IMF dieses Kompetenzzentrum zusammen mit der TU München / Fakultät für Luftfahrt, Raumfahrt und Geodäsie als kompetenten und unabhängigen Partner zu betreiben.
3. EO-Daten von Copernicus
- Für geodätische Forschung und Anwendungsentwicklung lässt sich mit den vorhandenen Sensortypen und EO-Daten (siehe Abschnitt 1.1) gut arbeiten.
 - wegen ihrer freien Verfügbarkeit hat vor vier Jahren eine neue Ära der Erdbeobachtung begonnen. Das wird einen Erfolg wie das Internet haben: jeder wird die EO-Daten benutzen.
4. Notwendige EO-Daten über die bisher frei verfügbaren Copernicus-Daten hinaus:
- Daten mit kürzerer zeitlicher Auflösung und
 - höherer Raumauflösung (Sentinel-2 optisch etwa 20 m)
 - Während sich ersteres durch kostspielige Planet Lab EO-Daten (alle 3-4 Tage neue Datensätze weltweit) und letztes durch WorldView-Daten abdecken ließe, wäre eine mögliche gleichzeitige Lösung für beide Bedarfe – und im Hinblick auf die regionale Nutzung in Bayern – der Einsatz von HAPS und Drohnen interessant.
 - Es fehlen L-Band Radar-Daten, etwa für die Bestimmung von Bodenfeuchte.
5. Es gibt viel zu geringen wissenschaftlichen Nachwuchs für EO-Anwendungen, insbesondere bei KI für EO. Das läge an der Unwissenheit der Bevölkerung vom Nutzen der Satelliten-Fernerkundung. Daher wäre mehr Öffentlichkeitsarbeit in den Medien und bei Jugendlichen in den Schulen notwendig. Außerdem ließe sich durch junge Formate, wie z.b. Hackathons, Nachwuchs erreichen

ESRI Inc.

Das auch in Bayern/Kranzberg ansässige US-Softwareunternehmen ESRI Inc. verschneidet georeferenzierte Daten aus unterschiedlichen Quellen und entwickelt für ihre Kunden Anwendungssoftware zur Darstellung und Nutzung solcher Daten. Dabei versucht ESRI Satellitendaten auch innovativ zu nutzen, etwa die Darstellung veränderter Menschenströme durch Corona. Auch Umweltprodukte wie die Kartierung der lokalen Ausstöße von CO₂ und Aerosolen gehören zu ihren Produkten. In Krisenzeiten werden bestimmte Daten auch kostenlos zur Verfügung gestellt.

³⁹ <https://www.opendatacube.org/>

⁴⁰ <https://www.ogc.org/>

⁴¹ <https://inspire.ec.europa.eu/>

Im Folgenden die wichtigste Anforderung von ESRI an die Satellitendatenversorgung:

1. Satellitendaten, die schnell und einfach zugänglich sind (möglichst kostenlos) sind die Basis für Dienstleister wie ESRI.
2. Für ESRI sind außerdem wichtig
 - einfacher Zugang zu behördlichen, raumbezogenen Daten (Geodaten, engl. geospatial data) zusammen mit In-Situ-Daten (ground truth).
 - Für einen schnellen und einfachen Zugang zu diesen Daten fordert ESRI die Freigabe (open data) der Landesvermessungsdaten des Bayerischen Finanzministeriums.
(Bemerkung: Diese Forderung wurde auch von anderen Service-Providern (s.u.) insbesondere von Start-Up-Unternehmen erhoben. Sie verweisen auf die freie Nutzung der Vermessungsdaten in NRW, wo dadurch und mit Satellitendaten neue Anwendung einfacher und schneller entwickelt werden können.)
3. Es soll ein **Bayerisches Geoinformationssystem** ([GIS](#)⁴²) aufgebaut werden. Dieses GIS soll über die heutigen Aufgaben des DFD (s.o.) hinausgehen:
 - Neben vorverarbeiteten Satelliten-Geodaten sollen dort auch alle anderen raumbezogenen Geodaten, unter anderem eben auch Landesvermessungsdaten, archiviert werden. Ebenso Umweltdaten von Satelliten aber auch aus anderen Quellen. Das bayerische GIS wäre also als zentrale Ort für alle Geo- und Umweltdaten in Bayern „ganzheitlich“ zu verstehen.
 - Daten und die Schnittstellen müssten gut dokumentiert und vor allem langfristig (Jahrzehnte) verfügbar sein.
 - Zur Auswertung und Aufbereitung der Daten (etwa Zeitreihenanalysen) wären wegen der schieren Menge KI gestützte Verfahren notwendig (siehe Terra_Byte-Projekt von DFD und LRZ, siehe Befragung EOC/DFD oben).
 - Durch KI-verbesserte Front Ends ([GUIs](#)⁴³) soll ein einfacher Image Service zur Verfügung gestellt werden.
 - Pflege der für die Anwendungen notwendigen Algorithmen
 - Vernetzung mit dem GAIA-X-Projekt und GDI-DE der Bundesregierung
 - Um die technische und wissenschaftliche Qualität und Unabhängigkeit des bayerischen GIS sicherzustellen, sollte neben dem DFD eine große bayerische Universität (explizit wurde von ESRI die TU München genannt) Mitbetreiber dieser Einrichtung sein.
 - Eine langfristig gesicherte Finanzierung wäre wichtig, damit Nutzer in Zukunft einfach, effizient und verlässlich auf heutige und historische Daten (Zeitreihenanalysen) zugreifen können.
 - Ein solches Zentrum sollte innerhalb von zwei Jahren zur Verfügung stehen.

⁴² <https://de.wikipedia.org/wiki/Geoinformationssystem>

⁴³ https://de.wikipedia.org/wiki/Grafische_Benutzeroberfl%C3%A4che

4. HAPS könnten eine gute zusätzliche Quelle von Daten darstellen, ebenso wie Drohnen. Bayern könnte hier Vorreiter für automatisierte Flugkorridore und für die europäische Zulassung werden.

GAF AG

Die GAF erzeugt hauptsächlich optische Datenprodukte, dazu etwas radar- und hyperspektralbasierte Produkte. Dazu hat sie Verträge mit allen kommerziellen Anbietern von Satellitendaten und verschneidet diese für ihre Kunden. Ihr Hauptkunde in Deutschland ist die Bundeswehr.

Im Folgenden die wichtigste Anforderung und Wünsche von GAF aus der Befragung:

1. Ein engerer Austausch mit anderen EO-Unternehmen.
2. Eine über staatliche Mittel geförderte engere Anbindung an Universitäten und deren Studenten für gemeinsame Forschung und Entwicklung, etwa
 - zur Nutzung von KI in EO
 - gemeinsame EO-Projekte von GAF, anderen EO-Unternehmen und (explizit) der neuen Fakultät für Luftfahrt, Raumfahrt und Geodäsie der TU München.
3. Die GAF fordert ebenso wie ESRI (s.o.) ein zentrales **Bayerisches GIS**. Sie nennt es *Bayerischen GEO-Informationsdienst*.
 - Darin sollen zusätzlich zu den bereits erwähnten georeferenzierten EO-Daten auch Forstdaten, Landwirtschaftsdaten, Bodenbewegungen und Umweltdaten aufgenommen werden
 - Dabei sollten Anwendungen mit den Daten im Vordergrund stehen und auch das Datenzentrum selbst sollte an Anwendungen arbeiten.
 - Forschung an und mit KI zur Auswertung der Daten sollte forciert werden.
4. Notwendige EO-Daten:
 - hochaufgelöste panchromatische Daten
 - multispektrale optische Daten mit geringerer Auflösung. Hyperspektral ist nicht notwendig.
 - Nahe Echtzeitdaten wären für Umweltmonitoring, insbesondere Dürremonitoring.
5. Interessant: Digitale Höhenmodelle (engl. [digital elevation models, DEMs](#)⁴⁴) aus Videodaten.
6. HAPS sind für stationäre Aufgaben interessant, aber schwer in der Realisierung. Es fehlt noch ein echter Business Case dazu.
7. Ein eigener Satellit oder gar Konstellation für Erdbeobachtung ist für die GAF hinsichtlich der gewonnenen Daten und für Bayern weder sinnvoll noch finanziell machbar. Alle notwendigen Satellitendaten lassen sich bereits gut von existierenden Anbietern einkaufen.

⁴⁴ https://de.wikipedia.org/wiki/Digitales_H%C3%B6henmodell

8. Insbesondere ist kein Bayern-eigenes neues Navigationssystem notwendig. Bisher verfügbare Navi-Systeme reichen.

European Space Imaging (EUSI)

Die in München beheimatete Firma *European Space Imaging* ist im Wesentlichen ein Reseller von hochaufgelösten EO-Daten der Satelliten WorldView 1-4, GeoEye-1, und früher Quickbird und Ikonos und daraus abgeleiteter digitaler Höhenmodelle. Da diese hochaufgelösten EO-Daten die europäischen niedrigauflösenden, dafür aber frei verfügbaren Geodaten der Copernicus-Satelliten in idealerweise ergänzen, ist EUSI ein wichtiger Player im EO-Business.

Im Folgenden die wichtigsten Anforderungen und Wünsche von EUSI aus der Befragung:

1. Die bisher eher schlechte Kommunikation mit bayerischen Behörden sollte verbessert werden. Konkret: Mehr Organisationstransparenz ist notwendig, weil unklar ist wer die Kontaktpersonen für ein Anliegen ist.
2. Kundenwünsche zu EO-Daten
 - Kunden (insbesondere Bundeswehr und Geheimdienst) fordern im Panchromatischen (also im Summenkanal über alle optischen Wellenlängen) eine bessere Auflösung als bisher 30 cm. Die wäre auch für Precision Farming und Disaster Monitoring sinnvoll.
 - bisher verfügbare optisch chromatische Daten, sogenannte RGB-Daten (Rot, Grün, Blau) sind ausreichend
 - Aber, die zeitliche Auflösung (Wiederholrate) ist heute zu gering
3. Für diese Kundenwünsche sind keine eigenen Satelliten von Bayern notwendig, sondern werden durch zukünftige kommerzielle Satelliten abgedeckt.
4. Wie auch ESRI und GAF (s.o.) fordert auch EUSI ein bayerisches GIS, das
 - die existierenden bayerischen Geoportale („mit teilweise merkwürdigen Inhalten“) zusammenfasst.
 - durch klare und einfache Schnittstellen (GUI) eine transparente Plattform für Nutzer ist
 - wo Nutzer, Service-Dienstleister und Behörden „an einem Tisch sitzen“ nach dem Vorbild in NRW (siehe LANUV-Befragung weiter unten)
5. EUSI fordert eine bessere Zusammenarbeit mit öffentlichen Forschungseinrichtungen (siehe auch GAF AG, Punkt 2), auch in Form von Forschungssatelliten.
6. HAPS und Drohnen sind nicht notwendig.
(Bemerkung intern: Diese ständen mit ihrer besseren Auflösung in direkter Konkurrenz zu den von EUSI verkauften EO-Daten.)

PANAGLOBO

Das EO-Daten-Beratungsunternehmen *Panaglobo* in Berlin hat sich über die Jahre auf die Beratung von Behörden spezialisiert. Im Folgenden deren Sicht auf den bayerischen, aber auch bundesdeutschen EO-Nutzermarkt:

1. Mehr und mehr Behörden benutzen EO-Daten für eigene Zwecke. Jedoch ist je nach Behörde das Bewusstsein dafür unterschiedlich. Vorreiter sind:
 - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) in NRW. LANUV hat in Deutschland angeblich die beste Infrastruktur für EO-Daten (Datenbank, Methodik ...)
 - Landesamt für Vermessung und Geoinformation in Schleswig-Holstein
 - Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Sachsen.
2. Trends in der Nutzung:
 - höhere räumliche Auflösung: < 2 m, besser < 50 cm
→ Copernicus-Daten (etwa 20 m) allein sind daher oft nicht ausreichend
→ Geld für kommerzielle EO-Daten-Anbieter (etwa WorldView) notwendig
 - höhere zeitliche Auflösung (kürzere [revisit periods](#)), am besten wöchentlich
 - Verschneidung mit immer mehr und anderen Datensätzen (verschiedene Satelliten (s.o.), aber auch mit nicht EO-Daten, etwa behördliche Daten)
3. Für bessere Nutzung ist der Open-Source-Gedanke, also die freie Nutzung (wie von NRW gehandhabt) von EO-Daten sehr wichtig (vgl. EOC/IMF Befragung, Punkt 1, 9. Spiegelstrich). Das lähmt noch die Nutzung in Bayern. Dies gilt angeblich insbesondere für die Landesvermessungsdaten des Bayerischen Finanzministeriums.
4. Es gibt Behörden (etwa das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie), die auch HAPS und Drohnendaten wegen hoher zeitlicher Auflösung brauchen, z.B. für Veranstaltungs- und Grenzüberwachung)

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV)

Die Aufgaben des StMUV, für die Erdbeobachtungsmethoden und Kommunikation über den Weltraum relevant sind, sind: Naturschutz und Landschaftspflege, Wasserwirtschaft und Hochwasserschutz, Bodenschutz, Luftreinhaltung und Klimaschutz.

Die Ergebnisse der Befragung mit dem StMUV im Einzelnen:

Kommunikation. Mitarbeiter des StMUV sind oft in abgeschiedenen Regionen ohne Kommunikationsabdeckung und ohne digitale Infrastruktur unterwegs. Hier wird dann auf Satellitentelefonie über *Iridium*, realisiert über die bayerische Firma IABG, zurückgegriffen. Ein echter Datentransfer, wie ihn eine normale Internetanbindung ermöglicht, ist so aber kaum möglich.

- 1) Hier wäre also ein digitales Netz für Sprache und für Datentransfer mit hoher Datenrate notwendig.

Erdbeobachtungsdaten. Bisher benutzt das StMUV noch keine EO-Daten,

- 2) aber interessiert sich dafür, ein eigenes EO-Daten-Knowhow aufbauen und dann in gemeinsamen Projekten mit anderen Behörden zusammenzuarbeiten, etwa in den Bereichen Hangrutschen und Wassergüte.

- 3) Diese EO-Daten würde es gerne mit Daten eigener Dienste (Luftschadstoffe, Badegewässerqualität, Hochwasser-Nachrichtendienst, Lawinenwarndienst, Erdbebedienst, Naturgefahren, Wetterwarndienst...) und in Zusammenarbeit mit dem DFD (siehe oben) und Universitäten verschneiden,
 - um angedachte Anwendungslösungen in Form von Leuchtturmprojekten zu entwickeln. Dazu zählt ein Umweltatlas Bayern.
 - Die Finanzierung solcher Leuchtturmprojekte sollte vom DLD/Raumfahrt-Management übernommen werden.
- 4) Das StMUV wies darauf hin, dass
 - gemäß des *Deutschen Umweltinformationsgesetz* (UIG) alle solche Umweltdaten der Öffentlichkeit kostenlos zur Verfügung gestellt werden müssen. Daher stellt sie ihre Daten bereits heute unter der Creative Commons Lizenz CC-BY im Internet frei zur Verfügung. Diese Daten liegen in einem eigenen Datenzentrum.
 - gemäß der EU-Richtlinie 2007/2/EG müssen für die Datenarchivierung die Standards von INSPIRE (Datenschnittstellen, Datenmodelle, Dateninfrastruktur) angewendet werden.
- 5) Daten von Copernicus
 - sind für die StMUV-Zwecke, nämlich Gewässergüte, Hangrutsche und Atmosphären-Schadstoffe bereits gut geeignet.
 - dazu reichen die Wellenlängenkanäle von Copernicus (Radar, visuell, near-IR) vollkommen aus.
 - Eine bessere räumliche und zeitliche Auflösung wäre aber wünschenswert um Aussagen und Ergebnisse zu präzisieren. Mit einer räumlichen Auflösung von 1 m und einer Wiederholrate von 2 Wochen ließen sich Flächen überwachen.
- 6) Um wenigstens eine lokal bessere Auflösung zu erreichen, werden viele Daten direkt vor Ort erhoben mit lokalen Messungen und Überflügen von Drohnen (z.B. vom Wasseramt).
- 7) Bayernweite bessere Auflösungen
 - wären die Grundlage einer Vielzahl neuer Anwendungen, wie z.B. Subrosion und Hangbewegungen, Erfassung von Lebensraumtypen (LRT) im Rahmen der Biotopkartierung, Dokumentation von Hochwasserereignissen, Darstellung von Schneebedingungen (Klimawandel / Klimafolgen) ...
 - sollen vom StMD als Flatrate von Planet Labs (räumliche Auflösung etwa 1m, zeitliche Auflösung 3-4 Tage, vgl. EOC/DFD Befragung, 2. Punkt) gekauft und den Behörden zur Verfügung gestellt werden.
- 8) Das StMUV lobt NRW, weil es in Sachen EO-Daten-Beschaffung, -Archivierung, -Anwendung und öffentlichen Zugang sehr gut aufgestellt ist.

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF)

Das StMELF ist mit den Bereichen Landwirtschaft und Forsten prädestiniert für die Nutzung von EO-Daten. Es bekommt für Feldstückkarten und Flächenprüfungen EO-Daten mit Auflösung 50 cm und schlechter von der EU kostenfrei gestellt. Die Nutzer dieser EO-Daten sind hauptsächlich Landesbehörden und Landwirte.

Im Folgenden die Ergebnisse der Befragung in Stichpunkten:

1. Erforderliche EO-Daten

- Die für Feldstückkarten von der EU gestellten Daten mit Auflösung ≥ 50 cm (Radar) und optische multispektrale Sentinel-Daten sind ausreichend. Die EU plant jedoch wegen Kostenersparnis die Auflösung auf 3 m zu reduzieren. Ob das reicht, wird momentan geprüft.
- Für alle anderen Anwendungen (Precision Farming, Forsten) sind optische multispektrale Daten mit räumlicher Auflösung ≤ 2 m und zeitlicher Auflösung ≤ 1 Woche notwendig.
- Daher werden Befliegungen durchgeführt, die zwar eine ausreichende räumliche Auflösung (etwa 20 cm) haben, aber nur alle 2 Jahre vorgenommen werden können.
- Zusätzlich werden auch gezielt lokale Begehungen durchgeführt.
- Nützlich für die Forstwirtschaft wären Stereo-Daten von WorldView mit etwa 1 m Auflösung.

2. Einsatzbereiche Landwirtschaft

- Precision Farming mit EO-Daten ist ein sehr wichtiges Thema, weil damit die Stickstoff-Düngung, der Einsatz von Pflanzenschutzmittel (Pestizide), Variation der Aussaatstärke und Pflanzenwachstums- und Ertragsprognosen (Grünlanderträge, Ernteerträge) optimiert werden könnte.
- Pflanzenwachstumsprognosen werden bisher von Vista GmbH (eine BayWa-Tochter) für 50-60 €/ha angeboten. Nur 13% aller bayerischen Landwirtschaftsbetriebe nutzen dieses Angebot, weil für die meisten Landwirte diese Kosten zu hoch sind. Kosten von ≤ 5 €/ha wären akzeptabel.
- Das, obwohl durch Precision Farming eine Reduktion der Düngung um 10% (bei gleichem Ertrag) möglich wäre und eine Düngereduktion von der [Düngeverordnung-DüV](#)⁴⁵ angestrebt wird.
- Neben Kosten ist für die Landwirte ein weiteres Problem bei Precision Farming die Inkompatibilität der Technik vor Ort.

3. Einsatzbereiche Forstwirtschaft

In Bayern bewirtschaften etwa 700.000 Waldbesitzer 700.000 ha Staatswald.

- Wegen der notwendigen hohen Auflösung wird bisher nahezu ausschließlich mit Luftbildern gearbeitet. Nachteil: Neue Daten nur alle 2 Jahre

⁴⁵ <https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/032364/>

- Daher wird mit dem DLR/EOC im Forschungsprojekt *On Demand* zusammengearbeitet, um mit EO-Daten Baumarten und deren Vitalität (Baumgesundheit) zu erfassen, Bewaldungskarten zu erstellen und für zukünftige Sturmschäden strategisch zu planen.
- Seit 2012 gibt es das [Bayerische Wald-Informationssystem](#)⁴⁶ (BayWIS). Es basiert auf EO-Daten von Dove- und Superdove-Satelliten (Planet Labs), WorldView, Spot und Rapid Eye-Satelliten.
- Waldmonitoring wird bisher mit optischen Sentinel-2 und Sentinel-1 Radar-Daten insbesondere für Sturmschäden durchgeführt. Problem: [Shadowing und Layover](#)⁴⁷ bei Radardaten.
- Da die Vitalität der Bäume wegen des Klimawandels über die Jahre abgenommen hat und weiter abnimmt, wäre ein flächendeckendes Waldmonitoring in kürzeren Abständen (1x pro Woche) notwendig, möglichst auch mit EO-Daten im nahen Infrarotbereich (siehe Abschnitt 1.1, Sektion EO-Sensortypen).

4. EO-Datenmanagement

- In der Landwirtschaft müssen für Prüfverfahren große Datenmengen gespeichert werden. Dabei ist die Datenspeicherung der Bilder problematisch. Das StMELF möchte sich nicht selbst um die Speicherung kümmern, sondern lediglich darauf zugreifen können.
- Das bisherige [IT-Dienstleistungszentrum des Freistaats Bayern](#)⁴⁸ (IT-DLZ) wird dafür als ungenügend eingestuft, weil es aus Anwendersicht unbefriedigend ist. Beispielsweise fehlt die Systemverfügbarkeit am Wochenende. Außerdem wird die schlechte Datenanbindung bemängelt. Daher findet derzeit eine StMELF-interne Speicherung statt.
- Sowohl der Bereich Landwirtschaft als auch vom Bereich Forsten fordern daher ein neues für alle EO-Daten zentrales und nutzerfreundliches Datenmanagement-System, das nicht im StMELF verortet sein sollte.

Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat (StMFH)

Die Aufgaben des StMFH beinhaltet auch die Landesvermessung und Vorhaltung einer Geodaten-Infrastruktur (Referat 73) und ist daher für diese Studie relevant.

- Insbesondere obliegt dem StMFH die Führung des Landesluftbildarchives.
- Das StMFH setzt über das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV) für ganz Bayern die EU-Richtlinie [INSPIRE](#) mit der Geodateninfrastruktur in Hof (GDI-BY) um. Damit schafft sie die technischen und organisatorischen Voraussetzungen, um Geodaten für Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft und Bürger verfügbar zu machen.

⁴⁶ <https://www.lwf.bayern.de/informationstechnologie/baywis/index.php?layer=rss>

⁴⁷ <https://www.capellaspace.com/sar-101-an-introduction-to-synthetic-aperture-radar/>

⁴⁸ <https://www.ldbv.bayern.de/digitalisierung/itdlz.html>

Im Folgenden die Ergebnisse der Befragung, in Stichpunkten:

1. Erforderliche EO-Daten

- Für Vermessung werden räumliche Auflösungen von mindestens 20-30 cm benötigt und momentan sogar 10 cm verwendet.
- Die Wiederholrate (zeitliche Auflösung) sollte höchstens $\frac{1}{4}$ Jahr, zur Überwachung von Bauvorhaben besser wöchentlich, betragen. Durch eine solche höhere zeitliche Auflösung würden sich auch andere neue Anwendungsfelder in der Landesvermessung ergeben.
- Für die Landesvermessung sind daher Copernicus-Daten mit ihrer geringen räumlichen Auflösung von etwa 20 m nicht geeignet.
- Die Vermessungsdaten werden daher mit Befliegungen erzeugt. Außerdem ist das StMFH per Gesetz dazu verpflichtet, Bayern per Luftbild zu vermessen. Das geschieht mit optischen Sensoren (Kamera). Jedes Jahr findet eine Befliegung einer Hälfte von Bayern statt. Damit wird Bayern alle zwei Jahre gänzlich neu erfasst. Die Kosten für eine Befliegung betragen 500 T€, insgesamt also 1 Mio € für eine komplette Abdeckung Bayerns. Der Zugriff auf die neuen Luftbilddaten ist etwa 2 Monate nach der Überfliegung möglich.
- Satellitendaten wären interessant wegen der deutlich schnelleren zeitlichen Wiederholrate, aber Auflösung der kostenfreie Copernicus-Daten (etwa 20 m) reicht für Vermessungszwecke nicht aus.

2. EO-Datenmanagement

- Das StMFH stellt mit GDI-BY zwar eine Geodateninfrastruktur zur Verfügung, jedoch bleibt jede Behörde Herr ihrer eigenen Daten, die sie dort archiviert. Wer möchte, kann seine Daten über eine von INSPIRE standardisierte Schnittstelle anderen zur Verfügung stellen. Dies ist aber freiwillig (solange nicht gesetzlich festgelegt, etwa Umweltdaten).
- Die mit GDI-BY verwalteten Geodaten liegen in einer Datenbank beim IT-Dienstleistungszentrum des Freistaats Bayern (IT-DLZ). Momentan dauert die Datenbereitstellung, von der Erfassung über die Aufbereitung bis zur Bereitstellung, mit zwei Monaten angeblich viel zu lange.
- Für die Bereitstellung von Vermessungsdaten stellt Bayern Gebühren in Rechnung, die in [dieser Gebührenordnung](#)⁴⁹ festgelegt sind. Die Einnahmen aus diesen Gebühren betragen laut StMFH jährlich 20 Mio €.
(Bem.: Gemäß dem deutschen Informationsfreiheitsgesetz (IFG) ist der Zugang zu behördlichen Informationen zwar für alle Bürger und Einrichtungen garantiert (mit gewissen Ausnahmen), aber es können Gebühren erhoben werden – müssen aber nicht, etwa Umweltdaten. In Bayern werden per Gesetz (Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums der Finanzen, für Landesentwicklung und Heimat über den Vollzug kostenrechtlicher Vorschriften durch die staatlichen

⁴⁹ https://www.ldbv.bayern.de/file/pdf/1269/Geb%C3%BChren_und_Preisliste.pdf

Vermessungsbehörden (Kostenbekanntmachung – KBek) vom 20. August 2015 (FMBI. S. 190)) für bayerische Geobasisdaten Gebühren erhoben.)

3. EO-Datenarchiv

- Das StMFH befürwortet ein einheitliches bayerisches Datenarchiv für alle EO-Daten. Dabei favorisiert es ein dezentrales Datenarchiv (Bem.: Alle anderen befragten Institutionen favorisierten ein zentrales Archiv).
- Bei einem möglichen EO-Datenzentrum sollten die Daten konform zum europäischen INSPIRE-Standard verfügbar sein.
- Entscheidend für seine Akzeptanz sei die Nachhaltigkeit der Datenverfügbarkeit.

4. Trends

- Zeitreihenanalysen mit georeferenzierten historischen Daten in Verbindung mit neuen algorithmischen Ansätzen würden ganz andere interessante Anwendungsfelder wie Trendanalysen (etwa Bauentwicklung und -Prognosen) ermöglichen.
- Durch Verschnitt mit anderen Geodaten wären thematische Karten interessant. Diese können dann Grundlage für Entscheidungen der höheren Verwaltungsebenen sein.
- Falls ein eigener Satellit für Bayern angedacht würde, dann nur mit völlig neuen Daten aus völlig neuen Sensoren, um z.B. Umweltverschmutzung, Lichtverschmutzung und Luftverschmutzung zu analysieren.

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW)

Das LANUV und NRW überhaupt gilt unter Nutzern, sowohl bei Forschern als auch bei EO-Dienstleistern, in Sachen EO-Daten als vorbildlich (siehe Befragungen: Panaglobo, 1. Punkt, 1. Spiegelstrich; EOC/IMF, 1. Punkt, 3. Spiegelstrich und 2. Punkt 10. Spiegelstrich; EUSI, 4. Punkt, 3. Spiegelstrich, StMUV, 8. Punkt). Aus diesem Grund wurde LANUV im Rahmen dieser Studie befragt. Das Ziel war herauszufinden, was LANUV anders macht als andere Behörden in Deutschland und damit offensichtlich bei Nutzern so großen Erfolg hat.

Im Folgenden die Analyse der Befragungsergebnisse hinsichtlich des Erfolgs.

Der Erfolg von LANUV liegt nicht allein im LANUV begründet, sondern im gesamten politischen und infrastrukturellen Umfeld.

1. Wesentliches Element der EO-Dateninfrastruktur ist der zentrale IT-Dienstleister für die Landesverwaltung in Nordrhein-Westfalen [IT.NRW](https://de.wikipedia.org/wiki/Landesbetrieb_Information_und_Technik_Nordrhein-Westfalen)⁵⁰.
 - Dort werden unter anderem alle in NRW erfassten EO-Daten archiviert. Interessanterweise werden Radardaten zwar noch nicht genutzt und archiviert, aber großes Interesse ist vorhanden.

⁵⁰ https://de.wikipedia.org/wiki/Landesbetrieb_Information_und_Technik_Nordrhein-Westfalen

- Alle EO-Daten sind wirklich alle. Also auch Befliegungsdaten, incl. LIDAR.
- Auch Copernicus-Daten werden archiviert, trotz ihres freien Zugangs durch die [CODE-DE Datenbank](https://code-de.org/)⁵¹ der EU, weil wegen der hohen Datenraten bei der Datenverarbeitung (insbesondere bei KI-Anwendungen) die Daten angeblich und aus Erfahrung vor Ort also im IT.NRW liegen müssen.
- Alle EO-Daten im IT.NRW sind kostenfrei für alle.
- Das IT.NRW stellt eine eigene Umgebung für EO-Datenspeicherung, Datenvorverarbeitung, und Produktverarbeitung zur Verfügung.
- Die IT.NRW EO-Datenbank ist über INSPIRE-Standards mit anderen zentralen EO-Datenbanken anderer Länder verknüpft.
- Nichtsdestotrotz steht es den Nutzern (insbesondere Behörden) frei, ihre Fachdaten (etwa Vermessungsdaten) dezentral zu pflegen, sie dann aber auch der IT.NRW EO-Datenbank kostenfrei zur Verfügung zu stellen.
- Die Pflege von historischen Referenzdaten (Nachhaltigkeit der Datenverfügbarkeit) ist angeblich sehr wichtig. Diese Referenzdaten müssen von den Landesämtern gepflegt werden, incl. Digitalisierung älterer analoger Daten.
- Die frühere Erfahrung mit dezentralen Datenbanken in NRW war, dass alle Prozesse langsamer abliefen. Dies ist jetzt anders, weil:
- Im räumlichen Umfeld dieses Archives trifft sich der *Arbeitskreis Copernicus* (siehe nächster Punkt)

2. Arbeitskreis Copernicus zur innovativen schnellen Nutzung von EO-Daten

- mit Vertretern aus unterschiedlichsten Bereichen, nämlich Geodäten, alle relevanten Behörden, IT-Leuten und selbst parlamentarische Entscheidungsträger.
- Der Grund für diesen so breit angelegten Arbeitskreis ist angeblich die Erfahrung: Erfolg hängt an aktiv involvierten Personen.
- Das Ziel des Arbeitskreises ist die optimale Nutzung von EO-Daten, demonstriert durch Leuchtturmprojekte. Beispiel: Ab Frühjahr 2020 soll es NRW-weite Themendatensätze (incl. Prognosekarten) mit 50 cm Auflösung geben, und das wöchentlich, zukünftig alle 2-3 Tage.
- Weil in dem Arbeitskreis angeblich auch ein Vertreter der Finanzbehörden sitzt, der den Nutzen einer neuen EO-Anwendung versteht, geht die Finanzierung solcher Leuchtturmprojekte angeblich relativ schnell.
- Der Erfolg des Arbeitskreises liegt aber nicht nur in der schnellen Entwicklung neuer Anwendungsprojekte, sondern jeder Teilnehmer sieht, was andere schon gemacht haben. → Jeder profitiert von den Ergebnissen der anderen, Doppelentwicklungen gibt es nicht mehr.

3. Politisches Umfeld

⁵¹ <https://code-de.org/>

- Es ist angeblich NRW-Philosophie, alle behördlichen Daten kostenlos zugänglich zu machen. Sie folgt damit dem US-Prinzip: Alles was durch Steuern der Bürger finanziert wird, muss dem Bürger auch frei zugänglich sein.
- Diese Open Data Philosophie zieht Nutzer an und schreckt sie nicht ab, wie in anderen „kostenpflichtigen“ Bundesländern. Die Erfahrung von LANUV ist, dass dies Anwendungsinnovationen merklich gefördert hat.
- Auch Politiker nehmen an den Treffen des Arbeitskreises Copernicus teil.

4. LANUV

- Basierend auf der freien Verfügbarkeit aller EO-Daten und dem innovativen Forschungsumfeld um das IT.NRW hat das LANUV Pilot-Verbundprojekte angestoßen wie etwa [FELM oder NUMO](#)⁵², in denen im Verbund unterschiedlichster Forschungsbereiche und durch Verschnitt aller vorhandenen EO-Daten neue Anwendungsfelder erschlossen werden.
- Laut LANUV ist insbesondere der Verschnitt von Copernicus-Daten (geringe räumliche Auflösung, dafür hohe Wiederholrate) mit Befliegungsdaten (hohe räumliche Auflösung mit geringer Wiederholrate) besonders fruchtbar.
- LANUV lädt alle Landesumweltämter des Bundes einmal jährlich zu einem Informationsaustausch ein.
- Trends: zeitlich hochaufgelöste EO-Daten für Monitoring jeglicher Art. Damit auch Zeitreihennutzung
- HAPS sind angeblich sehr interessant. Die große Unbekannte sind die Kosten.

Erfahrung von LANUV (wörtlich)

- EO-Daten allein machen nicht glücklich. Die Erkennung von Veränderungen in den EO-Daten muss durch Begehungen verifiziert werden.
- Aber: 70% der Umwelt ändert sich innerhalb von 10 Jahren nicht. **Daher spart die Nutzung von EO-Daten, statt regelmäßiger Begehungen, viel Geld.**

Fazit

Der Erfolg von LANUV basiert darauf, dass in NRW durch LANUV und dem IT.NRW im Wesentlichen das umgesetzt wurde, was die bayerischen EO-Einrichtungen in obigen Befragungen fordern.

ESA Phi-Lab (Φ -lab)

Die ESA hat im Jahre 2017 das sogenannte Phi-Lab (Φ -lab) mit Sitz in Frascati, Italien, gegründet, um die Entwicklung künftiger EO-Anwendungen zu beschleunigen. Hauptaufgabe des Φ -lab ist die Anwendung von Künstlicher Intelligenz auf Daten des Copernicus Programms. Im Folgenden die Analyse der Befragungsergebnisse hinsichtlich dieser Anwendung:

⁵² https://www.natflo.de/cms_files/Ruehl_FE_LANUV.pdf

Die Verschneidung von Daten aus verschiedensten Quellen, wie beispielsweise Satellitendaten, Daten von Mobiltelefonen, Social Media, statistische Daten usw. ist entscheidend für künftige Anwendungen. Auch sieht das Φ -lab wie andere Interviewpartner wesentlichen Bedarf in der Nachwuchsförderung – es müssen mehr junge Menschen für die Erdbeobachtung begeistert werden. Die Grenzen der Nutzung von künstlicher Intelligenz in der Erdbeobachtung war ein weiterer wesentlicher Punkt des Gesprächs: nur mittels Experten, welche Anwendern die Vorteile und die Grenzen der KI vermitteln, kann wirklich Mehrwert durch KI in der Erdbeobachtung geschaffen werden. Gleichzeitig ist es aber bei den Unmengen an Daten aus der Erdbeobachtung (das Copernicus-Programm allein produziert etwa 12 Terrabyte an Daten pro Tag) unabdingbar, im Bereich der KI für Erdbeobachtung Fortschritte zu erzielen.

Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein

Daten von Satelliten des Copernicus-Programms werden verschnitten. Aufbereitete Daten sollen dann zur Verfügung gestellt werden (Code-DE). Die Aufgaben des Amtes umfassen Vermessung, Küstenschutz (Deichhöhen), Verkehrsverwaltung und mehr.

1. Erforderliche EO-Daten

- Für Vermessungsaufgaben ist eine hohe Auflösung erforderlich
- Höher aufgelöste Radardaten scheinen vielversprechend zu sein.
- Eine Auflösung von mindestens 3 m ist nötig, um Aufgaben erfüllen zu können. Zeitlich sollten alle Daten mindestens einmal im Monat aktualisiert werden

2. EO-Datenmanagement

- Die Daten liegen auf einem Server des Landes, Geodateninfrastruktur Schleswig-Holstein (GDI-SH).
- Es gibt extra Workshops für den Zugriff auf das GDI-SH

3. EO-Anwendungen

- Auftrag seit 2014 Copernicus-Daten zur Nutzung zu bringen unter Einhaltung der INSPIRE Richtlinie.
- Eine erste Umsetzung davon ist der [DigitaleAtlasNord](https://gdi-sh.de/DE/GDISH/AufgabenZiele/_documents/DANord.html)⁵³. Hier werden verschiedene Daten von Copernicus verschnitten und in einer Karte angezeigt.
- Es gibt zusätzliche Nutzerworkshops, um zu ermitteln, was die Nutzer wollen und brauchen, aber auch um bereits bestehendes Datenangebot näher zu bringen.
- Landbedeckung und –Nutzung sowie Landbewegung sollen bis 2023 bundesweit erfasst werden.

Copernicus Emergency Management Service (Copernicus EMS) der Europäischen Kommission

⁵³ https://gdi-sh.de/DE/GDISH/AufgabenZiele/_documents/DANord.html

Das Copernicus Emergency Management Service (Copernicus EMS) ist ein Tool der Europäischen Kommission, welches Nutzern und Einsatzkräften in Krisensituationen Kartenmaterial und Informationen zur Verfügung stellt. Es gibt zwei wichtige, große Komponenten im Copernicus EMS: Zum einen den on-demand Nutzungsservice von Karten, welcher auf Notfallsituationen fokussiert ist und mit welchem innerhalb von 24 bis 48 Stunden Satellitenkarten für jeden Ort weltweit erstellt werden können. Zusätzlich gibt es auch sogenannte risk & recovery maps und Satellitendaten für Risikomanagement in diesem Service. Diese werden in Deutschland über das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe zentral verwaltet. Als zweiten Hauptservice stellt das Copernicus EMS Karten von den häufigsten Naturkatastrophen als Service kontinuierlich seinen Nutzern zur Verfügung. Bei diesen häufigsten Naturkatastrophen handelt es sich zurzeit um Hochwasser, Waldbrand und Dürre. Zusätzlich gibt es hier auch Modellierungen zur Vorhersage und Prognose.

Copernicus EMS hat auch im Bereich Big Data und künstliche Intelligenz zu arbeiten begonnen, und der Service wird in Zukunft in diesen Aspekten weiterentwickelt. Gleichzeitig muss aber Copernicus EMS als Dienst hochverfügbar sein, daher ist man eher konservativer bei neuer Technologie. Die Forschung im Bereich von Künstlicher Intelligenz und Big Data in der Erdbeobachtung sei aber dringend nötig, und auch für Kooperationen hierfür steht das Copernicus EMS offen.

Der Copernicus Notfalldienst unterstützt nationale Aktivität, und es wäre wichtig, auch in Europa Kapazitäten und Kompetenz in Unternehmen aufzubauen - wir laufen im Bereich der Unternehmen den USA hinterher. Wichtig für den Katastrophenschutz ist: grundlegende Datensätze einfacher zur Verfügung stellen, technische und rechtliche Bedingungen stehen dabei im Fokus. Gut wäre es, hierbei auf den OGC Standard und INSPIRE aufzubauen. Auch im Bereich Katastrophenschutz kann durch Unternehmen und gezielte Förderungen ein Mehrwert geschaffen werden, insbesondere durch:

- Forschung und Evolution bestehender Services
- Verknüpfung mit dem IoT, sozialen Medien, und weiterer Daten

BayWa AG

Die BayWa AG mit ihren Tochterunternehmen VISTA GmbH und FarmFacts GmbH stellt einen wesentlichen Player im Bereich der Digital Farming Lösungen und damit auch der Nutzung und Vermarktung von Erdbeobachtungsdaten für die Landwirtschaft dar. Wichtigste Kernaussagen der Befragung waren:

Bayern und vor allem bayerische Unternehmen sind an und für sich im Bereich der digitalen Landwirtschaft sehr gut positioniert. Die Grundzutaten für ein bayerisches Silicon Valley der digitalen Landwirtschaft wären vorhanden, und dies wäre auch für den Exportmarkt ein Riesenthema. Produkte, die Easy-to-use für die Landwirtschaft sind, könnten hier in Bayern geschaffen und weltweit exportiert werden. Um diese Vision zu realisieren muss aber künftig noch an gewissen Stellen nachgebessert werden:

- Wie auch in anderen Befragungen sieht es die BayWa AG problematisch, dass der bayerische Staat in manchen Anwendungen eigene Services im Bereich der

Erdbeobachtung entwickelt. Diese Aufgabe sollte eigentlich Unternehmen obliegen. Ein solches Vorgehen verhindert, dass Unternehmen in neuartige Produkte investieren und Arbeitsplätze schaffen. Staatlicherseits wird also Unternehmen Konkurrenz gemacht.

- Das Wirtschaftsministerium muss sich stärker für Unternehmen im Bereich der Erdbeobachtung einsetzen. Der deutsche Föderalismus stellt Unternehmen, die in diesem Gebiet aktiv sind, vor große Herausforderungen. Auch müssen künftig eingeübte Prozesse zwischen Staat und Unternehmen geschaffen werden. Unternehmen und Startups muss durch den Staat mehr Gelegenheit gegeben werden, im Bereich der Nutzung von Erdbeobachtungsdate aktiv zu werden.

- Eine gute Mischung zwischen Forschung und Industrie ist entscheidend für den weiteren Erfolg des Sektors. Viele Forschungsthemen landen leider noch immer nicht bei den Anwendern – hier muss künftig besser vernetzt und gearbeitet werden. Auch sollte die Wirtschaft künftig bei der Erarbeitung von Konzepten (Leuchtturmprojekte, etc.) schon frühzeitig am Tisch sitzen.

2.1.2 Kommunikation, Navigation, Digitale Landwirtschaft

Für den Bereich der Satellitenkommunikation (einschließlich Navigation) sowie der digitalen Landwirtschaft wurden Arbeitsergebnisse, Informationsgespräche und Präsentationen ausgewertet, welche der verantwortliche Autor (Prof. Knopp) im Rahmen seiner wissenschaftlichen Tätigkeit über Jahre erarbeitet und gesammelt hat. Die Informationen lassen sich daher, anders als in den übrigen Einsatzbereichen, keinen konkreten Fragebögen explizit im Rahmen dieser Studie zuordnen. Vielmehr wurden Mitschriften und Arbeitsergebnisse nachfolgender Veranstaltungen, Arbeitsgruppentätigkeiten und weiterer Informationsquellen herangezogen (Liste ist keine Reihung):

- Fachgespräch „Landwirtschaft und Netzabdeckung“, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), 2.-3. Juli 2019, Fulda
- IEEE 5G World Forum, Agricultural Track „5G & Digital Farming“, Dresden, 2019
- The Hans Eisenmann Forum for Agricultural Sciences of the TUM, workshop on "IoT for intelligent solutions in agricultural practice", May 19, 2020
- Verschiedene Arbeitsgruppentreffen im DLR Netzwerk „InnoSpace2Agriculture“
- GOSATCOM, Nationale Konferenzreihe für behördliche Satellitenkommunikation, Universität der Bundeswehr München
- Nationale Konferenzreihe „Satellitenkommunikation“ des DLR
- DLR Studie „SATCOM 2025“ zum Breitbandausbau in Deutschland
- Publikationen des Fachverbandes „Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)“
- Verschiedene Arbeitsgruppentreffen und Diskussionsforen des IEEE Space Communications Technical Committee zur Rolle von Satelliten in 5G
- ITG-Fokusprojekt "Kommunikation in Weltraum und Stratosphäre - New Space Communications - NeSC", Informationstechnische Gesellschaft (ITG) im Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE)
- Forschungs- und Gutachtertätigkeiten für das SATCOM-IoT Projekt „ICARUS“ (Max-Planck-Gesellschaft, 2014)
- Positionspapier des DLR zur Rolle von SATCOM in 5G (DLR RfM, 2018)

- Arbeitsgruppentreffen des Satellite Network of Experts bei der Europäischen Raumfahrtagentur ESA
- SatCom-Arbeitsgruppe in der NetWorld2020 (European Technology Platform)
- IEEE „Future Networks – Enabling 5G and Beyond” Initiative

Darüber hinaus verwendete Quellen und Fachliteratur werden an den entsprechenden Stellen im Text zitiert oder gekennzeichnet.

2.1.3 Quantenkommunikationsinfrastruktur (QCI)

Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU)

Hinsichtlich quantenkryptografischer Netzwerke (QKD-Netzwerke = engl. Quantum Communication Infrastructure = QCI) zur Verteilung kryptografischer Schlüssel (siehe Abschnitt 1.5.1) haben wir die in Bayern wichtigste Forschungseinrichtung zu diesem Thema befragt: Prof. Dr. Harald Weinfurter, Institut für Physik an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Im Folgenden die Ergebnisse der Befragung:

1. Zunächst erläuterte Prof. Weinfurter die physikalischen und technischen Hintergründe zu QKD (Zusammenfassung siehe Abschnitt 1.5.1)
2. Die großen Nutzer eines QCI wären große nationale und internationale Firmen, insbesondere Banken, Geheimdienste und Botschaften.
3. Die ersten QCI werden wegen der bestehender Glasfasernetz-Infrastruktur sicherlich als terrestrische Glasfaser-Netzwerke (QCI-Fibre) realisiert werden (siehe [BMBF-Forschungsprojekt QuNET](https://www.bmbf.de/de/bmbf-initiative-qunet-baut-hochsicheres-quantennetzwerk-10126.html)⁵⁴). Da die Umrüstung der bestehenden Glasfaserknoten jedoch aufwendig und teuer ist – insbesondere zur Sicherstellung der Unangreifbarkeit seiner Trusted Nodes – sind Nano- und Picosatelliten (QCI-Sat) langfristig eine kostengünstigere Lösung für rurale Bereiche oder Bereiche größer als 100 km.
4. Für Abstände bis zu mehreren 100 km sind auch HAPS eine sehr interessante Lösung, die bisher noch nicht untersucht wurde und deren Kosten unklar sind, der er aber theoretisch große Chancen einräumt. Daher plädiert er für ein Demonstrationsprojekt zur Realisierung eines lokalen QCI mit HAPS (QCI-HAPS) und für größere Bereiche ein Hybrid aus QCI-HAPS (lokal) und QCI-Sat (QKD-Satelliten-Infrastruktur zur Vernetzung von QCI-HAPS).

2.2 Erdbeobachtung

2.2.1 Anforderungen und aktueller Stand

Erdbeobachtung im Allgemeinen lässt sich technisch sehr unterschiedlich umsetzen. Soll jedoch Erdbeobachtung weiträumig betrieben werden, stellen Satelliten oder hochfliegende Plattformen eine ideale Lösung dar. Die erreichbare räumliche Auflösung und die zeitliche Wiederholrate hängen jedoch stark vom jeweiligen System ab. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Anforderungen an Satellitendaten, die sich aus der Anforderungserhebung in Kapitel 2.1 ergeben. Dem gegenüber stehen momentan

⁵⁴ <https://www.bmbf.de/de/bmbf-initiative-qunet-baut-hochsicheres-quantennetzwerk-10126.html>

verfügbare Satellitendaten. Aus dem Abgleich der Anforderungen mit den verfügbaren Daten können technischen Fähigkeitslücken festgestellt werden und daraus sinnvolle Einsatzbereiche von Satelliten oder technischen Lösungen abgeleitet werden.

Die geführten Gespräche zeigten, dass Anforderungen an die räumliche Auflösung der Satellitendaten unterschiedlich sind und stark vom Einsatzzweck abhängen. Lediglich einer Nutzergruppe genügt eine Auflösung von nur 10 m (StMUV für Gewässergüte, Hangrutsche und Atmosphären-Schadstoffe), für ihre Aufgaben. Aber selbst hier wäre eine höhere Auflösung wünschenswert. Die meisten Nutzer erachten dagegen eine Auflösung im Bereich zwischen 1 m und 3 m für ihre Zwecke als notwendig. Damit ließen sich bereits viele Anwendungen realisieren, wie z.B. Precision Farming, Überprüfung von landwirtschaftlich genutzten Flächen, Überprüfung von Bauvorhaben, Erhebung von Bewegungstasten u.v.m. Bei manchen Anwendungen ist noch unklar, ob dieser Auflösungsbereich bereits hoch genug ist. Dazu zählen beispielsweise die Vermessung von Flurfeldkarten (StMELF) und die Charakterisierung der bayerischen Wälder (StMELF). Eine noch höhere Auflösung von unter 50 cm wird dagegen von Nutzern mit Vermessungsaufgaben (StMFH, StMELF) oder Überwachungsaufgaben (Grenzen, Veranstaltungen) gefordert oder von Anbietern, die eine entsprechende Auflösung zur Verfügung stellen wollen (ESRI, EUSI, GAF).

Bei der zeitlichen Wiederholrate zeigt sich fast ein einheitliches Bild. Fast alle Gesprächspartner favorisieren eine Aktualisierung der Daten mindestens jede Woche, nur das StMUV könnte auch mit einer Aktualisierung alle zwei Wochen gut arbeiten. Sollten zur Landesvermessung auch Satellitendaten eingesetzt werden, wünscht sich das StMFH neue Daten mindestens alle 3 Monate, besser wäre jedoch wöchentlich. Ein besonderes Szenario stellen dagegen immer Krisensituationen dar. Hier kommt es besonders auf eine schnelle Verfügbarkeit der Daten an, die auch über eine entsprechende Auflösung verfügen sollten. Deswegen wäre hier eine Wiederholrate von wenigen Tagen (Wiederholrate ≤ 2 Tage) sinnvoll. Auch bei der rechtzeitigen Erkennung von Sturmschäden im Wald ist diese Wiederholrate erforderlich. In allen Bereichen lässt sich durch lokal erhobene Daten ein Mehrwert generieren, wenn diese Daten anschließend mit anderen georeferenzierten Daten verschnitten werden. Dadurch lässt sich sowohl die zeitliche als auch die räumliche Auflösung in einem begrenzten Gebiet beträchtlich erhöhen.

Bei der Handhabung der Daten zeigten sich in den Gesprächen eine Gemeinsamkeit: Eigentlich möchte sich keine der befragten Behörden um die Speicherung und Bereitstellung der Daten kümmern, sondern diese nur nutzen. Dabei gibt es einige Nutzer, die eine zentrale Datenbereitstellung bevorzugen und einer (StMFH), der eine dezentrale Struktur favorisiert. Alle Gesprächspartner sind sich einig, dass der Einsatz von automatisierten Algorithmen verbunden mit künstlicher Intelligenz in naher Zukunft entscheidende Vorteile bringen wird. Die Datenmengen sind schon jetzt zu groß, als dass sie noch per Hand sinnvoll ausgewertet werden können. In manchen Feldern ist künstliche Intelligenz wahrscheinlich sogar zwingend notwendig, beispielsweise in der Identifizierung von Baumtypen in Wäldern.

Den Anforderungen an Geodaten stehen folgende EO-Daten von Satelliten gegenüber. Es muss zwischen Daten unterscheiden werden, die einerseits von den großen Raumfahrtagenturen kostenlos und andererseits solchen, die von Privatfirmen kostenpflichtig

zur Verfügung gestellt werden. Ein Musterbeispiel für kostenlose Daten stellt das Programm Copernicus dar. Mehrere Satelliten (derzeit vier Sentinel-1, zwei Sentinel-2 und zwei Sentinel-3 Satelliten) befinden sich im erdnahen Orbit, wodurch sich eine zeitliche Wiederholrate von zwei bis fünf Tagen ergibt. Sentinel-1 besitzt ein Radarinstrument, Sentinel-2 ein optisches Instrument mit Auflösungen bis 10 m und Sentinel-3 hat verschiedene Instrumente wie ein optisches aber auch ein Radar und Mikrowelleninstrument. Alle Daten stehen Nutzern kostenlos zur Verfügung. In Deutschland sind diese abrufbar über den performanten Zugang CODE-DE, geleitet vom DLR. Eine PricewaterhouseCoopers-Studie aus dem Jahre 2016 (PWC, 2016) schätzt, dass der Einsatz von 1 € eine industrielle Wertschöpfung von 1,4 € erzeugt, exklusive zusätzliche Nutzung durch die Privatwirtschaft. Auch private Firmen bieten Satellitendaten an, allerdings kostenpflichtig. Bekannte Anbieter sind beispielsweise die Firma Planet und Maxar Technologies (ehemals DigitalGlobe). Bei diesen Firmen kann man Bilder mit Auflösungen von bis zu 30 cm (optisch, Maxar Technologies), über 72 cm (optisch und NIR, Planet, zweimal täglich) hin zu 3,7 m (optisch und NIR, Planet, täglich) kaufen.

Zentrale Anforderungskriterien und Beurteilungsgrößen sind dabei

- Auflösung der Daten
- Wiederholrate der Daten
- Verfügbarkeit der Daten
- Konsistenz der Daten
- Auswertungsmöglichkeit der Daten

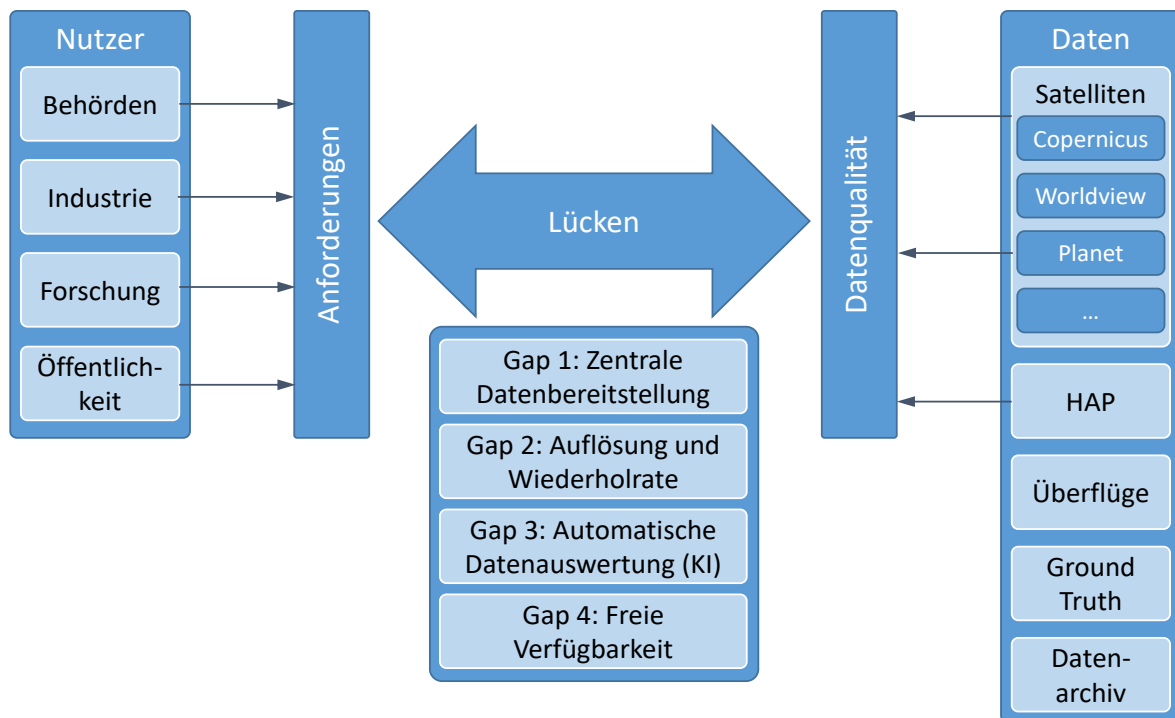


Abbildung 13: Erdbeobachtung Anforderungen gegenüber Datenquellen

2.2.2 Gap Analyse

Eine Gegenüberstellung der Anforderungen an Satellitendaten und der aktuell verfügbaren Satellitendaten erlaubt die Feststellung der Lücken. Grob zusammengefasst lässt sich sagen, dass die Nutzer eine höhere Auflösung als die kostenlosen Daten von Copernicus benötigen. Die zeitliche Wiederholrate von Copernicus ist dagegen meistens ausreichend außer im Katastrophenfall. Eine höhere Auflösung mit hoher Wiederholrate von wenigen Tagen ist aber nur mit hohen Kosten einer eigenen Satellitenflotte machbar. Alternativ kann man solche Daten auch von Privatanbietern einkaufen. Auch die Handhabung der Daten was sowohl Speicherung als auch Auswertung betrifft bietet noch viele Möglichkeiten in der Forschung. Konkret ergeben sich folgende technologische Lücken in der Erdbeobachtung:

- **Gap 1 – Zentrale Datenbereitstellung**
Die zentrale Datenspeicherung aller Geodaten mit gleichbleibender Schnittstelle ist ein oft geäußerter Wunsch in den Gesprächen aus Kapitel 2.1. Wichtig ist hierbei auch ein dauerhaftes Bestehen einer solchen Institution
- **Gap 2 – Auflösung und Wiederholrate der Daten**
Für einige Gesprächspartner, insbesondere bei der Vermessung, ist die räumliche Auflösung von frei verfügbaren Daten zu gering. Die Wiederholrate von Copernicus stößt dagegen auf breite Zustimmung und wäre auch mit höherer räumlicher Auflösung wünschenswert.
- **Gap 3 – KI in der Erdbeobachtung**
Die in der Erdbeobachtung erzeugte Menge an Daten lässt sich nur noch automatisiert handhaben. Dafür ist eine Weiterentwicklung von Algorithmen zwingend notwendig, die bspw. Satellitenbilder nach bestimmten Mustern durchsuchen können. So ließen sich Schäden im Wald automatisch erkennen wie auch Hangrutsche. Auch der Einsatz in der Landwirtschaft kann hier gewinnbringend vollzogen werden.
- **Gap 4 – Freie Verfügbarkeit der EO-Daten:**
Sowohl Institutionen aus der Forschung als auch aus der Industrie äußerten den Mangel an frei bzw. kostengünstig zugänglichen Geodaten in Bayern. Diese Daten bilden die Grundlage für viele Anwendungen, wie z.B. Forschung an KI, Precision Farming, Smart Farming und Umweltmonitoring.

2.3 Krisenkommunikation, Breitbandausbau, Digitale Landwirtschaft, Navigation

2.3.1 Anforderungen und aktueller Stand

Eine leistungsfähige Kommunikationsinfrastruktur zur Übertragung von Sprache, Daten und Bildinformationen ist zentraler Bestandteil der Digitalisierung Bayerns. Anforderungen an Kommunikationsnetze kommen dabei von nahezu allen Anwendern, wenn auch in sehr unterschiedlicher Weise. Die Bundesregierung und der Freistaat Bayern haben sich, zuletzt im jüngst verabschiedeten Konjunkturpaket, für die Beschleunigung des flächendeckenden Ausbaus ortsfester und mobiler Netzwerke ausgesprochen. Die ortsfesten Netze nutzen dabei Glasfasertechnologie aufgrund ihrer unerreicht hohen

Kapazität und geringen Latenz. Bei den mobilen Netzen wird in der Regel von „5G“ Infrastruktur gesprochen, wobei der Begriff „5G“ nach unserer Beobachtung nicht konsequent nur für den zugrundeliegenden technischen Standard verwendet wird, sondern vielmehr synonym die Breite und Charakteristika der mit dem 5G Standard adressierbaren Anwendungen zusammenfasst. Zentrale Anforderungskriterien und Beurteilungsgrößen sind dabei

- Hohe und höchste Datenraten
- Geringe Latenz
- Geringe Sendeleistung und Bauform der Sender
- Extrem hohe Anzahl von Nutzern / Sender pro Mobilfunkzelle / Mehrfachzugriff
- Produktneutralität in Bezug auf die Endgeräte auf Nutzerseite
- Hohe Informationssicherheit und nationale Autonomie bei Schlüsselkomponenten

Selbstverständlich können nicht alle diese Kriterien gleichzeitig erfüllt sein, vielmehr werden unterschiedliche Anwendungen Teilmengen der Kriterien priorisieren und dadurch Anwendungsklassen bilden. Für jede Anwendungsklasse wird es sodann unterschiedliche technische Lösungen geben, die in viele Fällen auch außerhalb des technischen 5G Standards liegen werden (bspw. die LPWAN Technologien). Wichtig und geradezu entscheidend ist aber, dass die Nutzer im Allgemeinen nicht an der konkreten technischen Lösung interessiert sind, sondern vielmehr einen medienbruchfreien Übergang zwischen Technologien und Netzen erwarten, wenn sie eine bestimmte Applikation nutzen oder Informationen übertragen und verarbeiten.

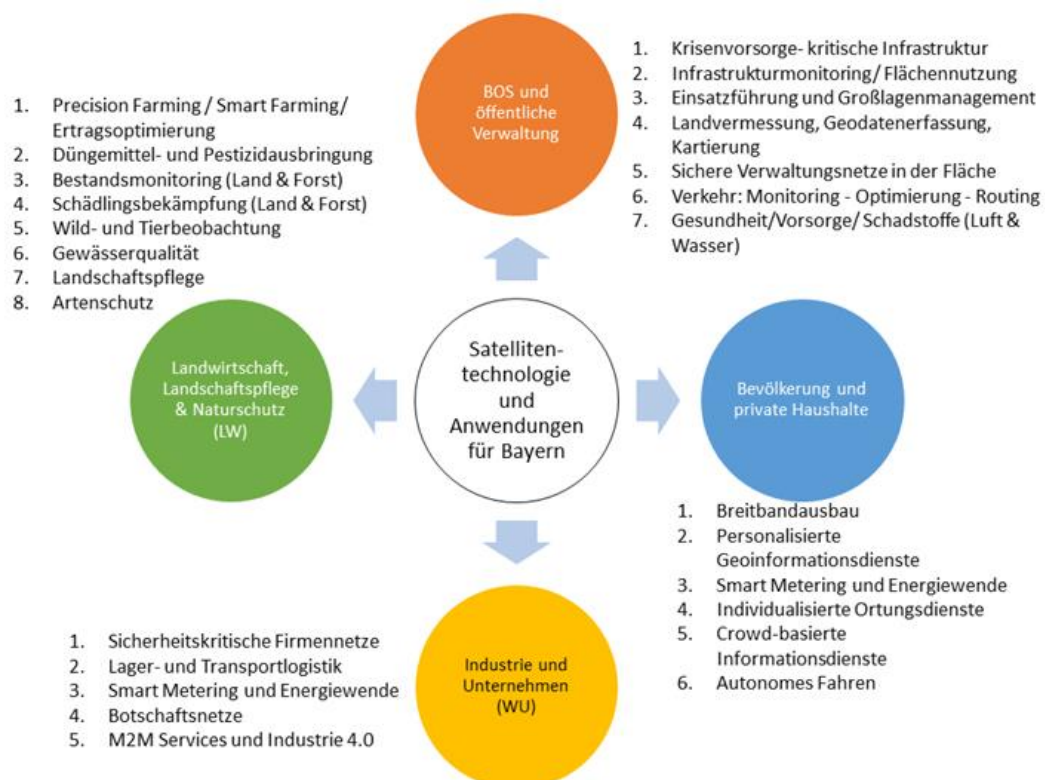


Abbildung 14: Anwendungsfelder der Kommunikation und Navigation

In Bezug auf Navigationsanwendungen hat sich der Markt bereits weiterentwickelt, indem Navigationsdaten heute nicht mehr als eigenständiges Produkt gesehen, sondern in andere – in der Regel Kommunikationsanwendungen – integriert werden. Standortinformationen (Geokoordinaten) sind daher kein eigener Wert, sondern erst das Verschneiden mit weiteren Informationen und Dienstleistungen generiert ein digitales Produkt. Aus diesem Grund betrachten wir in dieser Studie die Navigation nur insofern mit als sie geeignet ist, digitale Mehrwertdienste im Zusammenhang mit der Kommunikation zu generieren.

Auf Basis der Ausführungen im Abschnitt 1.5 fassen wir die Anwendungsfelder in Abbildung 14 zusammen.

2.3.2 Gap-Analyse

Im nächsten Schritt ist zu ermitteln, welche technischen Fähigkeitslücken (Gaps) den vorgenannten Anforderungen entgegenstehen. Anschließend können besonders aussichtsreiche technische Infrastrukturen identifiziert werden, um diese Fähigkeitslücken zu schließen.

Ebenfalls ausgehend von den vorherigen Ausführungen im Abschnitt 1.7 lässt sich folgendes Bild zeichnen:

- **Gap 1 – Breitbandausbau:** Bayern ist nicht flächendeckend mit hoher Datenrate und hoher Verfügbarkeit der Verbindungen an ein leistungsfähiges Telekommunikationsnetz angeschlossen.
- **Gap 2 – Präzisionsnavigation:** Zusatzdienste für hochpräzise Navigationsinformationen sind nicht flächendeckend verfügbar. Dies ist auch (aber nicht nur) eine Folge von Gap 1.
- **Gap 3 – Krisenkommunikation:** Bayern verfügt nicht über ein Telekommunikationsnetz, das weitgehend unabhängig von terrestrischer Infrastruktur (z.B. Stromversorgung) betriebsbereit ist und als Rückfalllösung für Krisen und Notlagen fungieren kann.
- **Gap 4 – Informationssicherheit:** Bayern verfügt derzeit nicht über eine informationstheoretisch sichere Netzinfrastruktur zum Austausch sensibler und sicherheitskritischer Informationen oder zum Austausch von geheimen digitalen Schlüsseln. Die Abhängigkeit von international agierenden Lieferanten, insbesondere aus Staaten i.S.v. § 13 Absatz 1 Nummer 17 SÜG und § 32 SÜG, bei der Schlüsselinfrastruktur terrestrischer Netze, verschärft diese Fähigkeitslücke. Betroffen sind dabei nicht nur Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, sondern auch bayerische Firmen mit internationalen Betriebsstätten (Industriespionage).
- **Gap 5 – Internet of Things:** Bayern verfügt nicht über eine flächendeckende Netzwerkinfrastruktur zur Anbindung von autarken Sensoren und Aktoren mit geringer Datenrate und langer Lebensdauer. Diese Fähigkeitslücke betrifft unterschiedliche

Anwendungsfelder, insbesondere die Landwirtschaft und die Industrie. Darüber hinaus sind weitere strategische Ziele der Staatsregierung ohne die Schließung dieser Fähigkeitslücke nicht zielführend umsetzbar, u.a. die Steuerung des Energieverbrauchs (Energiewende) und verschiedene Aspekte des Klima- und Artenschutzes. Gap 5 hat eine offensichtliche Korrelation mit Gap 1 (Breitbandausbau), reicht aber deutlich weiter. Gap 5 betrifft auch solche Bereiche, die nicht besiedelt sind (Waldgebiete, alpiner Raum etc.) und im Rahmen des Breitbandausbaus somit auch nicht priorisiert erschlossen werden.

- **Gap 6 – latenzkritische Netze:** Bayerns Verkehrsinfrastruktur ist nicht flächendeckend an eine 5G Netzinfrastuktur angeschlossen. Unter den Mobilfunktechnologien bietet derzeit nur der 5G-Standard die erforderlichen technischen Merkmale (geringe Latenz, Datenverarbeitung direkt an der Basisstation), um autonomes Fahren (und Fliegen) im Rahmen der Verkehrswende zu ermöglichen. Unbenommen dessen bleibt die Möglichkeit des im Abschnitt 1.7.3 näher ausgeführten IST G5 Standards als Alternative zu 5G beim Autonomen Fahren. Gap 6 hat ebenfalls Korrelationen zu Gap 1, jedoch sind die Anforderungen leicht unterschiedlich gelagert. So stellen die meisten Breitbandanwendungen aus dem Bereich der Datenverarbeitung und des Medienkonsums nur geringe Anforderungen an die Latenz, während das Datenvolumen deutlich höher sein kann.

2.4 Quantenkommunikations-Infrastruktur (QCI)

Die Idee zum Aufbau einer Quantenkommunikations-Infrastruktur (QCI) wird augenblicklich getrieben durch die Angst, zukünftige Quantencomputer könnten heutige Verschlüsselungsmethoden einfach brechen. Es gibt daher keine konkreten Anforderungen, also keinen Anwender-Push-Effekt. Vielmehr wird die QCI-Entwicklung getrieben durch die Neuerungen von Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet der Quantenkommunikation (Pull-Effekt). Hinzu kommen politische Effekte wie sie schon beim „Wettlauf um das Weltall“ in den 1950er und 1960er Jahren beobachtet werden konnten: Durch anhaltende Erfolgsmeldungen Chinas in Bezug auf die Implementierung von satellitenbasierten QCI Systemen entsteht in den übrigen Industrienationen der Bedarf und Wille, diese Technologie nicht aus der Hand zu geben und den „Wettlauf“ um die Quantentechnologie nicht zu verlieren. Auch dieser Effekt befördert die Bereitstellung enormer Forschungsgelder auf nationaler und europäischer Ebene, verbunden mit der Suche nach geeigneten Anwendungsszenarien und Zielgruppen. Die wohl wichtigsten zukünftigen Anwender wären große nationale und internationale Firmen, internationale Banken, Geheimdienste und Botschaften, auch wenn von deren Seite – nicht zuletzt aufgrund der Komplexität der Technologie – heute kaum greifbare Anforderungen eingebracht werden können.

2.5 Kleinsatellitenschwärme und -konstellationen für selektive EO-Anwendungen

Wie bereits in Kapitel 0 erwähnt, befindet sich die traditionelle Raumfahrt im Umbruch. Dieser Umbruch treibt den vierten betrachteten Bereich – den Einsatz von Kleinsatelliten für unterschiedlichste EO-Aufgaben. Die fortschreitende Miniaturisierung von Satelliten,

beispielhaft an den aktuellen Starts der sogenannten Starlink-Satelliten von SpaceX zur weltweiten kommerziellen Bereitstellung von Internet aus dem All ersichtlich, ist einer der, wenn nicht der wichtigste Treiber von New Space. Aufgrund der miniaturisierten Abmaße und des reduzierten Gewichts dieser Satelliten von etwa 250 kg, können sechzig dieser Satelliten mit einem Raketenstart in den Orbit transportiert werden. Auch in noch kleineren Dimensionen bei standardisierten Kleinsatelliten (CubeSats) der Gewichtsklasse um 5-10 kg eröffnen sich laufend neue Geschäftsfelder. Entscheidend hierbei ist, dass diese Kleinsatelliten die Eintrittsbarriere in die Raumfahrt herabsetzen, neue Anwendungen auf schnellem Weg im All erprobt werden können, und die Satelliten auch in Form von Schwärmen und Konstellationen unter moderatem Budget umgesetzt werden können. Um die Technologieführerschaft in der Raumfahrt zu erhalten, sollte Bayern auch im Bereich der Kleinsatelliten durch gezielte Impulse Anreize schaffen.

2.6 Ermittlung der sinnvollsten Einsatzbereiche

Die sinnvollsten Einsatzbereiche von Weltraumtechnologien im weitesten Sinne können sodann anhand der vorgestellten Gap-Analyse ermittelt werden. Grundsätzlich bedarf es zur vollständigen Schließung der Gaps zwar unterschiedlicher Gesamtlösungen, jedoch kann es technischen Komponenten geben, die mehrere oder idealerweise alle Gaps geeignet adressieren und einen wirksamen Beitrag zur Schließung der Lücken leisten. Auf der Suche nach Infrastrukturinvestitionen mit großer Breitenwirkung wären solche Komponenten bevorzugt zu betrachten. In den beiden folgenden Kapiteln bildet dazu jeweils eine Matrixstruktur die im Kapitel 1 beschriebenen Weltraumtechnologien auf die identifizierten Gaps in der Weise ab, dass die Eignung einer bestimmten Weltraumtechnologie zur Schließung der Fähigkeitslücke bewertet wird. Eine Einteilung erfolgt anhand eines Zahlenschemas nach der Systematik

0 = Kriterium nicht anwendbar / Technologie nicht betrachtet

1 = nicht geeignet / ungünstige Voraussetzungen

2 = geeignet mit Einschränkungen

3 = geeignet / günstig Voraussetzungen

Ferner kommt ein zweistufiges Vorgehen zur Bewertungsfindung zur Anwendung:

- Stufe 1: Es wird geprüft, ob die Technologie grundsätzlich *technisch* geeignet ist und die Anforderungen erfüllt, die zur Schließung der Fähigkeitslücke formuliert wurden. Nur grundsätzlich geeignete technische Lösungen werden weiter betrachtet.
- Stufe 2: Die grundsätzlich geeigneten Lösungen werden gereiht unter Zugrundelegung weiterer Kriterien wie folgt
 - Kosten der Umsetzung
 - Skalierbarkeit bei der Umsetzung / Aufwuchspotenzial
 - Aktuelle verfügbarer technologischer Reifegrad / Entwicklungsbedarf
 - Beitragsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft

Am Ende werden die erzielten Punkte addiert, um ein Gesamtbild zu entwickeln. Dabei ist es aber wichtig, dass auch die Stärken und Schwächen bzw. die Fähigkeitsprofile der Einzeltechnologien und Plattformen nicht außer Acht gelassen werden.

2.6.1 Erdbeobachtung

Die ermittelten Gaps aus Kapitel 2.2.2 in der Erdbeobachtung lassen sich mit unterschiedlichen Technologien schließen. Zumeist bedient eine Technologie gleich mehrere Gaps, was einen größeren finanziellen Aufwand rechtfertigen kann.

Tabelle 4: Eignung von Plattformen in der Erdbeobachtung

← Einsatzbereiche	Plattform	Eignungskriterien				
		Datenzentrum	HAP	LEO Einzelsatellit	LEO Konstellation	GEO Satellit
Zentrale Daten	Kosten der Umsetzung	2	0	0	0	0
	Eignung der Technologie / Erfüllungsgrad	3	0	0	0	0
	Skalierbarkeit der Umsetzung / Aufwuchspotenzial	3	0	0	0	0
	technologischer Reifegrad / Entwicklungsbedarf	2	0	0	0	0
	Beitragsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft	3	0	0	0	0
	Ergebnis	13	0	0	0	0
KI Erdbeobachtung	Kosten der Umsetzung	2	2	2	1	1
	Eignung der Technologie / Erfüllungsgrad	2	3	2	3	1
	Skalierbarkeit der Umsetzung / Aufwuchspotenzial	3	2	0	2	1
	technologischer Reifegrad / Entwicklungsbedarf	1	1	3	3	2
	Beitragsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft	2	3	3	3	3
	Ergebnis	10	11	10	12	8
Höhere Auflösung	Kosten der Umsetzung	1	2	2	1	0
	Eignung der Technologie / Erfüllungsgrad	2	2	1	3	0
	Skalierbarkeit der Umsetzung / Aufwuchspotenzial	3	3	0	3	0
	technologischer Reifegrad / Entwicklungsbedarf	3	1	3	2	0
	Beitragsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft	2	3	3	3	0
	Ergebnis	11	11	9	12	0
Freie Verfügbarkeit EO Daten	Kosten der Umsetzung	1	2	2	1	1
	Eignung der Technologie / Erfüllungsgrad	3	3	3	3	3
	Skalierbarkeit der Umsetzung / Aufwuchspotenzial	3	2	0	2	1
	technologischer Reifegrad / Entwicklungsbedarf	3	1	3	3	3
	Beitragsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft	3	3	3	3	3
	Ergebnis	13	11	11	12	11

Bewertungssystem

0 = Kriterium nicht anwendbar / Technologie nicht betrachtet

1 = nicht geeignet / ungünstige Voraussetzungen

2 = geeignet mit Einschränkungen

3 = geeignet / günstig Voraussetzungen

Hinweis: Wenn der Erfüllungsgrad mit "0" bewertet wurde, dann werden die anderen Kriterien nicht weiter bewertet.

Abbildung 15 zeigt die Eignung von Plattformen die identifizierten Gaps zu schließen. Zusätzlich zu den Satellitenplattformen wird noch ein Datenzentrum in die Matrix aufgenommen, da es der Wunsch nahezu aller Gesprächspartner ist.

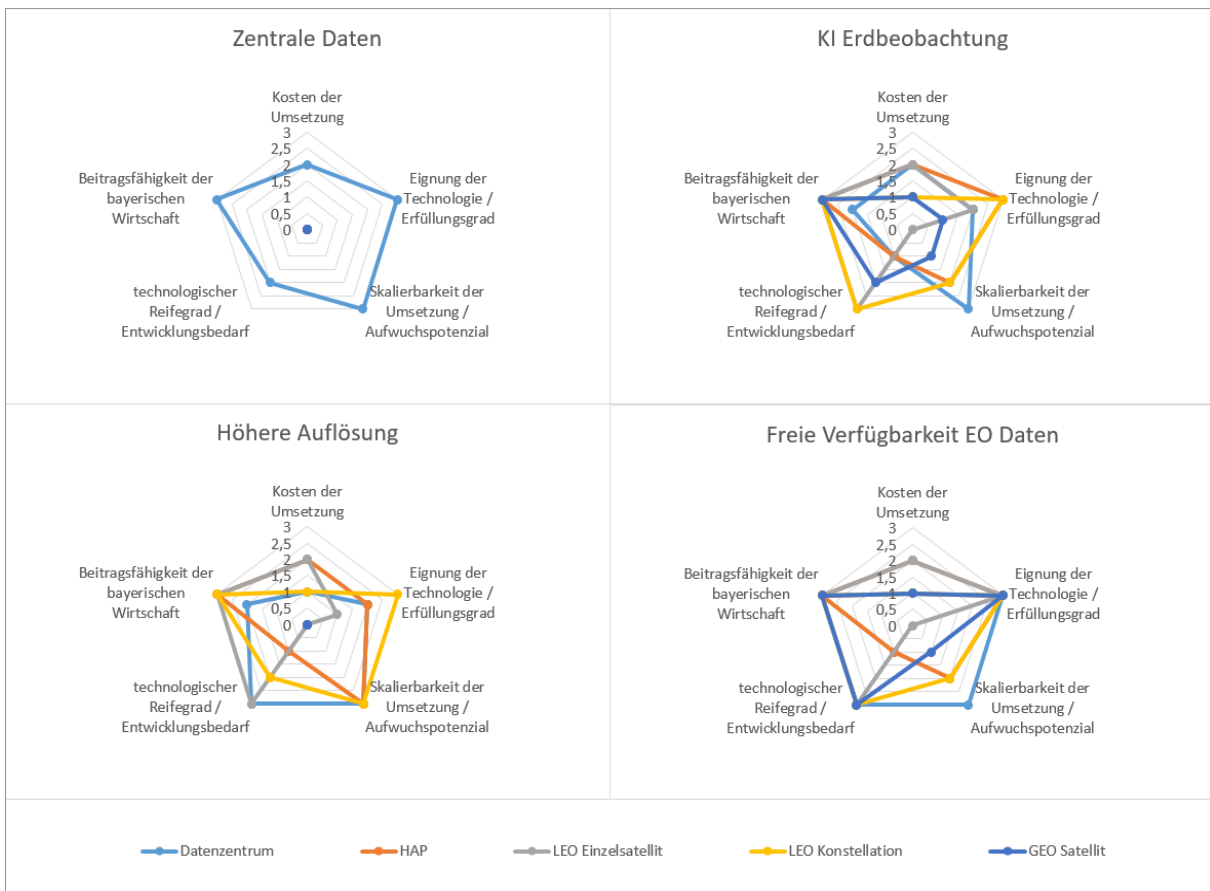


Abbildung 15: Eignungsprofile der Plattformen für Erdbeobachtung

Zur Veranschaulichung der Bewertungsfindung soll das Beispiel der höheren Auflösung dienen: Gap 3 - Auflösung und Wiederholrate der Daten. Technisch gesehen können alle Plattformen eine höhere Auflösung erreichen, allerdings ist das bei einem Satelliten in GEO nur theoretisch möglich, da man hier bei der technischen Umsetzung an Grenzen stößt. Somit wird der GEO Satellit hier nicht weiter betrachtet. Alle anderen Plattformen werden in den nachfolgenden Bewertungskriterien evaluiert.

1. **Kosten der Umsetzung:** Die Kosten beim Datenzentrum beschränken sich auf den Zukauf von höher aufgelösten Daten. Diese Kosten sind gut kalkulierbar und stehen auch als konstante Größe in den Ausgaben für die nächsten Jahre. Bei HAPS lassen sich die Kosten noch nicht gut einschätzen, da es noch keine erprobte Technologie ist. Ein Satellit in LEO mit geeigneter Instrumentierung stellt bereits einen größeren Finanzierungsaufwand dar mit dem Nachteil, dass Bayern nur selten überflogen wird. Das ließe sich durch eine Konstellation von Satelliten verbessern, allerdings nur mit erheblichem finanziellem Aufwand. Evtl. ließen sich durch den Verkauf von Daten über anderen Gebieten oder Ländern die Kosten teilweise refinanzieren.

2. **Eignung der Technologie / Erfüllungsgrad:** Eine höhere räumliche und zeitliche Auflösung ist mit einem Datenzentrum (Einkauf von Daten), HAPS und einer LEO Konstellation möglich. Ein Satellit in GEO ist technisch nicht in der Lage Daten mit einer Auflösung von wenigen Metern zu liefern, daher fällt diese Plattform komplett aus der Bewertung heraus. Ein Einzelsatellit in LEO kann dagegen keine sinnvolle Wiederholrate von wenigen Tagen liefern und ist somit die schlechteste der verfügbaren Varianten. HAPS dagegen bleiben immer auf sehr lokale Gebiete beschränkt, dafür aber mit sehr hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung.
3. **Skalierbarkeit bei der Umsetzung / Aufwuchspotenzial:** Die beste Skalierbarkeit lässt ein Datenzentrum zu, da man hier flexibel Daten zukaufen kann oder zusätzlich eine eigne Satellitenplattform starten kann. Auch bei den HAPS lässt sich die Anzahl an eingesetzten Geräten dem Bedarf anpassen. Auch die Konstellation ermöglicht einen stufenweisen Aufbau von zwei bis mehrere Satelliten. Ein einzelner LEO Satellit erlaubt dagegen kaum eine Skalierbarkeit.
4. **Aktuelle verfügbarer technologischer Reifegrad / Entwicklungsbedarf:** Ein Datenzentrum ist sofort umsetzbar, genauso wie LEO Satelliten. HAPS benötigen erst noch einen entscheidenden Entwicklungsschub, um einen dauerhaften Einsatz zu ermöglichen.
5. **Beitragsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft:** Die bayerische Wirtschaft ist in allen Plattformtechnologien sehr gut aufgestellt und grundsätzlich beitragsfähig.

Aus der Bewertungsmatrix in Tabelle 4 lässt sich bereits ablesen, dass ein Datenzentrum alle Gaps mindestens gut bedienen kann. Daten in höherer Auflösung lassen sich gut bedienen, wenn sie von privaten Anbietern hinzugekauft oder selbst erzeugt werden durch eigene HAPS oder einen eigenen Satelliten. Das käme gleichzeitig der Lücke KI in der Erdbeobachtung zugute, weil hier eine große Menge an hochaufgelösten Daten benötigt wird.

Mit Bezug auf Erdbeobachtung wird daher ein besonders sinnvoller Einsatzbereich im Umgang mit Satellitendaten, der auch um eine Satellitenplattform oder ein Fluggerät erweitert werden kann, wie folgt zusammengefasst:

Datenzentrum für georeferenzierte Daten
--

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Adressiert alle Gaps ▪ Unterschiedliche Ausbaustufen möglich ▪ Erweiterbar um eigenen Satelliten oder Fluggerät |
|---|

2.6.2 Krisenkommunikation, Breitbandausbau, Digitale Landwirtschaft, Navigation

Die nachfolgende Matrixstruktur in Tabelle 5 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bildet die im Kapitel 1 beschriebenen Weltraumtechnologien auf die identifizierten Gaps der Kommunikation und Navigation ab.

Zur Illustration der Bewertungsfindung soll das folgende Beispiel dienen. Es betrachtet GAP 3 – Krisenkommunikation. Anhand der übrigen Kriterien in Stufe 2 werden die verbleibenden Plattformen wie folgt bewertet:

- 1 **Kosten der Umsetzung:** GEO Satelliten sind verfügbar und Nutzungsrechte sind zu günstigen Preisen anmietbar. Die Anmietkosten für LEO Satellitenkonstellationen sind heute nicht bekannt, jedoch ist zu vermuten, dass nach Bildung eines Marktes auch hier Preisniveaus erreicht werden können, die mit GEO Satelliten wettbewerbsfähig bleiben. Das sollte zukünftig genau beobachtet werden. Eigene GEO Satellitennutzlasten (hosted payloads) sind ebenfalls um mehr als eine Größenordnung günstiger als LEO Konstellationen, wobei zu beachten ist, dass hier eine Small-Sat LEO Konstellation nach dem Vorbild von Starlink oder OneWeb zugrunde gelegt wird. Bei Nutzung von CubeSats kann das Bild anders aussehen, wenngleich eine Cube-Sat Konstellation die hier gestellten Anforderungen nach elektrischer Leistung und Gewicht momentan nicht vollständig erfüllen könnte. Eigene HAPs sind kommerziell noch nicht verfügbar, könnten aber in einigen Jahren auch vglw. günstig sein. Die Anmietkosten für GEO Satelliten werden auf mittlere Sicht aber sehr wahrscheinlich noch unter den HAP Kosten liegen, bis HAPs eine große Marktbreite erreicht haben werden.
- 2 **Eignung der Technologie / Erfüllungsgrad:** Technisch kann Krisenkommunikation durch alle permanent verfügbaren Weltraumplattformen bereitgestellt werden. Daher scheidet lediglich der LEO Einzelsatellit aus, weil er nur wenige Minuten über Bayern sichtbar ist (Bewertung mit „0“).
- 3 **Skalierbarkeit bei der Umsetzung / Aufwuchspotenzial:** Auch hier liegen die GEO Satelliten vorn, denn es sind verschiedene Ausbaustufen denkbar – beginnend mit der Anmietung weniger Einzelkanäle bis hin zum Bau und Start eines vollständigen eigenen Satelliten. Die LEO Konstellationen werden dagegen immer im Vollausbau benötigt, um unterbrechungsfreie Versorgung zu garantieren.
- 4 **Aktuelle verfügbarer technologischer Reifegrad / Entwicklungsbedarf:** GEO Satelliten sind technisch breit verfügbar und Jahrzehnte erprobt. HAPs befinden sich noch in der Erprobung, die Serienreife ist nicht hergestellt. LEO Satellitenkonstellationen befinden sich im Aufbau, ein Wirkbetrieb wurde aber noch nicht gezeigt.
- 5 **Beitragsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft:** Die bayerische Wirtschaft ist in allen drei geeigneten Plattformtechnologien sehr gut aufgestellt und grundsätzlich beitragsfähig.

Im Ergebnis führt die Auswertung daher zur vorgestellten Priorisierung für Gap 3. Die übrigen Gap-Analysen wurden in gleicher Weise durchgeführt. Zusammenfassend ergibt sich in Bezug auf die Plattformen folgendes Bild:

- GEO Satellit: beste Eignung 2x, ungeeignet 1x
- LEO Satellitenkonstellation: beste Eignung 1x, nie ungeeignet
- HAP Technologien: nie ungeeignet
- Die Technologien liegen oft sehr nahe beieinander / sind gleichwertig geeignet

Tabelle 5: Eignung von Plattformen in der Kommunikation und Navigation

← Einsatzbereiche	Plattform	HAP	LEO Einzelsatellit	LEO Konstellation	GEO Satellit
	Eignungskriterien				
Breitband- ausbau	Kosten der Umsetzung	2	0	1	3
	Eignung der Technologie / Erfüllungsgrad	3	0	3	2
	Skalierbarkeit der Umsetzung / Aufwuchspotenzial	3	0	3	2
	technologischer Reifegrad / Entwicklungsbedarf	1	0	3	3
	Beitragsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft	3	0	3	3
	Ergebnis	12	0	13	13
Präzisions- navigation	Kosten der Umsetzung	2	2	1	3
	Eignung der Technologie / Erfüllungsgrad	3	1	3	2
	Skalierbarkeit der Umsetzung / Aufwuchspotenzial	3	0	3	2
	technologischer Reifegrad / Entwicklungsbedarf	1	2	3	2
	Beitragsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft	3	3	3	3
	Ergebnis	12	8	13	12
Latenzkritische Netze	Kosten der Umsetzung	2	3	1	0
	Eignung der Technologie / Erfüllungsgrad	3	1	3	0
	Skalierbarkeit der Umsetzung / Aufwuchspotenzial	3	0	3	0
	technologischer Reifegrad / Entwicklungsbedarf	1	3	3	0
	Beitragsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft	3	3	3	0
	Ergebnis	12	10	13	0
Krisenkom- munikation	Kosten der Umsetzung	2	0	1	3
	Eignung der Technologie / Erfüllungsgrad	3	0	3	3
	Skalierbarkeit der Umsetzung / Aufwuchspotenzial	3	0	1	3
	technologischer Reifegrad / Entwicklungsbedarf	1	0	2	3
	Beitragsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft	3	0	3	3
	Ergebnis	12	0	10	15
Internet-of- Things	Kosten der Umsetzung	2	3	1	3
	Eignung der Technologie / Erfüllungsgrad	3	2	3	1
	Skalierbarkeit der Umsetzung / Aufwuchspotenzial	2	0	1	2
	technologischer Reifegrad / Entwicklungsbedarf	1	3	3	2
	Beitragsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft	3	3	3	3
	Ergebnis	11	11	11	11

Bewertungssystem

0 = Kriterium nicht anwendbar / Technologie nicht betrachtet

1 = nicht geeignet / ungünstige Voraussetzungen

2 = geeignet mit Einschränkungen

3 = geeignet / günstig Voraussetzungen

Hinweis: Wenn der Erfüllungsgrad mit "0" bewertet wurde, dann werden die anderen Kriterien nicht weiter bewertet.

Das Bild ist daher nicht eindeutig genug, um eine Plattformtechnologie für alle identifizierten Fähigkeitslücken zu identifizieren. Vor allem die Betrachtung der absoluten Punktezahlen zeigt, dass die Eignung der Technologien im Ergebnis in vielen Fällen sehr ähnlich ist, wenngleich sich die Eignungsprofile der Technologien (d.h. die Stärken und Schwächen bzw. die Kriterien, in denen sie viele oder wenige Punkte sammeln) durchaus unterscheiden (Abbildung 16). Die besten Kompromisse scheinen zwar die LEO Konstellation oder die HAP Technologie zu sein, jedoch zeigen auch diese technologischen Lösungen eine starke Profilierung mit ausgeprägten Stärken und Schwächen. Insbesondere die Realisierungskosten in der Größenordnung von mehreren Milliarden Euro und das (derzeit noch) hohe Realisierungsrisiko bilden durchaus gewichtige Ausschlusskriterien. Sobald auch im LEO Bereich oder im Bereich der HAPs Anmietkapazitäten zur Verfügung stehen werden, müsste das Bild neu betrachtet werden.

Aus diesem Grund wird nachfolgend eine hybride Lösung weiterverfolgt, die geeignet ist, 5 der 6 identifizierten Fähigkeitslücken zu adressieren und zugleich einen geeigneten Mix aus technologischer Reife, Kosten und Skalierbarkeit sowie Innovationspotenzial zu bilden. Diese Lösung setzt sich wie folgt zusammen:

- Mit GEO Satelliten werden die Gap 1,2,3 und 5 adressiert. Das technologische Realisierungsrisiko ist gering, Kosten und Skalierbarkeit sind sehr gut. Der Realisierungshorizont ist kurz.
- Mit HAPS wird primär Gap 4 adressiert aufgrund seiner erheblichen Bedeutung für Sicherheit und Autonomie. Zugleich bietet diese Lösung aber auch Potenzial für die Gap 2, 3 und 5 in Form geeigneter hybrider Nutzlasten. Das technologische Risiko ist dafür vglw. hoch und der Realisierungshorizont ist eher mittel- bis langfristig. Signifikante Investitionen in Forschung und Entwicklung sind erforderlich. Daher ist die Eignung von HAPs aus heutiger Sicht noch eingeschränkt.

Die nachfolgenden Ausführungen werden am Beispiel der GEO Nutzlast dargestellt. Gleichmaßen gelten sie aber auch für HAPs bzw. können die Anwendungsbeispiele auf HAPs unmittelbar übertragen werden, wobei die Vorteile und Einschränkungen (Datenrate, Bauform der Bodenterminals etc.) dann neu betrachtet werden müssen.

Nicht weiter betrachtet wird Gap 6 - latenzkritische Netze, weil mit den identifizierten Plattformen nicht umfassend umsetzbar (GEO Satellit). Zugleich sei aber betont, dass HAPS bei breiter Verfügbarkeit der Technologie sehr gut für latenzkritische Netze geeignet sein werden. Der 5G Ausbau insbesondere an den Verkehrswegen ist zudem bereits erklärte Priorität von Bundes- und Landesregierung im Ausbau der terrestrischen Telekommunikationsnetze und könnte durch HAPS und Weltraumsysteme unterstützt werden.

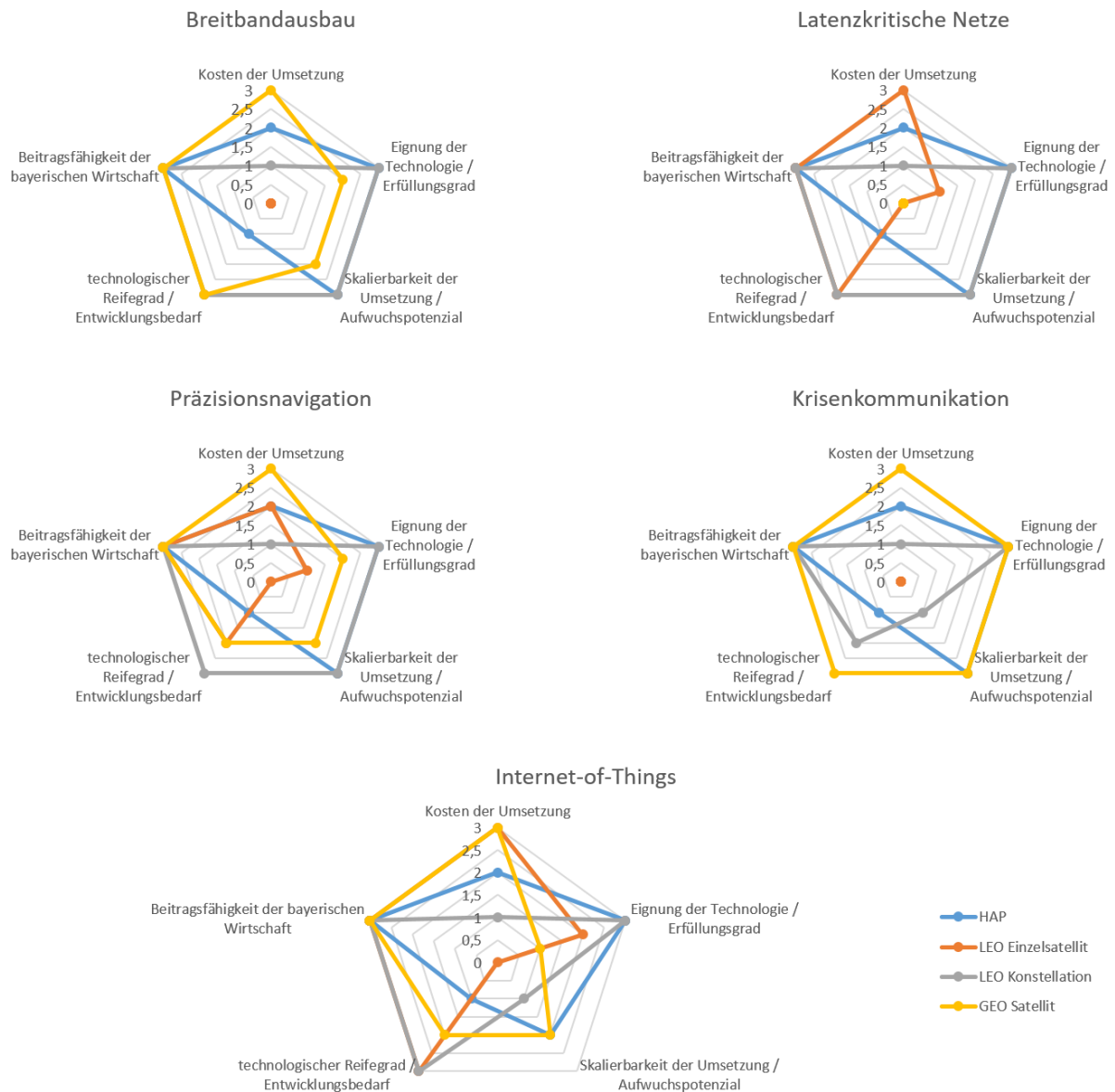


Abbildung 16: Eignungsprofile der Plattformen in der Kommunikation und Navigation

Mit Bezug auf Kommunikations- und Navigationsanwendungen werden daher vier besonders sinnvolle Einsatzbereiche für Satellitenplattformen wie folgt zusammengefasst (Reihenfolge ist keine Priorisierung):

- **Breitbandausbau für Bevölkerung, Behörden und öffentliche Verwaltung**
- **Digitalisierung der Landwirtschaft: Navigation und IoT für „precision farming“ und digitale Bestandsüberwachung**
- **Autarke sichere BOS Kommunikationsinfrastruktur für Krisen und Notfälle**
- **Unterstützung der Informationssicherheit: Quantum Key Distribution**

Diese vier Einsatzbereiche werden im folgenden Kapitel 3.2 im Detail in einem Gesamtkonzept weiterbetrachtet. Dieses Konzept wird, außer für den Fall von QKD, um das zentrale Element einer bayerischen GEO-Satellitennutzlast herum entwickelt. Für das technisch noch nicht ausgereifte QKD wird dagegen neben QCI-Fibre ein QCI-HALE als weiteres Netzwerkelement angenommen, dessen Einsatzfähigkeit und Nutzbarkeit dafür jedoch noch nachgewiesen werden muss (siehe Studienphase 0/A/B im Abschnitt 3.3).

2.6.3 Quantenkommunikations-Infrastruktur (QCI)

Wegen der besonderen Situation der Quantenkommunikation ohne konkrete Anforderungen, wird an dieser Stelle auf die Aussagen von Abschnitt 2.4 verwiesen.

3 Erläuterungen der ausgewählten Einsatzbereiche und Handlungsempfehlungen

3.1 Geodaten-Zentrum *BigBlue*

Die Ergebnisse der Gap-Analyse ließen sich alle und kohärent durch ein umfassendes Geodaten-Zentrum umsetzen. Weil die Erde aus dem All im Wesentlichen blau erscheint (71% der Erdoberfläche ist Wasser) und wegen der umfassenden Aufgaben des Zentrums, nennen wir es **BigBlue** (Arbeitstitel). BigBlue und mit ihm vernetzte Einrichtungen haben folgende Aufgaben:

1. BigBlue ist das zentrale bayerische Datenarchiv für alle bayerischen EO-Daten (incl. freie Copernicus-Daten) aus dem All, aber auch für alle (ohne Ausnahme) klassischen Geodaten bayerischer Behörden und selbst Befliegungsdaten, incl. LIDAR-Daten. Mit Blick auf die weiteren Empfehlungen dieses Gutachtens kann BigBlue auch die Basis für das später unter Kapitel 3.2 vorgeschlagene Datenzentrum für IoT Sensordaten bilden. Dadurch würden die Datenbasis sowie die Möglichkeiten zur Datenanalyse um zusätzliche Sensortypen erweitert.
2. Die Landesämter pflegen ihre aktuellen Fachdaten (etwa Vermessungsdaten) weiterhin dezentral in eigenen Facharchiven. Es ist außerdem deren Aufgabe, ihre historischen Referenzdaten zu pflegen, incl. älterer analoger Daten, die bei Bedarf von den Landesämtern zu digitalisieren sind. Alle diese digitalen Daten werden regelmäßig BigBlue zur Archivierung und Nutzung übergeben.
3. BigBlue
 - wird betrieben vom Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und
 - arbeitet eng zusammen mit dem EOC des DLR in Oberpfaffenhofen und den geodätischen Instituten der TU München.
 - In dieser Konstellation setzt es auf das bisherige EO-Forschungsprojekt Terra_Byte auf, erweitert es aber als Anwendungszentrum beträchtlich auf alle Geodaten.
 - Damit das vom LRZ betriebene Archiv auch von Dritten benutzt werden kann (Statutengemäß darf das LRZ als Einrichtung der Landesakademie seine Daten nur bayerischen Universitäten oder dem DLR zur freien Nutzung überlassen.), bedarf es einer entsprechenden Änderung seiner Governance durch die bayerische Regierung.
 - In BigBlue zu integrieren wäre das GDI-BY als bestehende staatliche Einrichtung, das die technischen, organisatorischen und administrativen Grundlagen für die gemeinsame Nutzung, die Zugänglichkeit und die Verwendung von interoperablen Geodaten und Geodatendiensten schafft.
4. Alle Geodaten von BigBlue sind entweder kostenfrei für Landesämter und kostengünstig für bayerische Unternehmen. Details siehe Punkt 13. der Empfehlungen weiter unten.

5. Die wissenschaftlichen Innovationen und neue Services für Nutzer werden diskutiert und geleitet durch den Arbeitskreis Innovationen. Er ist zusammengesetzt aus Geodaten-Wissenschaftlern und -Anwendern.
6. BigBlue ist über INSPIRE-Standards mit den Geodatenbanken anderer Bundesländer verknüpft.
7. Die Entwicklung von Schnittstellen (Apps) zu den Daten erfolgt ausschließlich in BigBlue und nach Vorgaben und Entscheidung des AK *Innovationen*.
8. BigBlue stellt über die reine Archivierung der Geodaten hinaus ein Arbeitsumfeld für Datenvorverarbeitung, Produktverarbeitung und Nutzerberatung zur Verfügung.
9. Dieses Archiv-Arbeitsumfeld soll auch als Inkubator für junge Start-up-Unternehmen dienen, aber auch als Treffpunkt von erfahrenen Forschern aus dem akademischen Umfeld mit den EO-Datenanbietern privater Unternehmen, um neue Anwendungsprodukte zu entwickeln.
10. Die Ausrichtung von BigBlue, seine Investitionen und die Entscheidungen über große Pilotprojekte werden von einem Verwaltungsrat bestimmt. Der Verwaltungsrat setzt sich zusammen aus allen wesentlichen Stakeholder von BigBlue, also nicht nur
 - Wissenschaftler und Nutzer vertreten durch eine oder mehreren Personen aus dem Arbeitskreis *Innovationen*, sondern unter anderem auch durch
 - einen Archiv-Techniker
 - Vertretern aus der Privatwirtschaft (insbesondere EO-Service-Provider) und
 - entscheidungsbefugte Personen aus zuständigen Landesämtern, insbesondere dem Finanzministerium.

Weitere Empfehlungen

11. Die bestehenden kostenfreien Copernicus-Daten und kostenpflichtigen kommerziellen Satellitendaten sind für alle momentan bestehenden Anwendungen ausreichend. Daher bedarf es zur Zeit nicht der Entwicklung und Bau zusätzlicher einzelner bayerischer EO-Satelliten.
12. Für speziell bayerische Fragestellungen ist es aber denkbar, dass Satellitenkonstellationen von Kleinstsatelliten und/oder HAPS oder Drohnen entwickelt und geflogen werden, um solche speziellen Datenlücken zu schließen (siehe Abschnitt 3.4).
13. Es sollten jedoch vom Freistaat Bayern gezielt Gelder für den Ankauf von kommerziellen EO-Daten in Form einer bayerischen Behördenlizenz für eine kostenlose Nutzung für alle bayerische Landesämter und Gruppenlizenzen für eine kostengünstige Nutzung für Privatunternehmen bereitgestellt werden. Solche Behörden- und Gruppenlizenzen werden von allen namhaften Datenanbietern angeboten. Diese Gelder könnten teilweise oder möglicherweise zu einem großen Teil durch Übertragung von Aufgaben von Landesämtern auf BigBlue abgeschöpft werden.

Lizenzkosten. Die Preise für eine Behördenlizenz sind stark abhängig vom Anbieter und von der räumlichen Auflösung. Konkret beträgt laut GAF AG eine bayerische Behördenlizenz für PlanetScope Daten mit 3 m Auflösung von der Firma

Planet Labs gegenwärtig 1,50 €/qkm. Bei der Fläche von Bayern von 70.500 qkm wäre das ein Lizenz-Gesamtpreis von ziemlich genau 100 k€. Der Wunsch vieler Landesämter nach Auflösung von etwa 1 m könnte durch eine bayerische Behördenlizenz für 1,5 m panchromatische und 6 m multispektrale Spot 6/7-Daten der Firma Airbus abgedeckt werden. Die Lizenzkosten dafür betragen etwa 4 €/qkm bzw. 1,6 €/qkm für bestehende Archivdaten; für neu beauftragte Aufnahmen etwa 25% Aufschlag. Die genannten Preise verstehen sich netto und sind eigentlich Single-User-Preise, aber viele Provider wenden sie auch für Behörden mit bis zu 5 „Nutzergruppen“, also 5 Landesämter, an. Für die höchstaflösenden 30 cm pan WorldView-3-Archivdaten betragen die aktuellen Lizenzkosten 14 €/qkm, also ziemlich genau 1 Mio Euro für ganz Bayern und somit exakt so viel wie eine Abdeckung Bayerns durch Luftbilder gleicher Auflösung (siehe Befragung StMFH, S.62). Gruppenlizenzen sind noch stärker davon abhängig, wer die Nutzer sind und ob und wie die Daten weiterverarbeitet werden. Daher können hier keine konkreten Preisangaben gemacht werden, vielmehr ist bei Gruppenlizenzen wie auch bei den oben genannten Behördenlizenzen alles eine Verhandlungssache.

14. Die im Arbeitskreis *Innovationen* entwickelten, besonders öffentlichkeitswirksamen oder für die Öffentlichkeit bedeutsamen neuen Anwendungen, sollen im Verwaltungsrat als solche identifiziert und über Sondermittel den Medien besonders nahe vermittelt werden (Public Outreach)

a) Welche Vor- und Nachteile bzw. welcher Nutzen ergeben sich durch den Einsatz von Satelliten im jeweiligen Einsatzbereich?

Vorteile / Nutzen	Nachteile
• EO-Daten bilden inzwischen einen wichtigen und großen Anteil an den benötigten Geodaten in Bayern. Sie in einem zentralen Archiv zu bündeln, das zudem Methoden in der Geodaten-Anwendungen entwickelt und den Anwendern ein Forum bietet, wie solche Geodaten genutzt werden können, erleichtert den Nutzern die Nutzung. • Die kostenlose Nutzung der Daten hat gemäß Erfahrungen der LANUV und ihrer Nutzer zu einem Innovationsschub und einer breiteren Anwendung von EO-Daten geführt. Gleiches würde man bei kostenloser (Ämtern) bzw. kostengünstiger (Privatunternehmen) Datenbereitstellung in Bayern erwarten. • Die Landesämter geben lediglich die für ihre Aufgaben notwendigen Daten vor und sie müssen sich nicht mehr um die	• Da die Landesämter, die von Ihnen entwickelten Datenprodukte auch BigBlue überlassen, verlieren sie einen Großteil ihrer bisherigen Kontrolle über die Nutzung ihrer Daten. Dies führt erfahrungsgemäß zu einem Widerstand in der Umsetzung. • BigBlue entsteht nicht durch eine Umstrukturierung bisheriger Einrichtungen, sondern stellt die Errichtung einer neuen Institution dar, die einer nicht geringen Koordination mit Stakeholdern und anderen Institutionen bedarf. • Der Erfolg von BigBlue hängt ab von einer konsequenten als auch zügigen Umsetzung. Anwender gewöhnen sich zunehmend daran, in aufwendiger Weise Daten selber zu beschaffen und sich das Know-How der Datenver-

Datenbeschaffung kümmern. Das Know-How der für sie optimalen Datenverschneidung liegt ebenfalls bei BigBlue. Dieses können sie dort in Lehrgängen erlernen und in den Ämtern relativ schnell umsetzen. So können sich die Landesämter auf ihre eigentlichen Aufgaben konzentrieren. Es gibt keinen wie bisher beklagten parallelen „Wildwuchs“. Diese Vereinfachung der Datenbeschaffung und optimalen Verschneidung gilt gleichermaßen auch für privatwirtschaftliche Datenanbieter. • Der Arbeitskreis <i>Innovationen</i> ist das zentrale Gremium, in dem Innovationen von diskutiert und angestoßen werden. Hier kommen alle Experten und Vertreter von Anwendern zusammen, um die Anforderungen an Geodatendaten in entsprechende Datenprodukte umzusetzen. • Der Verwaltungsrat ist das zentrale Gremium, das über Struktur und Investitionen entscheidet und wegen der Teilnahme der zuständigen Vertreter der Finanzbehörden auch finanziert wird (Erfahrung von LANUV). • Die Anwendung von INSPIRE-Standards stellt die Konsistenz und Austausch mit anderen europaweiten Geodaten-Archiven sicher. • Die Umgebung für Datenvorverarbeitung, Produktverarbeitung und Nutzerberatung ermöglicht es professionellen wie auch neuen Benutzern (Start-Ups) Geodaten einfach zu nutzen und sich mit innovativen Anwendungen vertraut zu machen. • Eine professionelle Umsetzung und Betrieb von BigBlue wird sichert durch das LRZ als erfahrener Archiv-Betreiber und durch das Anwendungs-Know-How des DFD und den Geodäten der TUM, mit denen das LRZ zusammenarbeitet. • Durch die Zusammenfassung in eine Geodaten-Zentraleinrichtung wird die Dopplung von Entwicklungen und Arbeiten in den verschiedenen behördlichen aber auch privatwirtschaftlichen Einrichtungen vermieden. „Jeder sieht, was der andere macht.“	schneidung anzueignen. Sollte die Umsetzung zu lange dauern, werden die sich augenblicklich langsam etablierenden Strukturen mit ihren hohen Kosten zementieren. • Der Betrieb von BigBlue durch das LRZ bedarf einer Änderung seiner Governance. Denn bisher steht das LRZ, mit der Bayerischen Akademie der Wissenschaften als Eigentümerin, nur für die Wissenschaften von bayerischen Universitäten und dem DLR zur Verfügung und nicht Dritten also etwa EO-Service-Unternehmen, die die Daten nutzen wollen.
--	---

b) Wie kann das technisch umgesetzt werden?

- Zum Aufbau von BigBlue dient das bestehende Forschungsprojekt Terra_Byte als Ausgangspunkt der Geodaten-Datenarchivierung.
- Alle weiteren Technologien (Ausbau der Rechnerkapazität und Datenspeicher) sind bekannt und kommerziell erhältlich.

Darüber hinaus geht es bei BigBlue um

- eine überfällige Reorganisation von Archivierung und Zuständigkeiten von Geodaten, insbesondere von EO-Daten, in Bayern und um
- die Entwicklung von anwendungsbezogenen Methoden für GIS-Systeme, darunter die KI-Methoden von Terra_Byte, um Nutzern den Zugang zu den Daten zu erleichtern, Anwendungs-Innovationen zu fördern und entsprechend neue Datenprodukte anzubieten.

Die letzten beiden Punkte bedürfen keiner Technik, sondern sind organisatorischer Art.

c) Welche Nutzergruppen und wie viele Nutzer könnten davon (ggf. gleichzeitig) profitieren?

Von BigBlue werden – und das zeigen alle die in dieser Studie durchgeführten Befragungen – wegen des erleichterten Zugangs und des innovativen Umfelds alle Nutzer sofort profitieren. Um die Nutzung zu reglementieren, müssen sich die Nutzer registrieren. Je nach Nutzerinstitution sind die Daten per Behördenlizenz für bayerische Landesämter kostenlos, per Gruppenlizenzen für bayerische Privatunternehmen (insbesondere Start-Ups) kostengünstig, oder für nicht-bayerische Nutzer zu marktüblichen Preisen erhältlich. Daten sogenannter Show Cases könnten für die Öffentlichkeit frei verfügbar sein. Über die Registrierung lässt sich das Kostenmodell über die Zeit beliebig verändern.

d) Wie viele Satelliten/wie viele Bodenstationen an welchen Orten wären jeweils notwendig?

Für Geodaten sind keine Investitionen in Satelliten oder Bodenstationen notwendig. Die notwendigen Investitionen gehen vielmehr in den Aufbau des Geodatenzentrums BigBlue und den Kauf von räumlich hochaufgelösten EO-Daten privater Anbieter.

e) Mit welchen Kosten (Investition und Betrieb) müsste gerechnet werden?

Das Rechnerarchiv passt von seiner Größe in die Räumlichkeiten des LRZ. Es bedarf hier also keiner Erweiterung des bestehenden LRZ-Gebäudes. Darüber hinaus könnte das bereits am LRZ im Rahmen des Projekts *Terra_Byte* bestehende Copernicus-Archiv (40 Pbyte Größe) mit genutzt werden. Hinzu käme lediglich ein zusätzlicher Speicher für die Geodaten über Copernicus hinaus, insbesondere die der Landesämter. Hierfür wären etwa 3 Pbyte zu veranschlagen. Die Kosten für 1 Pbyte betragen heutzutage etwa 250 T€ insgesamt also etwa 750 T€. Sollte eine Änderung der Governance zur Nutzung des Archivs und des Rechners für Dritte (s.o. 3. Punkt, 3. Spiegelstrich) nicht möglich sein, dann käme ein eigener Rechner für etwa 10 Mio €

hinzu. Zudem müsste für das Arbeitsumfeld (siehe 8. und 9. Punkt oben) von BigBlue ein eigenes, möglichst dem LRZ räumlich angelagertes Gebäude errichtet werden. Die Kosten dafür werden ebenfalls auf 10 Mio € geschätzt. Hinzu kämen Personalkosten für Wartung des Rechnerarchivs, und für den Betrieb des Arbeitsumfeldes.

Die Kosten für die Beschaffung hochaufgelöster EO-Daten sind im obigen Empfehlungspunkt 13 des Abschnitts 3.1 genannt. Sie hängen stark von den sich ändernden Anforderungen der Nutzer ab. Es hat sich über die vergangenen zwei Jahrzehnte gezeigt, dass zwar die Nachfrage nach immer größerer Auflösung zunimmt, demgegenüber sind aber die Preise durch immer mehr kommerzielle Datenanbieter ständig fallen. Trotzdem wird erwartet, dass die Gesamtkosten, wegen der starken Zunahme von EO-Datennutzung über die Jahre zunehmen wird.

f) Gibt es hierfür bereits Förderprogramme in ausreichender Höhe?

Es gibt gegenwärtig das bayerische Pilotprojekt [Terra Byte⁵⁵](#). Dies wäre als Nucleus für BigBlue zu verstehen.

In Terra_Byte soll eine sogenannte hoch-performante Datenanalyse-Plattform (HPDA) realisiert werden. Mit Tausenden von Rechenkernen der HPDA-Plattform sollen etwa 40 Petabytes EO-Daten für Wissenschaftler der Bayerischen Universitäten und Hochschulen und des DLR Online verfügbar gemacht werden. Die HPDA-Plattform ist über eine hochratige Datenleitung mit dem Langzeitdatenarchiv des DLR (am DFD) in Oberpfaffenhofen verbunden. Der Implementierungsvertrag wird Ende August 2020 zwischen DLR und LRZ unterschrieben. Die erste Stufe des Ausbaus soll bereits bis Ende 2020 realisiert werden. Sie beinhaltet einen Online-Speicher von 30 PB für EO-Daten am DLR und einen dedizierten Rechnerbereich von 1800 CPUs am LRZ. Der Endausbau mit der genannten Leistung soll im Jahre 2024 erreicht sein. Das Projektende von Terra_Byte soll 2026 sein. Die Kosten verteilen sich zu 20 M€ auf das DLR (womit sie sich den Zugang ihrer Wissenschaftler erkaufte) und dem StMWK, das 8 Personalstellen und die Betriebskosten in Höhe von etwa 200 – 300 k€/a finanziert. Das Forschungsziel ist, über diesen hochperformanten Datenzugriff Methoden der künstlichen Intelligenz auf die enorme Datenmenge (Big Data) anzuwenden und so neue disziplinübergreifende Datenprodukte zu schaffen.

Das bestehende GDI-BY in Hof wäre in BigBlue zu integrieren, wäre also kein Förderprogramm.

Unseres Wissens nach fördert die EU keine nationalen Datenarchive, sondern nur ihr eigenes Copernicus-Archiv bzw. die entsprechenden nationalen Archive wie [CODE-DE](#) in der Bundesrepublik. Darüber hinaus sind den Autoren der Studie keine weiteren bundes- oder europaweiten Förderprogramme bekannt. Die Initiativen gehen bislang von den Bundesländern aus.

⁵⁵ https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2019/02/20190527_hoehste-rechenleistung-zur-erforschung-des-globalen-wandels.html

g) Wann könnten eventuelle Projekte frühestens einsatzbereit sein?

BigBlue bräuchte eine Konzeptphase (Anforderungsanalyse und Grobkonzept) von etwa einem Jahr. Der detaillierte Umsetzungsplan erfordert etwa ein weiteres Jahr. Danach würde BigBlue gebaut. Je nachdem ob es in die bestehenden Räumlichkeiten des LRZ integriert werden könnte oder ob es eines eigenen Gebäudes bedarf, kann die Umsetzung zwischen einem Jahr und drei Jahren brauchen. Das Geodatenzentrum BigBlue könnte also frühestens in drei Jahren voll einsatzbereit sein.

Es wird ein Softstart empfohlen, bei dem die Strukturen übergangsweise und mit den Erfahrungen des DFD/EOC langsam aufgebaut werden mit den wichtigsten Einrichtungen zuerst. Dadurch könnten man aus BigBlue früher Nutzen ziehen.

h) Wer könnte den Betrieb etwaiger Systeme übernehmen?

Die Empfehlung der befragten Nutzer und dieser Studie lautete: Das LRZ sollte unter enger Zusammenarbeit mit dem DFD/EOC und der TUM im Anwendungsbereich und dem GDI-BY in Sachen Archivzugang den Betrieb übernehmen. Es wäre sinnvoll, dass BigBlue eine staatlich geführte Einrichtung ist, weil das LRZ mit Terra_Byte und GDI-BY als Zugangsnetzwerk bereits staatliche Einrichtungen sind und die öffentlichen Einrichtungen DLR und TUM maßgeblich die Methoden entwickeln und die Ausbildung der Nutzer in BigBlue betreiben.

i) Welche Realisierungsrisiken gibt es?

Mit den Aufgaben von BigBlue gehen Veränderung in der Organisation und Aufgaben der Landesbehörden einher, die Probleme machen könnten. Darüber hinaus gibt es weder technische Risiken noch Risiken in der Umsetzung, vorausgesetzt es gibt ein gut ausgearbeitetes Konzept unter Einschluss aller Stakeholder und eine ehrliche und belastbare Finanzierungsplanung.

Mit dem in dem obigen 13. Punkt der Empfehlungen vorgestellten Lizenz- und Kostenmodell für kommerzielle EO-Daten, das den jeweiligen Anforderungen und Finanzierungsmöglichkeiten zeitlich anpassbar ist, liegt die Steuerung der EO-Datenkosten in der Hand Bayerns.

j) Wie könnte sich der Freistaat Bayern jeweils sinnvoll einbringen, ggf. auch auf Bundes- oder EU-Ebene? (z.B. Pilotprojekte, Förderungen, Abbau von regulatorischen Hemmnissen, Konsortialbildung, ...)

BigBlue als einheitliches bayerisches Geodatenzentrum, lebt davon, dass in Projekt-runden die Nutzer ihre Anforderungen den Entwicklern der Methoden darlegen und alle Stakeholder, einschließlich staatlicher Finanzierungsentscheider über Umsetzungen beschließen. Daher ist es die Aufgabe des Freistaates Bayern

- alle Stakeholder an einen Tisch zusammenzubringen,
- von ihnen ein detailliertes Konzept ausarbeiten zu lassen,
- das Konzept und Umsetzung konsequent zu finanzieren und
- die Landesbehörden entsprechend umzuorganisieren.

k) Ist jeweils eine Eigenentwicklung empfehlenswert, bzw. notwendig oder könnte auf kommerzielle Anbieter zurückgegriffen werden?

Alle notwendigen technischen Einrichtungen von BigBlue (Rechner, Datenspeicher, Dateninfrastruktur, ...) sind kommerziell erhältlich (siehe Antwort auf Frage b)). Nutzer-Interfaces werden bisher von GDI-BY bereitgestellt und sollten in BigBlue integriert werden. Darüber hinaus bedarf es eines Entwicklungsprojektes diese Einrichtungen zu einem voll funktionsfähigen System zu vereinen. Die Erfahrung lehrt, dass diese Entwicklungsarbeit ein immerwährender Prozess ist mit hohen Anfangskosten und weit geringeren konstanten Kosten im Betrieb.

l) Ist entsprechende Technologie / entsprechendes Know-how in Bayern bereits vorhanden?

Das entsprechende Know-how ist beim LRZ, dem GDI-BY, dem DFD/EOC, und den Geodäten der TUM vorhanden. Daher wird eine enge Zusammenarbeit zwischen diesen Institutionen im Aufbau von BigBlue empfohlen.

m) Sind Geschäftsmodelle ableitbar?

Gemäß der Befragung von EO-Daten-Service-Providern sind mit dem geplanten Geodatenzentrum und insbesondere mit seinem innovativen Umfeld neue Geschäftsmodelle möglich, nämlich eine schnellere und nutzerorientiertere Umsetzung neuer Anwendungen. Ein Beispiel (siehe Befragung LANUV) dafür: Seit dem Jahre 2020 gibt es NRW-weite Themendatensätze (incl. Prognosekarten) mit 50 cm Auflösung und das wöchentlich, zukünftig alle 2-3 Tage.

n) Inwieweit trägt dies zur Erweiterung der digitalen Infrastruktur mit bei?

Das neue Geodatenzentrum BigBlue würde die bayerische digitale Infrastruktur um die neue, zentrale, digitale Infrastruktur für Geodaten, insbesondere für EO-Daten, erweitern.

o) Werden mit dem Einsatz (Grundlagen-)Forschung und Innovation gefördert?

Das entscheidende Ziel von BigBlue ist, durch den aus Anwendern und Wissenschaftlern zusammengesetzten Arbeitskreis *Innovation* innovative, anwendungsorientierten Methoden zu entwickeln, und durch einen entsprechend zusammengesetzten Verwaltungsrat solche Innovationen zu fördern und schnell umzusetzen (finanzieren).

p) Werden bei einer möglichen Realisierung Unternehmen und Gründer in Bayern mit gefördert?

Das innovative Umfeld von BigBlue soll den etablierten EO-Daten-Service-Provider ihr Angebotsportfolio erweitern helfen (s.o. neue Geschäftsmodelle), als auch neuen Start-Ups ein einfaches Arbeitsumfeld (kostenlose Daten) zur Verfügung stellen.

q) Welche Akteure müssten zur Umsetzung der Maßnahmen zusammengebracht werden?

Neben den oben genannten Know-how-Trägern LRZ, GDI-BY, DLR/DFD und TUM müssten alle Stakeholder von Geodaten für ein Konzept und die Umsetzung an einen Tisch zusammengebracht werden. Gemäß der obigen Empfehlung Punkt 10 sind dies:

- Wissenschaftler und Nutzer vertreten durch eine oder mehreren Personen aus dem Arbeitskreis *Innovationen*,
- ein Archiv-Techniker
- Vertretern aus der Privatwirtschaft (insbesondere EO-Service-Provider) und
- entscheidungsbefugte Personen aus zuständigen Landesämtern, insbesondere dem Finanzministerium.

3.2 Krisenkommunikation, Breitbandausbau, Digitale Landwirtschaft, Navigation



Abbildung 17: Komponenten der hier betrachteten weltraumbasierten Kommunikationsinfrastruktur (ohne QKD / HAPs, da separates Kapitel)

Im Kapitel 2.6.2 wurden die am besten geeigneten Einsatzbereiche in den Bereichen Navigation und Kommunikation für Satellitenanwendungen in Bayern herausgearbeitet. Dabei wurde auch dargestellt, dass drei der vier identifizierten Einsatzbereiche über eine gemeinsame Weltraumplattform adressiert werden können – eine geostationäre Satellitennutzlast. Aus diesem Grund werden diese drei Einsatzbereiche *Krisenkommunikation, Breitbandausbau und Digitalisierung der Landwirtschaft* im Rahmen der Ableitung von Handlungsempfehlungen gemeinsam betrachtet, sodass Synergien ebenso deutlich werden wie individuelle Besonderheiten.

a) Welche Vor- und Nachteile bzw. welcher Nutzen ergeben sich durch den Einsatz von Satelliten im jeweiligen Einsatzbereich?

Vorteile / Nutzen	Nachteile
Höchste Verfügbarkeit der Kommunikationsverbindungen auch bei terrestrischen Notlagen (Stromausfälle, Netzausfälle, Störungen)	Begrenzte Datenraten (je nach Systemauslegung) / eingeschränkter Mehrfachzugriff im Vergleich zu zellularen Netzen (Frequenzwiederverwendung)

• Sichere Verbindungen durch Unabhängigkeit von terrestrischen Netzen (Hacking, Sicherheitslücken bei Lieferanten) und autarke Nutzbarkeit der Infrastruktur • skalierbare Umsetzung: von der Anmietung verfügbarer Satelliten bis zum Start einer eigenen Nutzlast • gute Integrierbarkeit in terrestrische Netze (bspw. BOS Netz, WLAN etc.) • IoT Sender mit geringem Datenaufkommen können sofort angebunden werden (Landwirtschaft, Sensoren der BOS) • Vor allem Informationen an viele („Broadcast“) lassen sich sehr effizient verteilen • Eine eigene Bodeninfrastruktur erlaubt die Entwicklung zugeschnittener Services, bspw. eigene Bevölkerungsgruppen (RTK für Landwirte) oder Einsatzkräfte („Feuerwehrkanal“) • Es ergibt sich eine breite Palette von technischen und dienstleistungsorientierten Geschäftsmodellen. Hier würde vor allem die Schaffung einer Boden-Infrastruktur die Markteintrittsbarriere für Startups und KMU senken (Softwareanbieter, Entwickler digitaler Produkte / Dienstleistungen).	• vglw. lange Signallaufzeiten (Echtzeitanwendungen, Sprache) • nicht alle terrestrischen Netzfunktionen können ad-hoc abgebildet werden / es kann zu Serviceeinschränkungen kommen • Die Datenrate für IoT bleibt eingeschränkt oder die Bauform der Sender muss vergrößert werden • Es wird zusätzliche Bodeninfrastruktur (Bodenstation / Datencenter) benötigt, bevor terrestrische Netze angebunden werden können. • Die Endnutzer (Bürger / Haushalte ebenso wie BOS und Landwirte) müssen bereit sein, gewisse technische Modifikationen ihrer Kommunikationsinfrastruktur zu unternehmen (bspw. weitere Antennen. Andere Modems etc.). • Es werden Dienstleister benötigt, die für hybride Systeme (terrestrisch / Weltraum) Ende-zu-Ende Dienstleistungen anbieten.
--	---

b) Wie kann das technisch umgesetzt werden?

Die wichtigsten Schritte einer technischen Umsetzung sind folgende:

1. Anmietung von Satellitenkapazität bei einem kommerziellen Provider. Bereitstellung einer Bodenstation in Bayern durch Anmietung eines Teleports (bspw. IABG Teleport in Ottobrunn).
2. In späterer Ausbaustufe (oder zeitgleich) Beauftragung einer „hosted payload“ bei einem kommerziellen Betreiber oder über einen namhaften Satellitenhersteller (bspw. Airbus). Alternativ Zusammenarbeit mit einem Bundesministerium (BMVg, BMWi) zur Beschaffung eines Bundessatelliten mit payloads für verschiedene Nutzergruppen.

Krisenkommunikation:

- Beschaffung von Sende- / Empfangseinrichtungen für mobile Plattformen (Fahrzeuge) und Integration mit BOS Funksystem
- Zusätzlich Ausrüstung von Nutzern mit individuellen Funksystemen je nach Anwendungsfall
- Integration des Systems in Leitzentralen

- Ähnliche Schritte wie für die Digitalisierung der Landwirtschaft genannt, wenn es um Anbindung von Sensoren geht

Breitbandausbau:

- Kooperation mit Dienstleistern, die Satelliten-Kopfstationen (fest installiert oder mobil / transportabel) in interessierten Gemeinden aufbauen und betreiben. Diese Dienstleister müssen auch die Verteilung des Signals im Ort (bspw. per vorhandenem Kupferkabel oder per WLAN) realisieren und ein Abrechnungssystem sowie Helpdesk Funktionen für Endkunden anbieten.
- Ggf. Partnerschaft mit terrestrischen Mobilfunkanbietern über die Anbindung lokaler 4G/5G Basisstationen (mit eingeschränkter Funktionalität)

Digitalisierung Landwirtschaft:

- Förderung der Entwicklung und des Aufbaus eines digitalen RTK Signalverteilungsdienstes (Serviceaufbau und Endgeräteentwicklung für Plattformen)
- Förderung der Entwicklung von IoT-Sensortechnik für SAT-Anwendungen; dabei Einbindung von bayerischen Startups, die im Bereich der IoT Signalübertragung und Datenaufbereitung aktiv sind. Benötigt werden insbesondere fertige Systeme, die Sensortechnik und Funkübertragungseinheit integrieren. Da die Entwicklung von chemischen oder biologischen Sensoren eine von der Entwicklung der Funkübertragungstechnik abgekoppelte Industrie adressiert, könnten Förderanreize eine wichtige Rolle spielen. Dies käme den landwirtschaftlichen Nutzern entgegen, da diese nur Gesamtsysteme für den Feldeinsatz oder den Einsatz in Maschinen kaufen wollen und sich nicht mit der Integration beschäftigen. Beispiele existieren zahlreich, vor allem im Bereich der Umweltanalytik. Hier haben große Industriedienstleister wie SIEMENS in vielen Fällen die Integrationsaufgaben übernommen. Im Bereich IoT sind dagegen noch Aufgaben offen. Ein prominenter Anwendungsfall ist die Messung von Nitratkonzentrationen per Schnelltest auf dem Feld. Angesichts immer strengerer Düngemittelverordnungen wurden hierzu bereits Forschungsprojekte gestartet, bspw. das Projekt „Citizen Sensor“, bei dem das Fraunhofer EMFT in München ein Nitratmesskit auf Basis elektrochemischer Sensorik entwickelt⁵⁶. Im nächsten Schritt könnte dieses weiter automatisiert und mit IoT Sensorik angebunden werden. Erste Schritte in diese Richtung geht das Forschungszentrum „Sense“ der UniBwM, das sich derzeit in Gründung befindet. In Kooperationen mit Universitäten und Fraunhofer sowie mit eigenen Startup-Ausgründungen wie NEOSAT sollen integrierte Sensorkonzepte mit Funkanbindung entstehen.
- Zwingend Zusammenarbeit mit einem namhaften Landtechnikunternehmen, das auch Services im Bereich Smart Farming anbietet (bspw. BayWa). Danach ggf. Zusammenarbeit mit Saatgut- und Maschinenherstellern, insbesondere solchen, die noch nicht über ein eigenes ausgebautes digitales Dienstleistungsportfolio verfügen (bspw. Fendt).

⁵⁶ <https://www.emft.fraunhofer.de/de/ueber-uns/veranstaltungen/nitratmesskit-elektrochemische-sensorik.html>

c) Welche Nutzergruppen und wie viele Nutzer könnten davon (ggf. gleichzeitig) profitieren?

Die wesentlichen Nutzergruppen, die hier adressiert werden, sind:

- BOS und öffentliche Verwaltung durch:
 - Infrastrukturmonitoring/ Flächennutzung
 - Landvermessung, Geodatenerfassung, Kartierung
 - Krisen- und Notfallkommunikation
- Bevölkerung und private Haushalte im Bereich Breitbandanbindung, Smart Metering und Energiewende (Sensorik)
- Industrie und Unternehmen
 - Lager- und Transportlogistik
 - Smart Metering und Energiewende
 - M2M Services und Industrie 4.0
- Landwirtschaft, Landschaftspflege & Naturschutz
 - Precision Farming/ Smart Farming/ Ertragsoptimierung
 - Düngemittel- und Pestizidausbringung
 - Wild- und Tierbeobachtung
 - Artenschutz

Zusätzlich zu den unmittelbaren Profiteuren werden mittelbar die bayerische Industrie und dabei der bayerische Mittelstand profitieren, da Schlüsseltechnologien für die skizzierten Umsetzungsmaßnahmen in Bayern verfügbar sind (viele davon ausschließlich in Bayern aufgrund der Historie als Raumfahrtstandort).

d) Wie viele Satelliten/wie viele Bodenstationen an welchen Orten wären jeweils notwendig?

Initial genügen ein (vorhandener) Satellit sowie eine bayerische Bodenstation mit Datenzentrum⁵⁷. Perspektivisch sind Kapazitäten zu erhöhen und – insbesondere bei der Einbindung in kommerzielle Anwendungen mit Servicegarantien oder sicherheitskritische Anwendungen – ist Redundanz hinzuzufügen. Mit der Anzahl der genutzten Satelliten steigt die Dienstgüte. Sehr gut denkbar wäre auch ein Mix aus angemieteter Satellitenkapazität für weniger sicherheitskritische (kommerzielle) Anwendungen und eigener hoheitlicher Satellitenkapazität für BOS. Dabei fördert auch angemietete Kapazität unmittelbar den Raumfahrtstandort Bayern, da die Ankerung der Daten über bayerische Teleportanbieter erfolgen wird.

Besondere Bedeutung kommt einer zentralen IoT Bodenstation mit IoT-Datencenter zu. Trotz der großen Breite an IoT Nutzern und IoT Services wäre eine solche Bodenstation ein europaweites Novum, insbesondere dann, wenn auch terrestrische IoT Services integriert werden könnten und die verfügbare Datenplattform damit verbreitert. Hierdurch könnten digitale Mehrwertdienste, die

⁵⁷ Hier werden nur die benötigten zentralen Bodenstationen betrachtet, nicht die Nutzerterminals und mobilen Netzknoten.

stets von der Aufbereitung dem Verschneiden von Daten aus unterschiedlichen Quellen leben, ideal angebunden werden – ein perfekter Inkubator für Startups. Da aber das Bodensegment eine Infrastrukturinvestition ist, die weit außerhalb des Fokus solcher Unternehmen liegt, muss die öffentliche Hand hier die Voraussetzungen schaffen. Auf Synergiepotenzial mit dem Geo-Datenzentrum BigBlue, das im Kapitel 3.1 vorgestellt wurde, wird hier nochmals verwiesen.

e) Mit welchen Kosten (Investition und Betrieb) müsste gerechnet werden?

Krisenkommunikation:

Anmietung von Satellitenkapazität inkl. Servicekomponente zur Ankerung: Preisbildung erfolgt pro Monat und pro Transponder / Spektrum (Megahertz):

- Kostenbasis: 2.000-5.000€ pro Megahertz und Monat (Langfristmiete günstiger)
- Pro Megahertz könnte ca. 1.5 Megabit/sec übertragen werden (Durchschnittswert, kann nach Nutzerterminal und Antennengröße abweichen); Mehrfachzugriff (mehrere Nutzer) im Zeitscheibenverfahren ist mit geringen Verlusten möglich, d.h. die Datenrate pro Nutzer skaliert sich in etwa linear mit der Nutzerzahl.
- Ausrüstung eines mobilen Netzknotens (Führungsfahrzeugs): ca. 1 Mio €. In Bayern stehen für das BOS-Netz bereits „Mobile Basisstationen“ zur Verfügung, die über Satellit an Vermittlungsstellen angebunden werden können. Mit diesen können in ca. ½ Tag (Anfahrt, Aufbau, Netzintegration) mobile Zellen errichtet werden. Für kleinere Einsatzgebiete können ggf. Repeater/Gateways geschaltet werden. Dieses Konzept illustriert bereits die grundlegende Architektur, die mit dem Vorschlag eines eigenen Raumsegments sowie der Anbindung weiterer Nutzer ausgebaut, flexibilisiert und autarker würde.

Breitbandausbau:

- Aufbau eines mobilen Netzknotens pro Gemeinde (100-300 Haushalte): 15-40 k€
- Anbindung der Haushalte, Service und Satellitenkapazität werden durch monatliche Verträge (wie Telekom / Vodafone) abgebildet. Preisindikation ist 50 € pro 50 Megabit- Haushaltsanschluss (ohne Mehrwertdienste)

Digitalisierung der Landwirtschaft:

- Anmietung von Satellitenkapazitäten für IoT Sensoren wie bei Krisenkommunikation. Hier können mit wenigen Megahertz mehrere tausende bis zehn- oder auch hunderttausende Sensoren IoT-Endgeräte angebunden werden, je nach Sendehäufigkeit und Datenmenge.
- Aufbau einer IoT-Bodenstation mit Datencenter: ca. 10 Mio € Investitionskosten Betriebskosten werden nicht betrachtet, da sie sich über die Mehrwertdienste refinanzieren sollten, damit eine solche Anwendung wirtschaftlich bleibt. In ähnlicher Weise wie bei den bereits existierenden Satelliten-Teleports (bspw. IABG in Ottobrunn) würde der Bodenstationsbetreiber seine Infrastruktur bestehend aus den Funkübertragungssystemen, der Datenverarbeitung und der Bereitstellung von Schnittstellen durch eine Dienstleistungsgebühr den Nutzern in Rechnung stellen. Nutzer sind in diesem Fall sowohl die Endkunden (Landwirtschaftsbetriebe, Privatpersonen etc.), die ihre Sensordaten in einer Datenbank im Internet einsehen

wollen, als auch die Anbieter von Mehrwertdiensten (bspw. Software-Apps, die Daten verschneiden und neue digitale Produkte generieren), die ihrerseits wieder eigene Kunden bedienen. Je nach Geschäftsmodell könnten die kommerziellen Kunden der IoT-Bodenstation auch stärker belastet werden, um andere Nutzer kostenfrei bedienen zu können. Nicht zuletzt wäre werbefinanzierte Modell grundsätzlich denkbar.

Im Falle der **Investition in ein eigenes, bayerisches Raumsegment** (hosted payload) muss ein deutlich höheres Investitionsbudget eingeplant werden.

- Eine entsprechende Kommunikationsnutzlast, die alle drei Anwendungsfälle abdecken und dabei ein gewisses Innovationspotenzial abbilden soll, kann einschließlich Startbeteiligung grob mit einem Investitionsbedarf von 50 – 100 Mio EUR abgeschätzt werden.
- Der Betrieb eines eigenen Raumsegments wird üblicherweise von entsprechenden Einrichtungen, respektive Kontrollzentren (z.B. GSOC) im Unterauftrag übernommen. Dieser beträgt, je nach Komplexität des Raumsegments, ca. 2 Mio EUR jährlich, wäre aber ebenfalls aus Bayern heraus möglich.
 - Für das Bodensegment eines Satellitendienstes muss die entsprechende Infrastruktur zum Empfang und zur Prozessierung der Daten bereitgestellt werden. Hier können wieder privatwirtschaftliche Anbieter genutzt oder eigene Investitionen getätigt werden. Bei einer Eigeninvestition nehmen wir erneut 10 Mio € an. Der Betrieb des Bodensegments kann jährliche Kosten im mittleren Mio EUR Bereich hervorrufen. Durch ein hohes Kommerzialisierungspotential ist zu erwarten, dass sich hier mittelfristig Synergien mit anderen Diensten ausprägen, die so die laufenden Kosten für den Staatshaushalt kontinuierlich entlasten.

f) Gibt es hierfür bereits Förderprogramme in ausreichender Höhe?

Für die Erarbeitung der zugrundeliegenden Technologien sind Förderprogramme in auskömmlicher Höhe auf Bundesebene und europäischer Ebene vorhanden. Die Finanzierung des vorgeschlagenen Boden- und Raumsegments (Technologie und Infrastruktur) und der daraus basierenden Services ist aus diesen Programmen weder möglich noch sinnvoll. Fördermittel aus den verschiedenen Bundes- und Länderprogrammen zum Breitbandausbau werden derzeit kaum für Satellitendienste verwendet. Dies wäre genauer zu betrachten.

g) Wann könnten eventuelle Projekte frühestens einsatzbereit sein?

Ein Raumsegment auf Mietbasis dürfte innerhalb weniger Monate zur Verfügung stehen. Beim Aufbau eines Bodensegments sind die Bauzeit für die zu schaffende Infrastruktur ausschlaggebend sowie die Bereitstellung von Senderlaubnis und Frequenzrechten. Entscheidend für die Einsetzbarkeit auf technologischer Seite ist die Zeit bis zur Verfügbarkeit der Nutzerterminals und Endgeräte.

Technologische Risiken bestehen dabei hauptsächlich im Bereich der **Digitalisierung der Landwirtschaft**, wobei dort auch das höchste Potenzial für Innovationen und die Förderung der Startup-Szene gesehen wird. Eine realistische

Schätzung für die Zeitdauer bis zur Verfügbarkeit der Technologie ist ca. 3 Jahre. Pilotprojekte könnten mit vorhandenen Experimentalbodenstationen in Bayern schneller realisiert werden.

Im Bereich der **Krisenkommunikation** sind Pilotprojekte sofort umsetzbar. Der Aufbau entsprechender Infrastruktur wäre nutzerseitig technisch innerhalb eines Jahres möglich, jedoch dürfte die Einsatzreife von Prozessen der Behörden (Beschaffung, Qualifikationen, Zertifizierungen) abhängen, die mehr Zeit in Anspruch nehmen. Technologische Risiken bestehen bei der medienbruchfreien Integration der Satellitenverbindungen in das BOS Netz. Hier dürften Anpassentwicklungen erforderlich sein, zumindest wenn alle Services unterstützt werden sollen (für manche Services wird das nicht möglich sein). Ein mittlerer Zeithorizont von 3 Jahren wäre sicherlich zu veranschlagen.

Im **Breitbandausbau** sind Anbindungen von Gemeinden innerhalb weniger Monate mit marktverfügbarer Technologie möglich. Beispielsysteme existieren in Baden-Württemberg, die zugrunde gelegt werden könnten.

Für die Umsetzung eines **eigenen bayerischen Raumsegmentes** (Hosted Payload) sind im günstigen Fall etwa 3 Jahre ab Vertragsunterschrift mit einem professionellen Satellitenbetreiber zu veranschlagen. Zuvor sind Machbarkeitsuntersuchungen durchzuführen und exakte Anforderungen / technische Designs zu entwickeln.

h) Wer könnte den Betrieb etwaiger Systeme übernehmen?

Bevorzugt ein kommerzieller Anbieter oder ein Konsortium aus privatwirtschaftlich organisierten Firmen mit staatlichen Abnahmegarantien für Teilkapazitäten. Für andere Anwendungen wurden solche Betriebskonzepte schon vielfach erarbeitet.

i) Welche Realisierungsrisiken gibt es?

Services und Nutzerakzeptanz:

Das größte Risiko könnte die fehlende Akzeptanz der Nutzer für die neuen Services sein (vor allem im landwirtschaftlichen Bereich). Da die Anzahl der potenziellen Nutzergruppen insgesamt aber sehr groß und heterogen ist, könnte jedoch die fehlende Akzeptanz in einem oder in mehreren Bereichen hingenommen werden. Die geschaffene Kommunikationslösung (auch die hosted payload) kann auch mit einem Bruchteil der möglichen Dienste kommerziell erfolgreich betrieben werden.

Technische Risiken:

Die technischen Risiken sind im Ganzen vglw. gering. Die Technologie für GEO Satelliten ist erfolgreich etabliert. IoT Anwendungen haben bei GEO Satelliten etwa ein Technology Readiness Level 6 (TRL 6), d.h. sie wurden in relevanter Umgebung prototypisch getestet. Eine Produktentwicklung müsste angestoßen werden, dürfte momentan aber an der fehlenden Infrastruktur (Bodenstation, Betriebseinrichtung) scheitern. Die Technologie für den Breitbandausbau sind marktverfügbar, ebenso für satellitengestützte Notfallkommunikationssysteme.

Breite Erfahrung liegt auf Seiten der Bundeswehr vor. Als Risiko bleibt die Integration in BOS Funkssysteme, die hier nicht abschließend untersucht werden kann.

Infrastrukturelle Risiken:

Bei der Erschaffung von Infrastruktur am Boden besteht das Risiko der Verzögerung in Planungs-, Genehmigungs- und Bauphase. Hier kann ein zweistufiges Vorgehen mit einer vorübergehenden Mietlösung für die Satellitentechnik und einer Unterbringung der benötigten Komponenten in bestehenden Gebäuden Abhilfe schaffen. Auch die Nutzung vorhandener Experimentalbodenstationen wäre temporär denkbar.

„Me-Too“-Risiko:

Darüber hinaus muss genau beobachtet werden, was sich am kommerziellen Markt in naher und mittlerer Zukunft tut, denn staatliche Initiativen sollten Marktlösungen nicht duplizieren oder mit ihnen in Konkurrenz treten (keine „me-too“⁵⁸-Produkte). Zu prüfen wären ferner die wettbewerbsrechtlichen Folgen einer solchen Konkurrenz, wobei die hier unterbreiteten Vorschläge im Grundsatz stets darauf abstellen, dass der Freistaat keine eigenen Produkte oder Dienstleistungen anbietet, sondern dies kommerziellen Marktteilnehmern überlässt. Die Rolle des Staates würde sich auf die Förderung besonderer Infrastruktur beschränken, die Katalysatorwirkung entfalten soll.

Im Zusammenhang mit dem Breitbandausbau sind bspw. die Aktivitäten zu Megakonstellationen, vor allem in den USA, genau zu verfolgen. Nach Presseberichten soll bspw. die Starlink-Konstellation in den USA den Pilotbetrieb im Sommer aufnehmen. Das Geschäftsmodell bietet Full-Service-Lösungen an, bei denen auch die Satellitenanlagen mit Routern für die Haustechnik mitgeliefert werden. Presseberichten zufolge liegt die Abdeckung bereits heute zwischen dem 44 und 52 Breitengrad – Bayern wäre damit abgedeckt. Im Bereich IoT sind die Angebote terrestrischer LPWAN Lösungen relevant. Laut Vodafone werden im 800 MHz Bereich bereits heute LoraWAN-Sender und -Empfänger bei den Basisstationen mit aufgebaut, um IoT Anwendungen zu ermöglichen. Mit dem Erreichen der Mobilfunk-Flächenabdeckung des Bundes von 97,5% bis zum Jahr 2025 könnte dadurch auch ein flächendeckendes Angebot an IoT Services entstehen. Dieses Angebot könnte weiter ergänzt werden um satellitenbasierte Lösungen, mit denen sich derzeit verschiedene Startup-Firmen befassen. So will das Startup Lacuna Space aus England (UK) die Lora-Technologie mit niedrigfliegenden Satelliten verbinden. Ein weiteres Beispiel ist die Firma Hiber aus den Niederlanden, die mit dem Produkt „Hiberband“ ebenfalls eine einfache Sensoranbindung über Satellit verspricht. Momentan sind die Produkte dieser Startup-Firmen noch nicht für einen breiten Markt geeignet oder auch nur als Konzept vorhanden, aber sie zeigen doch das Interesse an solchen Lösungen. Auch große traditionelle Satellitenbetreiber wie die französische Eutelsat suchen zunehmend Kompensation ihrer bröckelnden Umsätze im klassischen TV-Broadcast in neuen Märkten, darunter IoT. Mit dem System ELO hat Eutelsat jüngst eine radikal neue Lösung basierend auf Nanosatelliten vorgestellt. Es ist zu

⁵⁸ Unter dem Begriff „me-too“ versteht man in den Wirtschaftswissenschaften Nachahmprodukte oder Nachahmdienstleistungen, meist mit dem Ziel, sich über einen günstigeren Preis zu differenzieren.

vermuten, dass die Corona-Krise aufgrund massiver Umsatzeinbrüche in maritimen und aeronautischen Märkten die Investitionen in moderne Themen wie 5G und IoT weiter vorantreiben wird. Zugleich ist zu beachten, dass keine der hier diskutierten Lösungen auf geostationäre Satellitentechnologie setzt, sodass Bayern dort noch eine Führungsrolle einnimmt. Während Lösungen mit niedrigfliegenden Satelliten stets auch die Abhängigkeit vom Raumsegment des Betreibers mit sich bringen, bieten geostationäre Lösungen die Chance betreiberunabhängiger Systemkonzepte.

In der Diskussion eines potenziellen Mee-Too-Risikos muss stets beachtet werden, dass auch strukturpolitische und wirtschaftsstrategische Überlegungen eine legitime Rolle spielen können. So kann es, jenseits von Bedenken zum Datenschutz und zur Informationshoheit, auch schlicht von Interesse sein, die Versorgung wesentlicher Teile der Internetversorgung der eigenen Bevölkerung nicht von ausländischen Unternehmen und deren Infrastruktur abhängig zu machen. Ähnliche Argumente gelten für die Grundversorgung der eigenen Bevölkerung mit Nahrungsmitteln und den dazu notwendigen IT-Anwendungen. Insofern ist der Trennung eines „Mee-Too“-Konzeptes von Maßnahmen staatlicher Risikovorsorge nicht beliebig scharf. Zu den Beispielen der Vergangenheit zählt bspw. die Entwicklung eigener Satellitennavigationssysteme in verschiedenen Nationen.

Projektrisiken:

Bei der Projektdefinition muss sensibel darauf geachtet werden, die erforderliche industrielle Unterstützung und vor allem Erfahrung einzubinden. Ferner muss beachtet werden, dass staatlichen Beschaffungsprozesse nicht bremsend wirken dürfen. Aktuelle Satellitenkommunikationsprojekte wie das „Heinrich Hertz“ Projekt⁵⁹, das inzwischen mit einer Realisierungszeit von mehr als 10 Jahren auffällt, verdeutlichen welches erhebliche zeitliche Risiko in staatliche geführten Raumfahrtprojekten stecken kann.

j) Wie könnte sich der Freistaat Bayern jeweils sinnvoll einbringen, ggf. auch auf Bundes- oder EU-Ebene? (z.B. Pilotprojekte, Förderungen, Abbau von regulatorischen Hemmnissen, Konsortialbildung, ...)

Für ein bayerisches Satellitenprojekt empfiehlt sich die Zusammenarbeit mit dem Raumfahrtmanagement des DLR, das im nationalen Programm Satellitentechnologie fördert und umsetzt. Synergien ergeben sich weiterhin mit anderen Bundesbehörden, der Bundeswehr, der EU und der EDA, die nach ähnlichen Lösungen im Internet der Dinge suchen. Das neu zu schaffende Zentrum für Digitalisierung und Technologieförderung der Bundeswehr wird darüber hinaus maßgeblich an der Universität der Bundeswehr München entstehen und bietet Anknüpfungspunkte. Eine bayerische Lösung mit den genannten Diensten ist grundsätzlich immer auch auf ganz Deutschland oder Teile Europas ausweitbar. Bayern könnte hier ein Vorreiter sein und nach erfolgreicher Etablierung der Dienste diese außerhalb Bayerns etablieren. Gerade im Breitbandausbau existieren massive Defizite in den neuen Bundesländern bei zugleich angespannterer Haushaltssituation.

⁵⁹ Einige weitere Informationen zum Heinrich Hertz Projekt finden sich im Abschnitt 3.5.2.5.

Die bayerische Politik kann im Bereich der Frequenzkoordinierung auf Bundes- und EU-Ebene Einfluss nehmen und die geplanten Dienste forcieren.

Des Weiteren ist die Standortfrage für ein bayerisches Bodensegment ein Thema, das der Freistaat Bayern adressieren sollte, um geeignete Standorte zu sichern. Hier bieten sich Kooperationen mit dem Bund an, der in seinen strategischen Überlegungen auf Ebene verschiedener Ministerien den Ausbau von Fähigkeiten im Raumfahrtbereich anstrebt, und vor allem Kleinsatelliten und deren Startfähigkeiten betrachtet. Hier wird auch der Standort Feldafing eine Rolle spielen und könnte Potenzial der Zusammenarbeit bieten.

Das Hauptaugenmerk für den staatlichen Beitrag sollte aber grundsätzlich gelegt werden auf die Schaffung von

- Digitaler Infrastruktur,
- Regeln und Antworten auf regulatorische Fragen,
- finanzielle Beiträge zur technologischen Risikominimierung für Investoren,
- Inkubatoren für neue Akteure, sodass sich ein Markt bilden kann,
- Ausbildung und Know-How.

k) Ist jeweils eine Eigenentwicklung empfehlenswert, bzw. notwendig oder könnte auf kommerzielle Anbieter zurückgegriffen werden?

Diese Frage wurde im Rahmen der vorangegangenen Fragen bereits ausführlich beantwortet. Die Alternativen wurden dargestellt. Es wird an dieser Stelle auf die Ausführungen im Punkt i) verwiesen.

l) Ist entsprechende Technologie/entsprechendes Knowhow in Bayern bereits vorhanden?

Auch auf diese Frage wurde bereits eingegangen. Grundsätzlich gilt, dass Bayern für alle technologischen Kernelemente über das erforderliche Know-How verfügt. Ferner liegen die Voraussetzungen in der Industrie, im Mittelstand und in der Startup-Szene vor, die Bayern für ein solches Projekt prädestinieren. Die große Bedeutung der Landwirtschaft in Bayern sowie deren besondere Gliederung mit kleinen Flächen und schwer zugänglichen Räumen lassen Bayern zudem besonders von Smart-Farming Ansätzen profitieren, um am Weltmarkt konkurrenzfähig zu bleiben.

m) Sind Geschäftsmodelle ableitbar?

Geschäftsmodelle sind entlang der gesamte Wertschöpfungskette ableitbar:

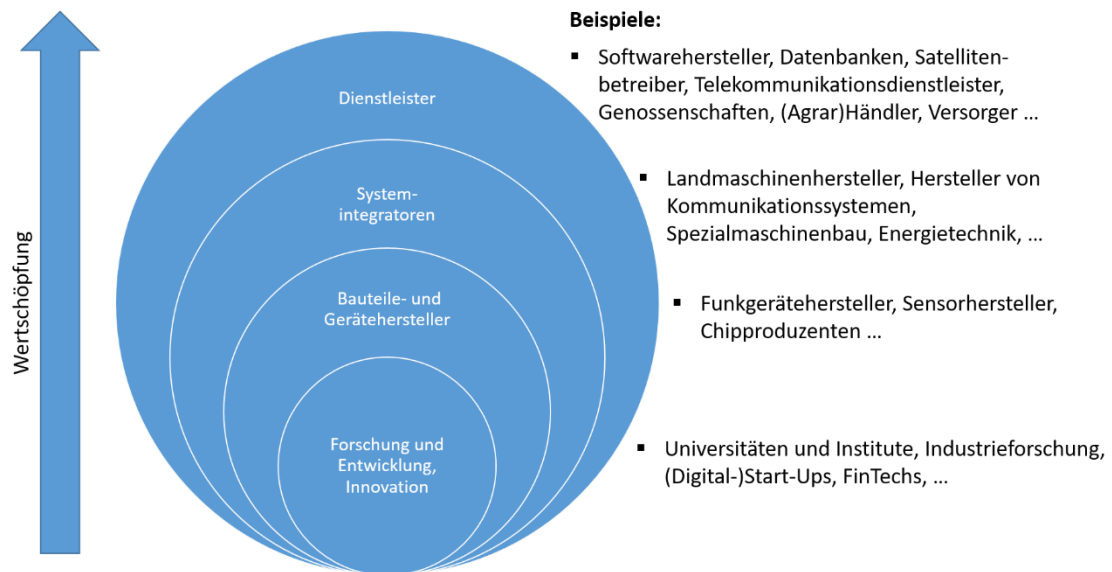


Abbildung 18: Wertschöpfungskette für weltraumbasierte Kommunikationsinfrastruktur - Beispiele

Besonders interessant ist die breite Palette an Dienstleistungsangeboten, die für die verschiedenen Teilbereiche vorstellbar sind und auch schon diskutiert wurden. Aber auch bei der Systemintegration, der zweite Teilbereich mit hohen Margen, besteht viel Potenzial. Nicht zuletzt bietet vor allem die Senkung der Markteintrittsbarrieren für Startups und KMU hohe Wachstumschancen.

n) Inwieweit trägt dies zur Erweiterung der digitalen Infrastruktur mit bei?

Der Vorschlag zielt bewusst auf den Aufbau einer digitalen Infrastruktur, die eine Vielzahl von Anwendungen möglich machen kann. Die empfohlenen Lösungen erweitern die digitale Infrastruktur deutlich, da durch die satellitengestützte Anbindung (räumlich und/oder zeitlich) unerschlossene Bereiche an bestehende Netzwerke angebunden werden. Für die Krisenkommunikation erzeugt der Vorschlag Redundanz und Übertragungssicherheit.

Im Detail erweitert die Satellitenlösung die digitale Infrastruktur vor allem in den Bereichen

- Digitale Netze
- Produkte und Endgeräte
- Digitale Geschäftsmodelle
- Digitale Prozesse in Industrie und Verwaltung
- Mehrwertdienste

o) Werden mit dem Einsatz (Grundlagen-)Forschung und Innovation gefördert?

Die Möglichkeit der satellitengestützten IoT-Übertragung nimmt potentiellen Investoren das Risiko eine kostenintensive Satellitentechnologie zu schaffen. Damit werden innovative Lösungen gefördert, die sonst aus Gründen eines zu hohen Risikos evtl. nicht entstanden wären, und die Bereiche Internet-of-Things, künstliche Intelligenz

(maschinelles Lernen) zur Netzoptimierung und zur Datenauswertung im IoT als Teil digitaler Mehrwertdienste sowie kritische Infrastrukturen abdecken.

Vor allem die satellitengestützte Sensordatenübertragung hat noch immer hohes Innovationspotenzial. Die Anbindung von Sensoren eröffnet neue Möglichkeiten der Datenerfassung und fördert die Entwicklung von neuartigen Sensortechnologien. Beispielsweise könnte die Entwicklung eines automatisierten Nitratsensors gefördert werden, der bislang nicht verfügbar ist, aber ein weitreichendes Problem (Überdüngung) mit hoher gesellschaftlicher Relevanz lösen kann. Ähnliche Beispiele sind für alle Anwendungsdimensionen ableitbar. Dies wiederum stellt eine Förderung der Grundlagenforschung dar.

Innovationen entstehen ferner insbesondere auch auf Seite der Datenprozessierung. Durch Bereitstellung der über die o.g. Plattform gesammelten Daten kann die Forschung zu Big Data und konkreten Anwendungen weiter gefördert werden. Darauf aufbauend entstehen Fragen zur IT-Sicherheit und zur sicheren Datenübertragung, deren Lösung auf andere Fachgebiete übertragbar sind und ebenfalls hohe gesellschaftliche Relevanz haben. Die Datenauswertung ist ohne Maschinenlernen nicht denkbar.

p) Werden bei einer möglichen Realisierung Unternehmen und Gründer in Bayern mit gefördert?

Diese Frage wurde im Rahmen der vorangegangenen Fragen bereits ausführlich beantwortet. Unternehmen werden vielfach entlang der Wertschöpfungskette gefördert, aber Gründerförderung erfolgt hauptsächlich im Rahmen der Digitalisierung mittels IoT Diensten (hier für die Landwirtschaft, aber die Förderung wird breiter sein und auf andere Anwendungsbereiche ausstrahlen aufgrund vergleichbarer Anforderungen). In der Tat existieren heute bereits Startups oder Startup-Ideen, die auf Diensten rund um das Thema IoT basieren. Da in Deutschland aber kein Unternehmen deutlich in diesen Sektor investiert hat – mit wenigen Ausnahmen wie bspw. der Deutschen Bahn, fehlt wiederum das privatfinanzierte Engagement in die erforderliche Infrastruktur. Auf Ebene der europäischen Raumfahrtagentur ESA werden daher verschiedene Anstrengungen für Pilotprojekte unternommen, vor allem unter Nutzung der Internationalen Raumstation ISS. Diese Projekte sind aber sehr langsam und bestenfalls geeignet, die technologische Machbarkeit nachzuweisen. Einen Markt werden sie aber nicht generieren können. Darunter leiden praktisch alle Startups zum Thema raumfahrtbasiertes IoT, im Inland und im Ausland, vor allem auch solche, die sich weniger für die IoT Datenübertragung selbst, sondern mehr für die Angebote an digitalen Mehrwertdiensten interessieren.

Die großen Satellitenbetreiber Europas haben nun begonnen, durch Entwurf eigener Systeme einen solchen Markt zu schaffen, jedoch sind diese Ansätze geprägt durch den Versuch, mehr oder weniger gekapselte Insellösungen mit festen Technologien und Ende-zu-Ende Services zu etablieren, um die komplette Wertschöpfung selbst zu heben. Solche Ansätze sind ungeeignet, die Chancen der Technologie voll zu erschließen und Ansätze für Startups und Innovationen zu schaffen. Bayern hat hier die Chance, durch gezielte und geschickte Investitionen ein offenes und agiles Umfeld zu schaffen, wie man es derzeit nur im Silicon Valley und in China findet. Wie der Freistaat Sachsen dies in den Bereichen Halbleitertechnologie und terrestrische 5G Technologien erfolgreich gezeigt hat, kann eine solche profilschärfende Investition extrem positive Rückwirkungen auf die wirtschaftliche Entwicklung haben und große Mengen privaten Kapitals anziehen. Wenn Bayern die entscheidenden Komponenten einer digitalen Infrastruktur für die Weltraumnutzung bereitstellt, wird sich ein Innovationszentrum bilden.

q) Welche Akteure müssten zur Umsetzung der Maßnahmen zusammengebracht werden?

Mögliche Akteure für die Umsetzung sind in Bayern zahlreich vorhanden. Will man diese grob in Kategorien unterteilen, könnte dies in etwa wie folgt aussehen:

- **Hersteller (einschließlich Startups) von (bodengebundener) Hardware** (drahtlose Sensoren, Geräte zur digitalen Signalverarbeitung, Antennen, u.v.m.), z.B. ANavS, ESG, Rohde & Schwarz, Work Microwave, NEOSAT, MT Mechatronics, Nomor Research, Rosenberger
- **Hersteller von Raumfahrzeugen und –technologie**, z.B. Airbus Defense and Space Ottobrunn, Apcon AeroSpace & Defence, HPS, Bayern Chemie, Isar Aerospace, MT Aerospace, OHB System, SAT4M2M, STT-SystemTechnik
- **Know-How Träger aus Universitäten und Forschungseinrichtungen**, z.B. Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Technische Universität München, Universität der Bundeswehr München, Fraunhofer (IISB, EMFT), DLR Oberpfaffenhofen, Munich Aerospace
- **Betreiber von (Satelliten-)Bodenstationen, Teleports und Kontrollzentren**, z.B. DLR Weilheim, DLR Oberpfaffenhofen, DLR GfR, Geodätisches Observatorium Wettzell, iABG, M.T.I. Teleport München, Horizon Teleports Moosburg

Bevor die Industrie und Forschung eingebunden werden, sollten aber Gespräche mit den Nutzern (Kunden) und mit Dienstleistungsanbietern geführt werden. Im Bereich der Krisenkommunikation wird dies sicherlich über Ministerien geschehen, während der Breitbandausbau nicht ohne Einbeziehen der Gemeindevertreter erfolgen kann. Bei den Dienstleistern geht es vor allem darum, Telekommunikationsunternehmen einzubinden und auch mit großen Satellitenbetreibern zu sprechen. Um Skaleneffekte auf Bundesebene zu heben und von bestehenden Technologieentwicklungen zu profitieren, sollten der Koordinator der Bundesregierung für die Deutsche Luft- und Raumfahrt sowie die Abteilung Planung im BMVg einbezogen werden. Auf Seiten der Landwirte ist der Bayerische Bauernverband der geeignete Ansprechpartner und ebenso die Maschinenringe.

3.3 Quantenkommunikations-Infrastruktur (QCI)

Die Autoren dieser Studie empfehlen die Untersuchung der Möglichkeit einer hybriden Quantum Communication Infrastructure (QCI) bestehend einerseits aus bayern-eigenen und dedizierten QCI-Sat, also einer Konstellation von QKD-Nano-Satelliten im LEO, als auch QCI-HALE, also einer Flotte von HALE Zephyr-Flugzeugen von Airbus in der Stratosphäre und ihrer möglichen Integration in ein deutsches QCI-Fibre (QuNet und OPENQKD) und/oder ein europäisches EuroQCI in einer Studie. In einer ersten Studienphase (sogenannte Phase 0/A) sollte zunächst die Sinnhaftigkeit gemäß Anforderungen und Machbarkeit (incl. Integration in QCI-Fibre) untersucht werden. Sollte diese Phase positiv abschließen, sollten funktionalen Spezifikationen und die Systemarchitektur in einer Phase B untersucht werden. Danach wäre zu entscheiden, ob mit einzelnen Satelliten und/oder HALEs ein Proof-of-Concept (PoC) demonstriert wird. Diese Empfehlung zielt also darauf ab, früh genug zu untersuchen, ob es für Bayern Sinn macht, ein kommendes QCI-Fibre mit einem bayern-eigenen Overlay-System zu augmentieren oder eventuell zu ersetzen, weil kostengünstiger.

a) Welche Vor- und Nachteile bzw. welcher Nutzen ergeben sich durch den Einsatz von Satelliten / HAPS im jeweiligen Einsatzbereich?

Vorteile / Nutzen	Nachteile
• Ein QCI-Sat ist im Gegensatz zu einem QCI-Fibre leicht aufbaubar bzw. käuflich. • Das Know-how und sogar große Teile der Technologie für die Plattformen von QKD-Satelliten (OHB) und HALEs (Zephyr / Airbus) sind vorhanden oder mit relativ geringen Entwicklungsaufwand verbunden. • Die Kosten für eine gephasste Studie bis zu einem PoC, die am Ende jeder Phase abgebrochen werden kann, sind daher übersichtlich und gering. • Die Dauer für die Studie bis zum PoC mit einem QKD-Satelliten betrüge etwa drei Jahre, für ein HALE Zephyr-Flugzeug-Projekt sogar nur etwa zwei Jahre. • Wegen räumlicher Unzugänglichkeit und schwieriger Manipulierbarkeit von HALEs und Satelliten im Flug sind sie intrinsisch sicherer als terrestrische Trust Nodes in Glasfasernetzwerken. • Alles nötige Know-how (Prof. Weinfurter / LMU) und Technik (OHB für QKD-Sat und Mynaric AG für Laserterminals) ist in Bayern angesiedelt.	• Im Vergleich zu QCI-Fibre hat QCI-Sat geringere Datenraten. Daher wären bayernweit wahrscheinlich hybride Lösungen QCI-Fibre/Space oder QCI-Fibre/HALE oder gar QCI-Fibre/HALE/Space für gleichzeitig nationale und internationale Verknüpfung optimal (siehe Abschnitt 1.5.1) • Die Vollkosten eines bayerischen QCI-HALE sind im Augenblick nur schwer abschätzbar. Das liefert die Studie Phase B. • Die Technik sowohl von QKD-Sats als auch von HALEs ist in Deutschland nicht erprobt, daher ist eine Entwicklungszeit von etwa 3-4 Jahren notwendig. • Neben dem Flugsegment ist ein eigenes Bodensegment (Betriebssteuerung der Satelliten und Flugzeuge) notwendig und damit verbunden Betriebskosten. Bei HALE-Flugzeugen kommen bisher unbekannte Wartungskosten hinzu. • Zwei Einrichtungen, die direkt über QCI-Sat oder QCI-HALE miteinander in Verbindung stehen, brauchen für die

• Eine Konstellation von QKD-Sats (= QCI-Sat) ist einfach skalierbar (mehr/weniger Satelliten) und im Falle von QCI-HALE dazu sogar dem Bedarf dynamisch anpassbar (je nach Bedarf veränderliche Flugpositionen der Flugzeuge). • Gute Integrierbarkeit in ein mögliches zukünftiges QCI-Fibre. • Ein hybrides QCI-Fibre/HALE wäre insbesondere für entlegene bayerische Regionen interessant.	Verbindung zusätzlich zu den QKD-Endgeräten räumlich ausrichtbare Laserterminals. (Sollte ein QCI-HALE und/oder QCI-Sat in ein QCI-Fibre integriert sein, bräuchte es nur die üblichen QKD-Endgeräte.) • Übertragene Photonen im Nahen-Infrarotbereich durchdringen zwar diesige Luft und Luft mit hohem Feuchtegehalt, jedoch keine Wolken. Daher ist bei starker Bewölkung kein Schlüsselaustausch gewährleistet. • Für die Installation eines QCI-HALE in Bayern wären im Vorfeld luftfahrtrechtliche Fragen zu klären, da es solche Systeme bisher noch nicht gibt.
--	---

b) Wie kann das technisch umgesetzt werden?

Ein bayerisches QCI mit QKD-Satelliten und/oder QKD-HALE-Flugzeugen sollte in folgenden Schritten entwickelt und installiert werden:

1. Ein QCI-Sat-System und ein QCI-HALE-System sollten zunächst unabhängig voneinander in Systemstudien bis Phase B (Design-Phase) entwickelt werden.
2. Parallel dazu sollten in Einzeleinsätzen von QKD-Satelliten und QKD-HALE-Flugzeugen die Machbarkeit (Proof-of-Concept) und Nutzen der Technologien demonstriert und daraus das Kosten/Nutzen-Verhältnis jedes Systems evaluiert werden.
3. Erst danach soll auf Basis von Zuverlässigkeit und Kosten und im Vergleich zu den kommenden QCI-Fibre entschieden werden, welches System von beiden das bessere ist.
4. Sollten sich beide oder gar alle drei Systeme in ihrer Anwendung ergänzen, wäre auch ein hybrides System aus beiden oder allen dreien denkbar und umsetzbar.
5. Erst nach diesen Vorentwicklungen und Entscheidungen wären die Bodenstationen mit dem kostenintensiven Betrieb aufzubauen und danach das Flugsegment (HALEs und Satelliten) zu installieren.

c) Welche Nutzergruppen und wie viele Nutzer könnten davon (ggf. gleichzeitig) profitieren?

Im Prinzip kann jede Person und Einrichtung, das über ein entsprechendes Laserterminal verfügt, ein QCI-HALE oder -Sat direkt nutzen. Dies werden bevorzugt internationale Firmen oder Geheimdienste tun. Es bedarf lediglich und voraussichtlich einer gewissen Organisation der Reihenfolge der Nutzer (queuing) durch die Betriebsbodenstation. Die dadurch bedingten Wartezeiten sollten bei bestehender Verbindung kleiner als eine Minute sein.

Ein normaler Nutzer in urbanen Bereichen wird von den Details eines hybriden QCI, basierend auf QCI-Fibre, nichts mitbekommen, weil er mit einer klassischen Glasfaserverbindung an ein Gateway weitergeleitet wird, das automatisch eine Verbindung mit einem QKD-Satelliten oder QKD-HALE-Flugzeug aufnimmt. Das Signal wird auf der Gegenseite wiederum über ein Gateway und eine Glasfaser an den anderen Nutzer verbunden.

Für rurale Einrichtungen, die auf eine Quantenkommunikation angewiesen wären jedoch keinen QCI-Fibre-Anschluss besitzen, weil zu abgelegen, können bei einem existierenden QCI-Sat oder QCI-HALE durch Kauf eines Laserterminals dennoch an einem QCI teilnehmen.

d) Wie viele Satelliten / wie viele Bodenstationen an welchen Orten wären jeweils notwendig?

Die Antwort auf diese Frage wird die Phase A der empfohlenen Studie (siehe Text vor Frage a) und Antwort auf Frage b) geben. Ganz grob lässt sich sagen Bei einem Elevationswinkel (Sichtbarkeitswinkel) von 20° würde jedes HALE-Flugzeug ein Bodensegment mit Durchmesser von etwa 110 km und somit eine Bodenfläche von etwa 9000 qkm abdecken. Für Bayern mit seinen 70.000 qkm Bodenfläche, wäre daher und unter Berücksichtigung eines gewissen Flächenüberlapps etwa 10 Flugzeuge notwendig, um ganz Bayern abzudecken. Diese müsste koordiniert werden durch eine Betriebsstation und über etwa 100 Gateways (Laserterminals an terrestrischen Trusted Nodes) an ein QCI-Fibre angeschlossen werden. Wie gesagt, dies ist eine sehr grobe Schätzung.

e) Mit welchen Kosten (Investition und Betrieb) müsste gerechnet werden?

Die Antwort auf diese Frage ist ebenfalls Teil der Vorentwicklung (siehe 1. Absatz zur Frage b).

f) Gibt es hierfür bereits Förderprogramme in ausreichender Höhe?

Es gibt bereits das [bayerisches Förderprojekt QUBE](#)⁶⁰ (Quantum Key Distribution with CubeSat) zur Demonstration eines Boden-zu-CubeSat-Schlüsselaustauschs mit dem [BB84-Protokoll](#). Partner sind OHB AG, Prof. Weinfurter, LMU, das Max Planck Institut für die Physik des Lichts, Erlangen, und Prof. Schilling, Uni Würzburg. Förderprogramme, die QCI-Fibre fördern, werden hier nicht betrachtet.

g) Wann könnten eventuelle Projekte frühestens einsatzbereit sein?

Die Vorentwicklungszeit für ein QCI-HALE benötigt etwa 3 Jahre. Der QUBE-Satellit wird voraussichtlich ebenfalls in 3 Jahren fliegen. Danach würde über ein konkretes (hybrides) System entschieden und konzipiert (2 Jahre). Der Bau und Flug des QCI-Sat und eines QCI-HALE betrüge nochmals etwa 2 Jahre, so dass nach frühestens etwa 7 Jahren ein operatives QCI-HALE oder nach etwa 9 Jahren ein QCI-Sat zur

⁶⁰ <https://pdfs.semanticscholar.org/441b/1d25d946cb52a948ddaaab7bd7697955d425.pdf>

Verfügung stände. So lange braucht voraussichtlich auch ein terrestrisches QCI-Fibre, in das dieses System integriert werden könnte.

h) Wer könnte den Betrieb etwaiger Systeme übernehmen?

Für den Betrieb eines QCI-Sat wäre OHB prädestiniert, für ein QCI-HALE Airbus. Für ein hybrides System wahrscheinlich Airbus oder ein Netzwerk-Serviceprovider, etwa die Telekom.

i) Welche Realisierungsrisiken gibt es?

Das in Frage b) aufgezeigte Entwicklungsszenario in vier Stufen könnte jederzeit und vor der Installierung des Systems (also vor der Hauptinvestition) abgebrochen werden, wenn sich herausstellen sollte, dass das System nicht so funktioniert wie gedacht. Zu diesen Systemrisiken gehört etwa die Zuverlässigkeit des QKD-Austauschs bei hoher Luftfeuchte oder diesige Luftschichten oder die Stabilität der Verbindung zwischen Bodenstation und Satellit / HALE wegen Intensitätsschwankungen durch Dichtefluktuationen der Atmosphäre. Ein weiteres Risiko sind die bisher nur schwer abschätzbaren Bau-, Installations- und Betriebskosten.

j) Wie könnte sich der Freistaat Bayern jeweils sinnvoll einbringen, ggf. auch auf Bundes- oder EU-Ebene? (z.B. Pilotprojekte, Förderungen, Abbau von regulatorischen Hemmnissen, Konsortialbildung, ...)

Es wäre sehr wichtig, dass in Bayern keine QCI-Insellösung entsteht, sondern eine zumindest mit der Bundesregierung, wenn nicht eine EU-weite abgestimmte Lösung. Die Erfahrung zeigt aber, dass Einrichtungen, die technische Lösungen als erste anbieten, auch die Standards setzen.

Für die Installation eines QCI-HALE wären im Vorfeld luftfahrtrechtliche Fragen zu klären, da es solche Systeme bisher noch nicht gibt.

k) Ist jeweils eine Eigenentwicklung empfehlenswert, bzw. notwendig oder könnte auf kommerzielle Anbieter zurückgegriffen werden?

Es gibt weltweit noch kein QCI-Sat, also ein voll funktionsfähiges Satellitenkonstellationssystem bestehend aus mehreren QKD-Satelliten. Daher müsste die bayerische Regierung aufbauend auf dem bestehenden bayerischen QUBE-Projekt bei OHB AG die Entwicklung und Bau ein solchen Systems in Auftrag geben.

l) Ist entsprechende Technologie/entsprechendes Knowhow in Bayern bereits vorhanden?

Ja. Airbus bietet HALEs an, OHB entwickelt derzeit QKD-Satelliten, wissenschaftlich-technisches Know-how liegt zudem (siehe Frage f) an der Uni Würzburg (Prof. Schilling), am MPI-MPL/Erlangen und LMU (Prof. Weinfurter).

m) Sind Geschäftsmodelle ableitbar?

Für Airbus und OHB wären diese Projekte Geschäftsmodelle mit durchschlagender Wirkung, denn es wären erste Best Practice Anwendungen für weitere Kunden weltweit.

n) Inwieweit trägt dies zur Erweiterung der digitalen Infrastruktur mit bei?

Sollte ein QCI-HALE oder QCI-Sat System installiert werden, wäre dies die tragende Säule der digitalen Quantenkommunikation in Bayern. Wahrscheinlich ist jedoch, dass, wie bei EuroQCI oder QuNet geplant, national ein QCI-Fibre installiert wird und ein bayerisches QCI-Sat oder QCI-HALE als Overlay-System das QCI-Fibre in ruralen Bereichen augmentieren würden.

o) Werden mit dem Einsatz (Grundlagen-)Forschung und Innovation gefördert?

Dem ist definitiv so, denn die vorgeschlagene gestufte Entwicklung (siehe Frage b) beinhaltet eine weitere Forschung und Entwicklung, die voraussichtlich weitere Innovation mit sich bringt.

p) Werden bei einer möglichen Realisierung Unternehmen und Gründer in Bayern mit gefördert?

Gefördert würden neben Airbus und OHB auch Zulieferer wie Mynaric in Gilching und vielleicht weitere mittelständische und kleine Unternehmen mit technischen Speziallösungen.

q) Welche Akteure müssten zur Umsetzung der Maßnahmen zusammengebracht werden?

Es müssten alle großen Luft- und Raumfahrtfirmen Bayerns, insbesondere Airbus und OHB, sowie viele kleine Satellitenentwicklungsfirmen wie Smart Small Satellite Systems GmbH, Center of Telematics in Würzburg und OroraTech in München zusammenarbeiten, dazu Wissenschaftler und Techniker verschiedener bayerischer Universitäten und Institute der Fraunhofer-Gesellschaft. Im [bayerisches Förderprojekt QUBE](#) (Quantum Key Distribution with CubeSat) zur Demonstration eines Boden-zu-CubeSat-Schlüsselaustauschs mit dem BB84-Protokoll, sind konkret die OHB AG, Prof. Weinfurter, LMU, das Max Planck Institut für die Physik des Lichts, Erlangen, und Prof. Schilling, Uni Würzburg, involviert. Alle anderen genannten Unternehmen sind bisher noch nicht in Sachen QKD-Sats tätig.

3.4 Kleinsatellitenschwärme und -konstellationen für selektive EO-Anwendungen

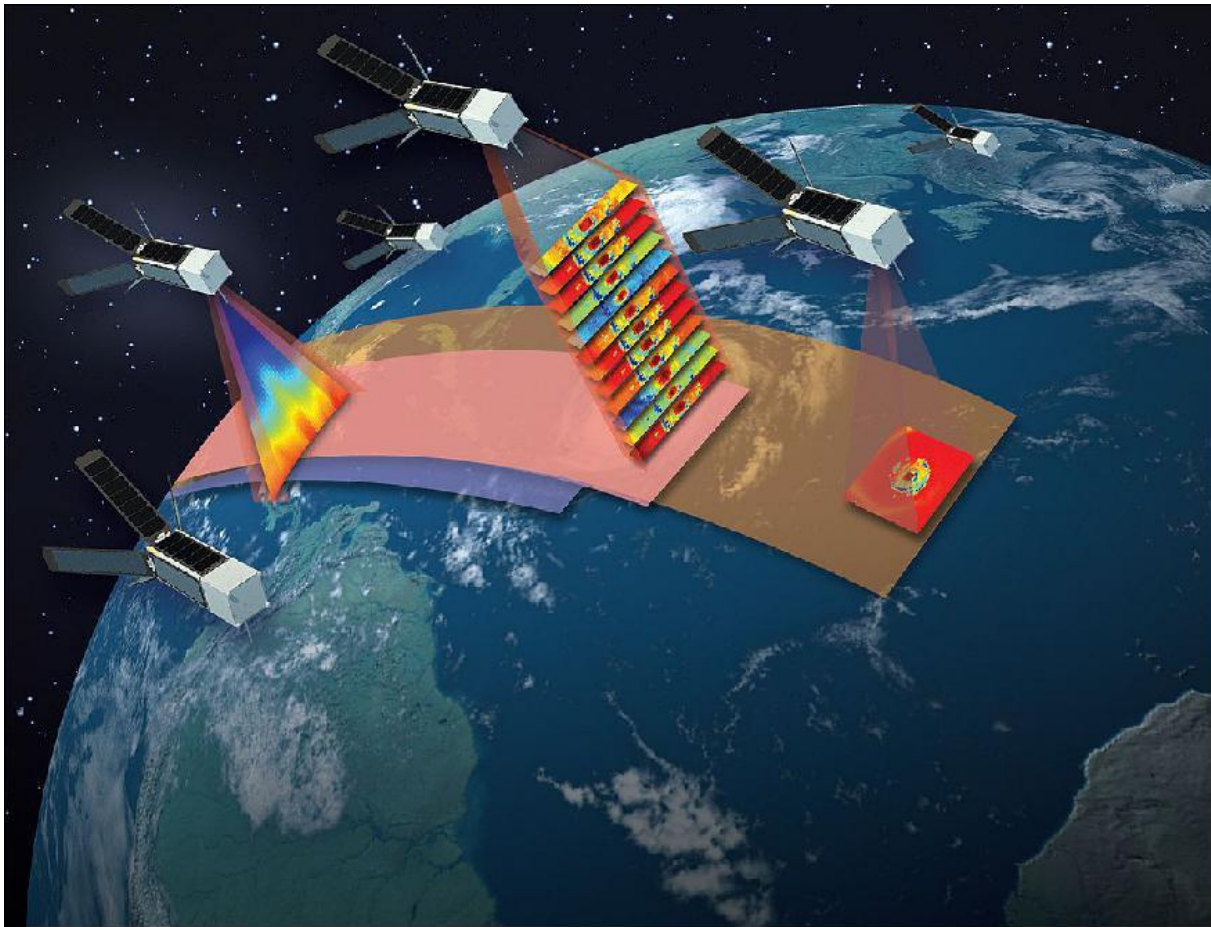


Abbildung 19: CubeSat-Schwarm zur Erdbeobachtung (Quelle: MIT, NASA)

Wie in Kapitel 1.6 dargestellt, stellen CubeSats eine disruptive Innovation für zahlreiche Anwendungsfelder in der Raumfahrt dar. Insbesondere im Bereich der Erdbeobachtung werden diese Satelliten bereits heute für selektive Aufgaben, wie beispielsweise die globale Verbesserung von Wettermodellen, eingesetzt. Allein Anwendungen für die Wettervorhersage und meteorologische Apps sind mit einem Anteil von 12% am satellitenbasierten EO-Markt ein signifikanter Faktor am weltweiten Markt (European Commission, Copernicus Market report Issue 1, 2016). Bayern könnte, auch in Verbindung mit dem in Kapitel 3.1 vorgestellten Datenzentrum, einzelne Kleinsatelliten, und später auch Kleinsatellitenschwärme und -konstellationen nutzen, um identifizierte EO-Datenlücken zu füllen. Diese Datenlücken können beispielsweise durch Aufnahmen im optischen Frequenzbereich, im Hyperspektralaufnahmen, oder auch Aufnahmen im Thermal-Infrarot exakt bedient werden. Hier ist beispielsweise die Detektion von Waldbränden aus dem Orbit mittels Kleinsatelliten als eine mögliche Anwendung hervor zu heben. Auch die künftige Datenerhebung für die Klimawandelbeobachtung und -analyse auf regionaler und globaler Skala ist mittels kleiner Satelliten möglich. Regional könnten Kleinsatelliten landwirtschaftliche Prozesse, Waldgesundheit, Trockenheit und

die Aufheizung der Städte beobachten. Wichtig ist in jedem Fall die Definition der Mission von Anwenderseite: direkter Nutzen für den bayerischen Bürger und bayerische Unternehmen kann so sichergestellt werden. Um eine bessere zeitliche Abdeckung zu erzielen oder mehrere Anwendungen in einem Typ Satellit zu berücksichtigen, wäre auch eine Skalierung des Systems in Form eines Satellitenschwarms oder einer Satellitenkonstellation denkbar.

a) Welche Vor- und Nachteile bzw. welcher Nutzen ergeben sich durch den Einsatz von Satelliten im jeweiligen Einsatzbereich?

Vorteile / Nutzen	Nachteile
• EO-Daten die auf spezifische, sehr eng definierte Anwendungen zugeschnitten sind • Skalierbarkeit und Unabhängigkeit gegenüber Einflussfaktoren (Wind, Wetter) • Synergien mit dem im Kapitel 3.1 vorgestellten Datenzentrum • Niedrige Kosten von Kleinsatelliten, skalierbarer Aufbau • skalierbare Umsetzung: zunächst könnten neuartige Sensoren auf Drohnen oder HAPS getestet werden, danach ein erster Kleinsatellit gestartet. Wird dieser angenommen, kann auf einen Schwarm/Konstellation erweitert werden (sofern nötig) • Auch hier ergibt sich eine breite Palette von technischen und dienstleistungsorientierten Geschäftsmodellen für Startups und KMUs in Bayern. Diese können beispielsweise in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft oder Klimawandel liegen, und sowohl die reine Datenlieferung als auch die anschließende Veredlung der Daten umfassen.	• EO-Daten die auf spezifische, sehr eng definierte Anwendungen zugeschnitten sind • Möglicherweise geringe Akzeptanz bei den Nutzern für (neue) Satellitendaten → die potenziellen Nutzer solcher Daten müssen frühzeitig in der Definitionsphase des Satelliten an den Tisch geholt werden, sodass die Daten tatsächlich für Anwendungen geeignet sind.

b) Wie kann das technisch umgesetzt werden?

Um Kosten und Risiko zu minimieren, sollte ein schrittweiser Aufbau erfolgen. Um die Synergien mit der Digitalisierung zu maximieren, und den größtmöglichen Nutzen für die Bürger und den Freistaat zu gewährleisten, muss ein datenzentrischer Ansatz erfolgen. Das bedeutet, dass im ersten Schritt versucht werden sollte, unter Einbindung von Forschung, Politik und Industrie Datenlücken zu identifizieren, die EO-Anwendungen in Bayern derzeit verhindern. Im zweiten Schritt sollte aus diesem Input ein standardisierter

Kleinsatellit (Größenklasse ca. 5-15 kg), welcher auf kommerziell verfügbare Komponente basiert, diese Datenlücke schließen. Denkbar wäre hierzu beispielsweise eine miniaturisierte Hyperspektral- oder Infrarotkamera zur Detektion von Waldbränden oder für die Datenerhebung zur Waldgesundheit einzusetzen. Der Kleinsatellit sollte über eine kostengünstigen Rideshare-Startgelegenheit (mitunter auf einer bayerischen Trägerrakete) ins All gebracht werden. Der Fokus der Mission sollte hierbei auf dem spezifischen Nutzen der Bürger und Anwender liegen, und auch kommerzielle Aspekte bewusst berücksichtigen. Bodenstationen für den operativen Betrieb können hierzu kostengünstig als ein Service bezogen werden (beispielsweise über Amazon Web Services). Entscheidend ist die nachgesiedelte einfache Einbindung der bayerischen Bürger und des Freistaats über innovative Ansätze aus der Digitalisierung. Denkbar wäre, die gesammelten Satellitendaten in einer aufbereitenden Form direkt über eine App verfügbar zu machen. Auch kann für bayerische Unternehmen und die Wissenschaft eine Bereitstellung über ein Data Warehouse, oder auch über BigBlue unter Nutzung der Synergie, erfolgen. Im dritten Schritt, bei erfolgreicher Einbindung in den Nutzermarkt, kann das System skaliert werden. Hier kann entweder durch Starts von baugleichen Satelliten die Wiederholrate verbessert, oder durch den Flug eines unterschiedlichen Instruments auf dem gleichen Satelliten der Anwenderkreis vergrößert werden. Unabhängig von der Anzahl der Satelliten muss bei jeder Mission die Vermeidung von Weltraummüll gewährleistet werden. Dies kann beispielsweise durch verfügbare aktive De-Orbit Technologie (Dragsail) aus Bayern erreicht werden.

c) Welche Nutzergruppen und wie viele Nutzer könnten davon (ggf. gleichzeitig) profitieren?

Der Kreis der primären Nutzer ist sehr groß: die Daten werden für die bayerische Land- und Forstwirtschaft, Universitäten, aber auch für den Bürger geliefert. Auch bayerische Unternehmen können über im Downstreammarkt angesiedelte Anwendungen profitieren. Der bayerische Staat ist auch ein direkter Nutzer der Daten.

d) Wie viele Satelliten/wie viele Bodenstationen an welchen Orten wären jeweils notwendig?

Bei regionalem Fokus ist ein Satellit ausreichend, der im niedrigen Erdorbit (500-600 km) platziert werden sollte. Die Anzahl kann bei Erfolg der ersten Mission schrittweise erhöht werden. Die genauen Bahnparameter sollten aus Kostengründen an verfügbare Rideshare-Startgelegenheiten opportunistisch angepasst werden. Bodenstation können kostengünstig als Service bezogen werden – hier strömen immer mehr Firmen aus dem Digitalmarkt in den Satellitenbetrieb. Um globale Zusammenhänge zu verstehen und kommerziellen Erfolg auch international zu gewährleisten ist der Aufbau einer Konstellation aus Kleinsatelliten mittel- bis langfristig denkbar. Der Staat könnte für eine solche Konstellation als Ankermkunde auftreten, und auch den Aufbau einer solche Konstellation durch die Finanzierung von Precursor-Missionen beschleunigen.

e) Mit welchen Kosten (Investition und Betrieb) müsste gerechnet werden?

An Gesamtkosten für den ersten Satelliten für eine dreijährige Missionsdauer müssten ca. 5,5 Mio € veranschlagt werden. Dies setzt sich aus der Investition für den ersten Satelliten

von etwa 5 Mio. € (samt Start) und den Betriebskosten von < 150.000 €/pro Jahr (siehe Berechnungsbeispiel von Amazon Web Services (Amazon Web Services, 2020) zusammen. Für einen zusätzlichen, baugleichen Satelliten wären die Investitionskosten nachfolgend etwa um den Faktor 5-10 geringer.

f) Gibt es hierfür bereits Förderprogramme in ausreichender Höhe?

Nein: das nationale Raumfahrtförderprogramm ist auf mittelfristige Sicht durch Großmissionen blockiert. Das Querschnittsthema Raumfahrt und Digitalisierung wird zwar in kleineren Fördertöpfen (vor allem Downstream orientiert) behandelt, jedoch sind hier die Fördersummen zu gering. Ein Beispiel für einen solchen Fördertopf ist das Förderprogramm Künstliche Intelligenz – Big Data des Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie im Rahmen der Strategie BAYERN DIGITAL.

g) Wann könnten eventuelle Projekte frühestens einsatzbereit sein?

Bei Beginn Ende 2020 könnte ein erster Satellit Ende 2022 fertiggestellt und Mitte 2023 gestartet sein.

h) Wer könnte den Betrieb etwaiger Systeme übernehmen?

Wie in Antwort e) erwähnt sollten Bodenstationen für den operativen Betrieb nach Möglichkeit kostengünstig als Service bezogen werden. Der operative Betrieb selbst sollte durch einen industriellen Partner in Bayern übernommen werden, der idealerweise einen engen Bezug zur Anwenderseite hat.

i) Welche Realisierungsrisiken gibt es?

In einem stark wachsenden Zukunftsmarkt ist mit zahlreichen Wettbewerbern und hoher Konkurrenz zu rechnen. Zahlreiche andere Nationen verfolgen eine aggressive Investitionspolitik in New Space. Zudem muss gewährleistet sein, dass von Beginn an der Bürger im Projekt eingebunden und beteiligt wird, um die Akzeptanz für ein Raumfahrtprojekt zu gewährleisten. Der Fokus sollte hierbei auf den Daten der Mission, und dem direkten Nutzen für den Bürger liegen. Zudem existieren in der Raumfahrt-industrie trotz Wandel durch New Space hohe Eintrittsbarrieren. Technologieausfall oder Komplikationen während des Betriebes und Startes können nie vollständig ausgeschlossen werden. In Teilbereichen des Projektes ist eine Abhängigkeit von ausländischer Technologie nicht auszuschließen, sollte aber nach Möglichkeit vermieden werden.

j) Wie könnte sich der Freistaat Bayern jeweils sinnvoll einbringen, ggf. auch auf Bundes- oder EU-Ebene? (z.B. Pilotprojekte, Förderungen, Abbau von regulatorischen Hemmnissen, Konsortialbildung, ...)

Allen voran kann der Freistaat Bayern eine federführende Rolle im beschriebenen Anwendungsfeld einnehmen, in dem ein Kleinsatelliten-Pilotprojekt dieser Art von Seiten des Freistaats umgesetzt wird. Zur Schaffung eines sicheren Handlungsfeldes für Unternehmen ist eine Erarbeitung bzw. Weiterentwicklung von EU-Space-Industrie Richtlinien oder Gesetze hilfreich. Im Gegensatz zu anderen EU-Ländern gibt es

momentan kein nationales Weltraumgesetz in Deutschland. Hier ansässige Raumfahrtunternehmen arbeiten aus diesem Grund in einem auf Dauer nicht rechtssicheren Umfeld, was sich auch negativ auf die Investitionsbereitschaft auswirkt. Zudem würde sich ein steigendes Risikokapitalvolumen und ein Bürokratieabbau positiv auf die Entstehung von disruptiven Innovationen auswirken. Neben dem Abbau bzw. der Überarbeitung von regulatorischen Hemmnissen ist eine Organisation von relevanten Stakeholdertreffen für Netzwerke und Konsortialbildung vorteilhaft, welche staatlicherseits organisiert werden sollten. In Bezug zum Einsatzbereich Klimawandel ist ein verstärktes Eintreten von staatlichen Akteuren für Europas Green Deal und Klima-Zukunftstechnologien auf globaler Ebene wünschenswert. Auch sind große Synergieeffekte möglich, wenn ein solches Satellitenprojekt direkt an BigBlue angekoppelt wäre.

k) Ist jeweils eine Eigenentwicklung empfehlenswert, bzw. notwendig oder könnte auf kommerzielle Anbieter zurückgegriffen werden?

Zur Kostenreduktion und Beschleunigung der Entwicklung sollte Bayern auf kommerzielle Anbieter zurückgreifen. Dabei ist eine Konsortialbildung aus Unternehmen und Universitäten sinnvoll, welche die gesamte Breite bayerischer Unternehmen abbildet. Eine Vielzahl an regionalen Champions können so in die Entwicklung eingebunden und gefördert werden.

l) Ist entsprechende Technologie/entsprechendes Knowhow in Bayern bereits vorhanden?

Ja, die Vielzahl an bayerischen Unternehmen und Forschungsinstituten macht eine Umsetzung mit Know-how aus Bayern möglich.

m) Sind Geschäftsmodelle ableitbar?

Eine Vielzahl an Geschäftsmodellen sind für Kleinsatelliten im EO-Markt ableitbar: verbesserte Klimamodelle zu umfangreicheren Vorhersagen, Analysen und Tracking von Emissionen könnten im Fokus stehen. Eine genauere staatliche Überwachung von Emissionen ist insbesondere bei der Prognose eines stetig steigenden Preises für CO₂ und einer konsequenteren Bepreisung von Externalitäten zu erwarten. Ein besseres Verständnis von Klimavariablen hilft zudem beim Management von Naturkatastrophen, globalen Migrationsströmen, Urban Heat Islands und der Waldgesundheit (Trockenheit, Schädlingsbefall). Ein anderer möglicher Markt wäre im Smart-Farming zu verordnen: der Markt wird hier für das Jahr 2022 auf 23.14 Mrd. \$ beziffert (statista, 2017). Beispielsweise könnten hier Kleinsatelliten verbesserte Daten zur Ertragskartierung und -vorhersage liefern.

n) Inwieweit trägt dies zur Erweiterung der digitalen Infrastruktur mit bei?

Ein bayerischer Kleinsatellit ist eine Erweiterung der momentan vorhandenen digitalen Infrastruktur und bietet zahlreiche Möglichkeiten zur Prozessoptimierung und Automatisierung für Nutzer in der gesamten Kette von Satellit bis Anwendung. Endnutzern können Daten innerhalb dieser erweiterten Infrastruktur zum Beispiel über bestimmte Plattformen (z.B. Websites, Apps) und Technologien (z.B. Virtual Reality, Augmented Reality) einfach zugänglich gemacht werden. Die digitale Infrastruktur Bayerns wird um

eigene Satellitendaten ergänzt. Außerdem werden Schlüsseltechnologien der digitalen Infrastruktur (Big Data, Künstliche Intelligenz, Digital Twin) mit diesem Projekt stimuliert und können sowohl direkt über Downstream-Anwendungen als auch indirekt über die Nutzung in anderen Sparten zur Erweiterung der digitalen Infrastruktur beitragen.

o) Werden mit dem Einsatz (Grundlagen-)Forschung und Innovation gefördert?

Dieses Einsatzgebiet bietet exzellentes Innovationspotential aufgrund der Kombination der berücksichtigten Querschnittsthemen (Big Data, Künstliche Intelligenz, Digital Twin) mit dem Zukunftsthema Klimawandel.

p) Werden bei einer möglichen Realisierung Unternehmen und Gründer in Bayern mit gefördert?

Nachhaltige High-Tech Arbeitsplätze werden in Bayern in den beteiligten Unternehmen geschaffen, sowie neue Unternehmen durch die zahlreichen Querschnittsthemen kreiert.

q) Welche Akteure müssten zur Umsetzung der Maßnahmen zusammengebracht werden?

Bayerische Ministerien, bayerische Raumfahrtfirmen (von [Large System Integrators](https://www.esa.int/About_Us/Business_with_ESA/Large_System_Integrators)⁶¹(LSIs) bis hin zu KMUs), Firmen aus dem Erdbeobachtungs-Downstream Markt, Universitäten und Forschungseinrichtungen.

⁶¹ https://www.esa.int/About_Us/Business_with_ESA/Large_System_Integrators

3.5 Roadmaps

3.5.1 Geodaten-Zentrum *BigBlue*

Abbildung 20 zeigt einen möglichen Fahrplan zur Umsetzung der Maßnahme. Der Fahrplan zeigt lediglich eine grobe Struktur auf sowie eine grobe Schätzung zur Dauer der Umsetzung.

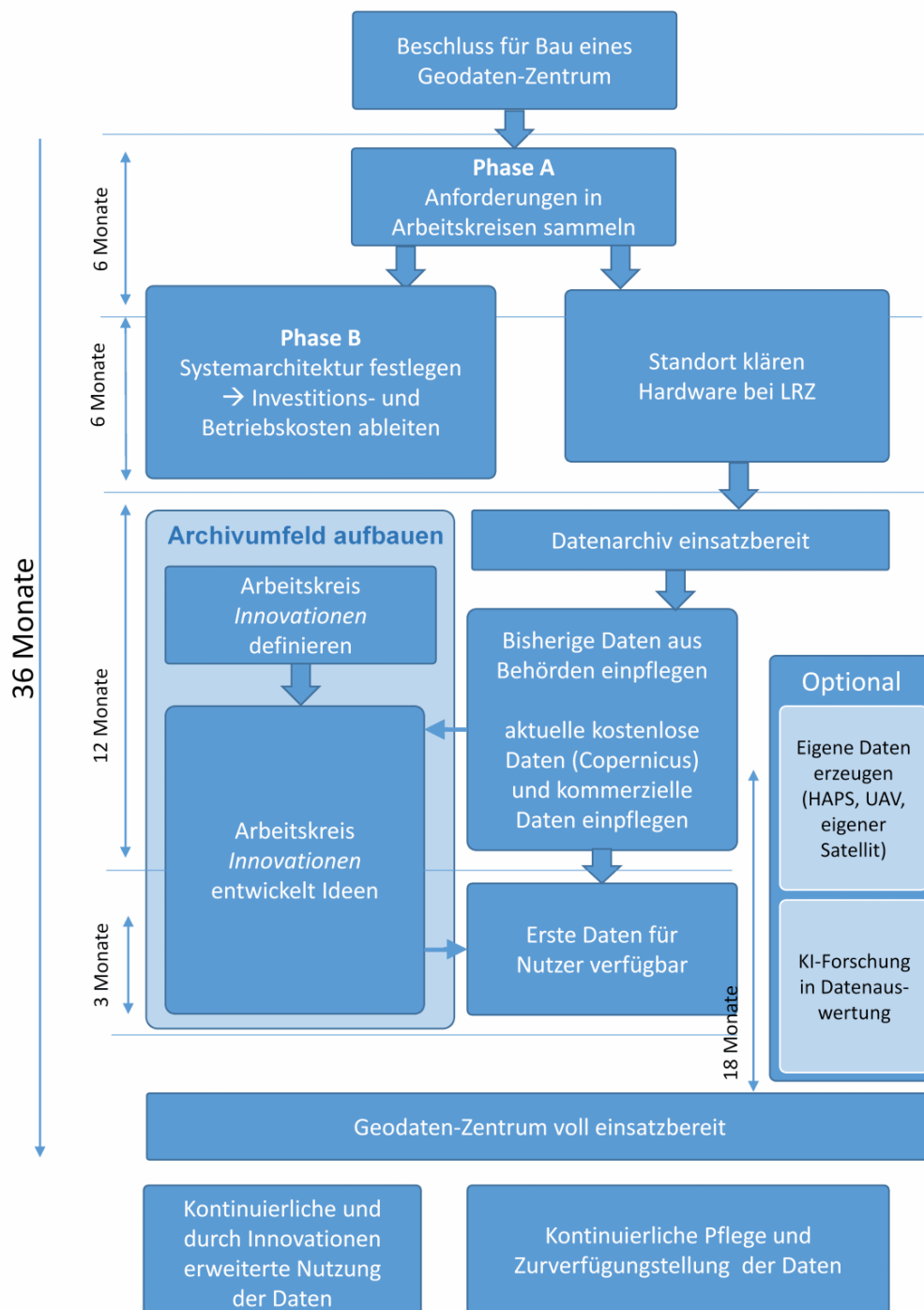


Abbildung 20: Roadmap Geodaten-Zentrum

Entwicklungsphasen

Die größte Herausforderung in diesem Projekt ist, dass es sehr viele Interessenseigner (engl. Stakeholder) gibt, deren Vertreter (Industrievertreter bspw. ESRI, EUSI, GAF, IABG, OroraTech; behördlichen Stellen StMFH, StMUV, StMELF, GDI-BY; Forschung EOC, IMF, TUM, DLR) unbedingt in die Planungsphase mit einbezogen werden müssen, damit das spätere Zentrum auch alle deren Anforderungen abdeckt.

Daher beginnt direkt nach der Beschlussfassung zum Bau des Geodaten-Zentrums die **Phase A**, in der durch ein Gremium, in dem alle Stakeholder vertreten sind, die Anforderungen an das Geodaten-Zentrum gesammelt werden. Eine klare Festlegung der Aufgaben des Geodaten-Zentrums ist ein entscheidender Teil der gesamten Systementwicklung.

Erst danach wird in **Phase B** von Fachleuten (Techniker, Architekten) die Anforderungen in eine Systemarchitektur umgesetzt und daraus eine Kostenschätzung abgeleitet. Gleichzeitig wird der Standort (LRZ) und der Bau des Rechnerarchivs (aufbauend auf dem bestehenden Projektes Terra_Byte) als erste Umsetzung vorangetrieben.

Mit Fertigstellung des Rechnerarchivs beginnt das **Einpflügen bestehender Daten** aus Behörden und Copernicus-Daten. Parallel zur Einpflüge bestehender Daten könnten je nach Nutzeranforderungen auch neue EO-Daten durch HAPS oder UAVs generiert werden.

Parallel dazu konstituiert sich der **Arbeitskreis Innovation** um im Geodaten-Zentrum ein Arbeitsumfeld für die Nutzer aufzubauen und aus den bestehenden Datensätzen neue innovative Anwendungen zu entwickeln und den Nutzern anzubieten. Außerdem wird im Arbeitskreis *Innovationen* durch Forschung und Anwendung von KI aus den bestehenden Daten Mehrwert generiert. Durch Workshops können aktuelle und zukünftige Nutzer verstehen, wie die existierenden Daten genutzt und im Arbeitskreis innovative Anwendungen entwickelt werden. Dies wiederum soll neue Produkte bei Geodaten-Service-Providern schaffen.

Skalierbarkeit der Umsetzung

Die Maßnahme Geodaten-Zentrum lässt sich mit unterschiedlichem Finanzierungsaufwand umsetzen, je nach gewünschtem Ergebnis. Allen gemein ist die Gründung des Zentrums mit dem Hauptauftrag, Daten zentral zur Verfügung zu stellen. In der günstigsten Variante würden nur kostenlose Daten, wie z.B. von Copernicus und sonstige verfügbare Daten von Behörden in das Datenzentrum eingepflegt werden. Wir empfehlen aber, diese Daten um höher aufgelöste zu ergänzen, die auf dem freien Markt erhältlich sind. Erst mit einer höheren Auflösung lassen sich neue Anwendungen finden und potenzielle Firmengründungen und neue Marktfelder scheinen möglich. Spezielle EO-Daten ließen sich auch durch bayerische Satelliten oder Fluggeräte erzeugen, allerdings zu einem zusätzlichen finanziellen Aufwand (siehe Abschnitt 3.4). Aber auch hier sind unterschiedliche Ausbaustufen denkbar. Angefangen von lokalen Einsätzen von UAVs, über HAPS bis hin zu einem eigenen Satelliten in LEO oder gar einer Konstellation von Kleinstsatelliten.

Public Outreach

Eine ansprechende Sichtbarkeit in der Öffentlichkeit ist wichtig, um den Nutzen der Maßnahme der Allgemeinheit darzustellen. Man könnte bspw. unter Führung des Arbeitskreises *Innovationen* Hackathons veranstalten, bei denen Teilnehmer versuchen, selbstständig Lösungen für ein vorgegebenes Problem in der Erdbeobachtung zu finden. Zusätzlich sollten auch Workshops stattfinden, sowohl für ein Fachpublikum als auch für Öffentlichkeit. Dadurch wird der Umgang mit den Daten dem entsprechenden Publikum nähergebracht. Eine weitere wirksame Möglichkeit der Öffentlichkeitsarbeit ist die Entwicklung einer App für mobile Geräte, ebenfalls durch den AK *Innovationen*, die aktuelle Auswertungen von EO-Daten einem breiten Publikum präsentiert. Das könnte sehr lokale Vorkommnisse betreffen (Großbauprojekte), oder ganz Bayern (Entwicklung Bodenfeuchte). Besonders interessant wären hier Zeitserien, mit denen sich die zeitliche Veränderung in Videos oder Animationen darstellen lässt.

3.5.2 Krisenkommunikation, Breitbandausbau, Digitale Landwirtschaft, Navigation

3.5.2.1 Vorbemerkungen

Grundsätzlich ist zunächst zu entscheiden, welche der Maßnahmen im Bereich Kommunikation zur Umsetzung kommen sollen (Krisenkommunikation, Navigation, Breitbandausbau, Digitale Landwirtschaft). Wir empfehlen die parallele Umsetzung aller Bereiche, weil eine ähnliche Grundausstattung bei allen benötigt wird. Ferner ist zu entscheiden, ob es eine kurzfristige Umsetzung ohne eigenes Raumsegment oder eine mittelfristige mit Raumsegment werden soll. Darüber hinaus müssen geeignete Fördermodelle ausgewählt werden, die dann für die verschiedenen Anwendungsfälle genutzt werden sollen. Von Anfang an sollte darauf geachtet werden, dass die entwickelten Komponenten kurzfristig in markttaugliche Produkte münden. Evtl. ist hier schon eine Zusammenarbeit mit Firmen sinnvoll. Im letzten Schritt müssen die neu entwickelten Servicedienste in Zusammenarbeit mit der Industrie in den Markt kommen. Für einen Einsatz von IoT und digitalen Diensten für die Landwirtschaft muss auch rechtzeitig mit der Planung einer Bodenstation inklusive Datenzentrum begonnen werden.

Die nachfolgenden Unterkapitel führen die Roadmaps zu den einzelnen Anwendungsfeldern genauer aus. Zum Schluss werden Hinweise gegeben wie die Beschaffung eines eigenen bayerischen Raumsegments erfolgen könnte.

3.5.2.2 Entwicklungsphasen Krisenkommunikation

Ein Satellitenkommunikationssystem zur Krisenkommunikation ist technisch vergleichsweise gut beherrschbar. Die wesentliche Schwierigkeit besteht in der Netzwerkintegration mit vorhandenen BOS Funksystemen, wobei sowohl technische als auch organisatorische Aspekte betrachtet werden müssen. Organisatorisch geht es vor allem darum, eine zum Teil bundeseinheitlich definierte Infrastruktur länderspezifisch zu erweitern. Die technische Herausforderung besteht dagegen in der Umsetzung der heute definierten Services über Satellit. Insbesondere gilt, dass sicherlich nicht alle Leistungsmerkmale des terrestrischen Funksystems, die allgemein auch als „Quality of Service, QoS“ bezeichnet werden, bruchfrei auf Satellitensysteme übertragen werden können. Beispiele hierfür sind

Gruppenrufe oder die sog. Push-to-Talk (PTT) Funktion. Deswegen wird es nötig sein, die Integrationsaufgaben in einem eigenen Arbeitspaket zu beleuchten und je nach Bedarf, verfügbaren Mitteln und Zeit neue Lösungen zu entwickeln oder zu definieren. In der Abbildung wurden dafür 9 Monate veranschlagt, was sich jedoch nur bei geringen Entwicklungsbedarfen umsetzen lässt. Dies kann entweder erreicht werden, wenn auf gewisse Funktionen verzichtet wird (Konzentration auf Kernfähigkeiten und -services) oder wenn das Satellitennetz weitgehend unabhängig vom BOS Netz realisiert wird (bspw. Integration erst nach Routing / auf IP-Ebene). Für die Analyse der Vorgehensweise auf Basis der Nutzerbedarfe wurden 3 Monate vorgesehen.

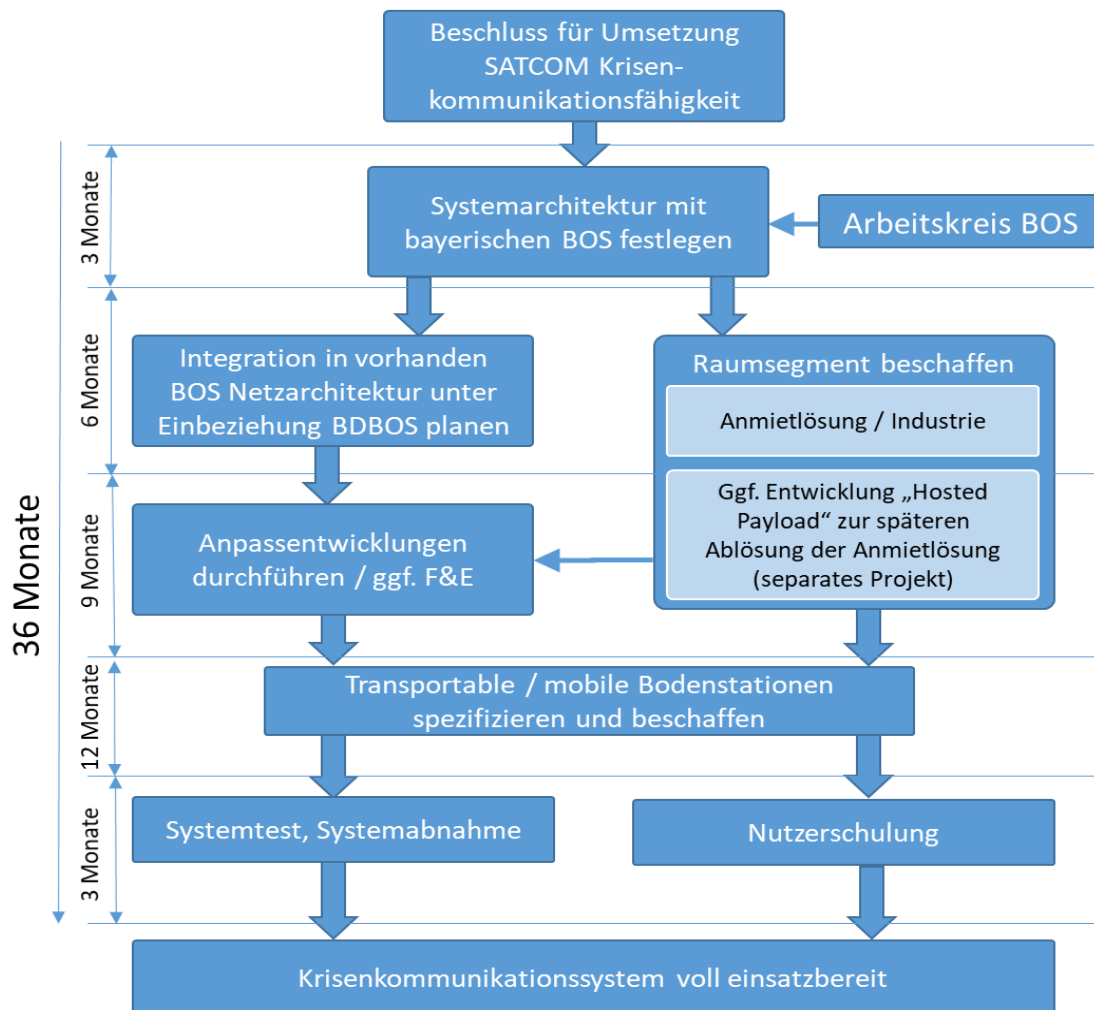


Abbildung 21: Roadmap Krisenkommunikation

Hinsichtlich des Raumsegments wird empfohlen, zunächst eine rein kommerzielle Anmietlösung mit der Industrie zu suchen, die auch die Datenankerung⁶² und zentrale Weiterleitung beinhaltet. Sofern sich das System bewährt und Synergien mit anderen Projekten bestehen (bspw. Breitbandausbau), kann mittelfristig ein eigenes Raumsegment geschaffen werden.

⁶² Unter dem Begriff der „Ankerung“ versteht man in der Satellitenkommunikation die zentrale Sammlung von Daten oder Signalen an einer bestimmten Bodenstation.

3.5.2.3 Entwicklungsphasen Breitbandausbau

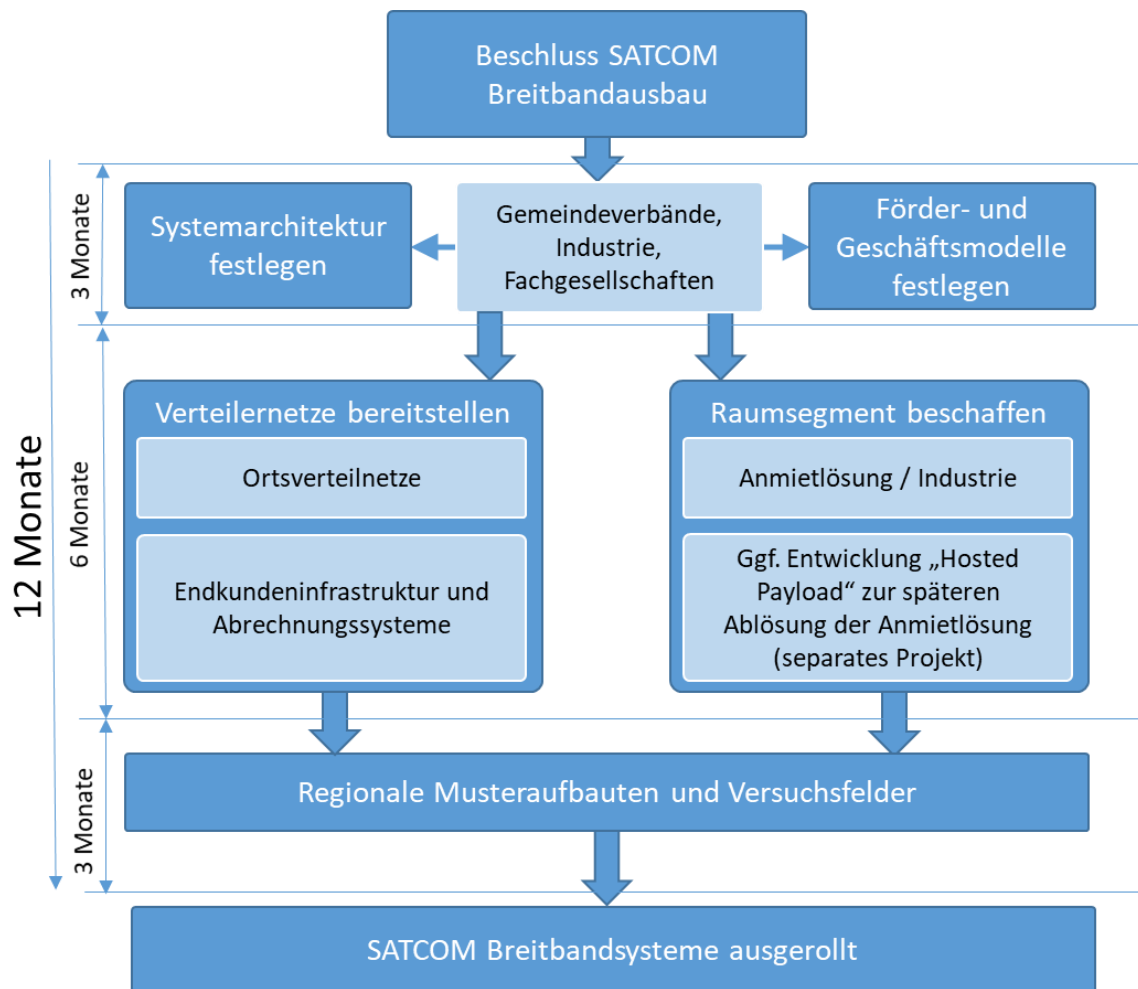


Abbildung 22: Roadmap Breitbandausbau

Für den Erfolg und die Akzeptanz eines satellitenbasierten Beitrags zum Breitbandausbau im ländlichen Raum ist es entscheidend, die Nutzer und die industriellen Anbieter solcher Services frühzeitig an einen Tisch zu bringen und die Möglichkeiten und Grenzen (bspw. Latenz) zu erläutern und zu kommunizieren. Darüber hinaus sollte viel Wert gelegt werden auf die technische Unterstützung der Gemeindevertreter bei der Planung und Auslegung individueller Lösungen. Breitbandbeauftragte und Planungsbüros könnten dies leisten. In der Planungsphase wird großer Wert auf die lokale Verteilung der Satellitensignale gelegt, während die reine Satellitenanbindung sowie die Einspeisung der Daten ins Internet durch den Satellitenbetreiber oder Teleport technisch unkritisch und marktverfügbar sind. Auch Service- und Abrechnungsmodelle existieren. Die wesentliche Hürde ist deswegen die Signalverteilung lokal vor Ort, da die technische Manipulation von häuslicher Infrastruktur der Nutzer aus Kosten- und Akzeptanzgründen geringgehalten werden muss. In der Praxis haben sich Lösungen bewährt, die entweder lokale Funkverteilernetze (WLAN, 4G) oder die Kupferinfrastruktur vor Ort nutzen. Solche Konzepte wurden von verschiedener Seite vorgeschlagen, sowohl von existierenden Servicedienstleistern als auch von Fachverbänden wie der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR). Bewährt haben sich auch Musteraufbauten („Musterdörfer“) zur Demonstration der technischen

Möglichkeiten. Hinsichtlich der Fördermodalitäten scheint eine direkte Förderung der Geräte (Hardware) auf Endkundenseite sinnvoll (bspw. Gutscheinelösung), da auf diese Weise ein Markt geschaffen wird, den Satellitendienstleister dann bedienen können und werden. Dabei muss auf eine Preisbildung nach bekannten Prinzipien klassischer Internetanbieter geachtet werden, weil die Kunden sich daran gewöhnt haben. So hat sich gezeigt, dass es ungünstig für die Akzeptanz von Satelliteninternet ist, wenn Volumenbegrenzung statt den bekannten Begrenzungen der Datenraten eingesetzt werden. Schließlich ist zu erwähnen, dass viele Satellitenhersteller sich auf politischer Seite für die Förderung von Breitbandsatelliten einsetzen anstelle einer Förderung der Endkunden. Hiervon raten wir tendenziell ab, da einerseits jedes Geschäftsmodell von der Endkundenakzeptanz abhängt und da andererseits hinreichend Satellitenkapazität im Orbit verfügbar ist, um mit einem Breitbandmodell zu beginnen. Erst wenn sich zeigt, dass die Lösung bei den Kunden Zuspruch findet, sollte über die Beschaffung eines eigenen Raumsegments nachgedacht werden, dann jedoch unter Nutzung von Synergien mit den übrigen hier vorgeschlagenen Anwendungsfällen.

3.5.2.4 Entwicklungsphasen weltraumgestützte digitale Landwirtschaft

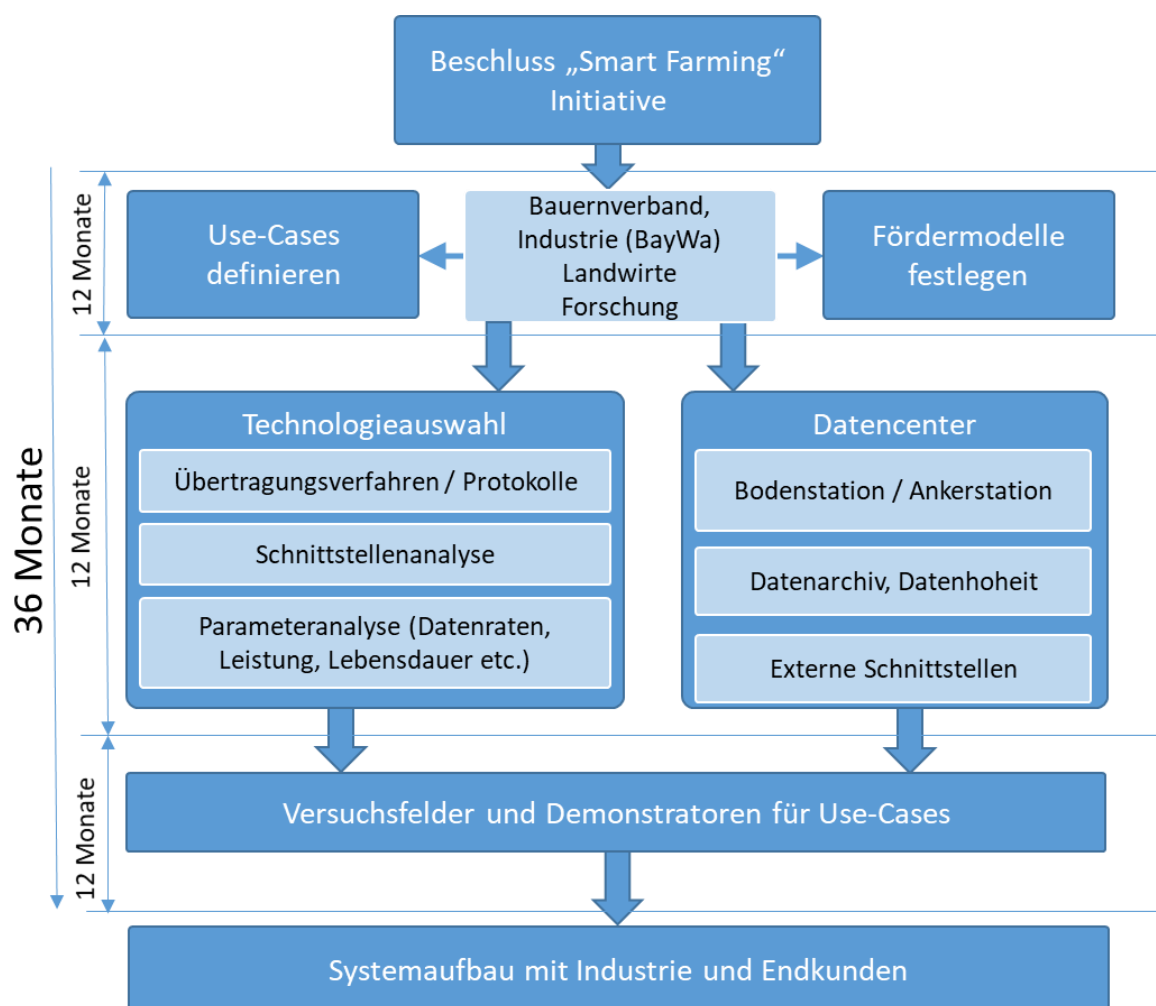


Abbildung 23: Roadmap Digitale Landwirtschaft

Die Anwendungsbreite von Raumfahrttechnologie für die Digitalisierung der Landwirtschaft ist besonders groß. Zugleich kommen unterschiedliche Technologien zum Einsatz (Erdbeobachtung, Navigation, Kommunikation), die erst in ihrer Kombination die volle Vielfalt digitaler Dienstleistungen erschließen lassen. Da die Technologien unterschiedliche Reifegrade aufweisen, kann an dieser Stelle keine geschlossene Roadmap bis zur Verfügbarkeit von Produkten und Dienstleistungen aufgezeigt werden. Stattdessen soll für den Bereich der Navigations- und Kommunikationstechnologie skizziert werden, welche Schritte bis zu einer Produktentwicklung sinnvoll wären.

Der wichtigste Schritt zu Beginn besteht in der Definition von praktisch relevanten Anwendungsfällen (Use-Cases). Dieser Schritt sollte zusammen mit den Nutzern, ihren Interessenverbänden und der Industrie unternommen werden. Die frühzeitige Einbindung der Forschung (TUM, Weihenstephan, UniBwM) kann sinnvoll sein, da dort über die letzten Jahre große Expertise aufgebaut wurde und auch Versuchsaufbauten und Demonstratoren existieren. Auch bei den Fördermodellen sollten die zahlreich vorhandenen Varianten, insbesondere aus dem Breitbandausbau, genutzt und ggf. erweitert werden, statt in der Breite neue zu schaffen. Hier können Interessenverbände wie der Bayerische Bauernverband, der beachtliche Expertise im Bereich der Digitalisierung hat, ebenfalls Hilfestellungen geben.

Im zweiten Schritt ist ein umfangreiches Arbeitspaket zur Technologieauswahl vorzusehen. Dabei geht es um Produkte, Dienstleistungen und technologische Grundsatzentscheidungen, bspw. über technologische Standards. Erst wenn der TechnologiemiX feststeht, können Schnittstellen gezielt betrachtet werden, um Ende-zu-Ende Services für die Nutzer anbieten zu können und einen oft gesehenen „Wildwuchs“ bei den Endgeräten und Diensten zu vermeiden. Schließlich werden für die Dienste die Parameter und Leistungsdaten definiert und Lösungen ausgewählt. In der vorliegenden Studie wurden dazu Hinweise mit Blick auf die Navigation (RTK Korrektursignale) und das Internet der Dinge gegeben. Auch die Breitbandversorgung von Streusiedlungen und Höfen spielt hier hinein.

Es wurde bereits dargestellt, dass digitale Mehrwertdienste für die Landwirtschaft von großen Datenmengen ganz unterschiedlicher Quellen profitieren. Sehr gut erprobt ist dies inzwischen bei Bilddaten. In Zukunft werden enorme Datenmengen weiterer Sensoren dazu beitragen, Lagebilder zu vervollständigen. Für diese Daten im Internet der Dinge fehlen bisher Datenzentren und Erfassungsstationen mit Schnittstellen zur Dienstleistung und für die Kunden – die auch Erzeuger der Daten sind – selbst. Es wurde in der Studie dargestellt, dass diese zentralen Elemente eine wichtige Infrastrukturmaßnahme sind, die staatlich gefördert werden sollte. Eine frühe Einbindung der Industrie ist geboten.

Schließlich sollte das so aufgebaute technische Ökosystem intensiv getestet und demonstriert werden. Dabei sollten die Nutzer einbezogen werden wie dies aktuell in den vom Bund geförderten landwirtschaftlichen Versuchsfeldern schon geschieht. Nach einer solchen Test- und Beobachtungsphase wird sich zeigen, welche Dienste Anklang finden und Mehrwert stiften, und es wird sich auch ein Markt mit Preisen bilden. Spätestens wenn dieser Punkt erreicht ist, sollte die Industrie die weiteren Schritte zu Produkten und Dienstleistungen übernehmen.

3.5.2.5 Entwicklungsphasen eines Bayerischen Kommunikationssatelliten

In der Studie wurde dargestellt, dass die Schaffung eines eigenen bayerischen Raumsegments (Satellitennutzlast) eine sinnvolle Option sein kann, wenn mehrere der vorgeschlagenen Lösungen breit nachgefragt werden und sich Synergiepotenziale ergeben. Dann kann ein eigenes Raumsegment ein geeignetes Instrument sein, die eigene Raumfahrtindustrie zu fördern und zugleich eine Innovationsplattform für die bayerische Wissenschaft bereitzustellen. Einige der aktuell diskutierten „Leuchtturmprojekte“ gehen diesen Weg, jedoch beschränkt auf einzelne Kleinsatelliten in niedrigen Erdorbits. Auch auf Bundesebene wurde mit dem Satellitenprojekt „Heinrich Hertz“ ein solcher Technologieträger bereitgestellt (aktuell Realisierungsphase), jedoch hat die reine Technologieerprobung das Problem, dass sie kaum die typ. 15 Jahre Nutzungsdauer eines Satelliten füllen kann. Deswegen sollten Satellitenprojekte nicht ohne kommerziellen Nutzen oder hoheitlichen Bedarf geplant werden. Beim Heinrich Hertz Projekt deckt die Bundeswehr diesen Teil ab.

Sollte es also zur Umsetzung einer Satellitennutzlast kommen, sind die Entwicklungsschritte durch industrieübliche Prozesse und Prozessstandards der Raumfahrt definiert. Da es sich stets um eine „hosted payload“ handeln dürfte, wird der Eigentümer der Plattform hier wesentliche Arbeiten leisten. Bei guter Vorbereitung und einer nicht zu komplexen Payload kann ein Projekt in 36 Monaten umgesetzt sein. Dies dürften aber nur erfahrene Industriefirmen leisten können und auch nur dann, wenn es keinen zu großen Forschungsanteil an der Payload gibt und die staatlichen Beschaffungsprozesse nicht bremsend wirken. Ansonsten zeigt auch hier das Heinrich Hertz Projekt, das mit einer Realisierungszeit von inzwischen mehr als 10 Jahren auffällt, welches erhebliche zeitliche Risiko in solchen Vorhaben steckt.

Vorteilhaft an den genutzten Prozessstandards ist die schrittweise Vorgehensweise nach einem „V“-förmigen Vorgehensmodell. Die fallende Flanke des „V“ steht dabei für die schrittweise Präzisierung der Nutzlast beginnend bei (groben) Nutzerforderungen, während die anschließende steigende Flanke des „V“ die technischen Details wieder in finale Nutzerparameter abbildet. Gerade, weil also von groben Nutzerforderungen begonnen wird, lässt sich die grundsätzliche technische Machbarkeit einer Nutzlast recht schnell und mit überschaubarem Finanzaufwand abschätzen. Die erste als „Phase 0“ bezeichnete Machbarkeitsuntersuchung zusammen mit einem kommerziellen Partner nimmt in der Regel nur wenige Monate in Anspruch und kann bereits wichtige Entscheidungsgrundlage sein. Daher wird empfohlen, bei grundsätzlichem Interesse an einer eigenen bayerischen Nutzlast eine solche Phase 0 zeitnah durchzuführen. Diese wird dann weitere Details zu einer Roadmap und zum Zeit- und Kostenplan liefern.

3.5.2.6 Skalierbarkeit der Umsetzung

Die Skalierbarkeit ist hauptsächlich durch die Verwendung eines eigenen Raumsegments gegeben und durch die Anwendbarkeit der technologischen Struktur auf gleich drei Einsatzgebiete. Durch den Bau einer eigenen Nutzlast auf einem geostationären Satelliten lassen sich alle drei Einsatzzwecke realisieren, aber auch durch kleiner und größer, schrittweise Anmietlösungen können die diskutierten Funktionen zügig bereitgestellt und die weiteren Entwicklungen am Boden und auf Nutzerseite gefördert werden.

Hinzu kommt, dass wesentliche Teile der so geschaffenen terrestrischen Infrastruktur auch zusammen mit anderen Technologien genutzt werden können und nicht dauerhaft vom Satelliteneinsatz abhängen. Beispiele sind IoT Sensoren, die gewissen Standards genügen und auch über Mobilfunk genutzt werden können, aber auch die Datencenter-Lösungen, die ebenso terrestrische IoT- und Kartendaten beinhalten und verarbeiten können. Wenn auf diese Merkmale konsequent geachtet wird, lassen sich Insellösungen für Satellitenanwendungen vermeiden und die Dienste bleiben zukunftsfähig auch für die Zeit, in der ein flächendeckender Glasfaser- und 5G-Ausbau „bis an jede Milchkanne“ umgesetzt sein mag.

3.5.2.7 Public Outreach

Die Öffentlichkeitsarbeit kann sehr unterschiedlich umgesetzt werden je nach ausgewähltem Anwendungsgebiet. Bei der GEO-Nutzlast ist der Start der Rakete an sich sehr medienwirksam. Auch der Betrieb ließe sich als eigener Satellit Bayerns vermarkten.

Beim Breitbandausbau ist der Nutzen in den ländlichen Gebieten offensichtlich. Hier lassen sich klassische Kanäle der Öffentlichkeitsarbeit benutzen wie regelmäßige Pressemitteilungen über den aktuellen Stand des Ausbaus, einer Onlinekarte über die aktuelle Abdeckung, eine jährliche Statistik etc. Aus eigener Erfahrung aus kommunaler Ebene kann auch berichtet werden, dass Breitbandausbauprojekte sehr großes Interesse auf Seiten der Lokalpolitik finden, weil sie gut verständlich an die Bürgerinnen und Bürger kommuniziert werden können und direkte Nöte beseitigen. Während ein Raketenstart eher technologisch interessant ist und für den Fortschritt Bayerns steht, betrifft der Breitbandausbau den Einzelnen direkt.

Für die Krisenkommunikation kann man Demonstrationen mit Behörden ins Auge fassen, über die man in Pressemitteilungen und Fernsehbeiträge bzw. Onlinevideos berichten kann. Besonders die lokalen BOS wie Freiwillige Feuerwehren haben auf kommunaler Ebene hohe Bedeutung und stehen unter ständiger Beobachtung. Sie sind geeignete Kommunikationskanäle zu den Bürgerinnen und Bürgern und sind häufig Diskussionsgegenstand der Kommunalparlamente.

Öffentliche Sichtbarkeit im Anwendungsfeld Smart-Farming lässt sich durch den unmittelbaren Nutzen für die Bevölkerung darstellen. Hier können zudem Verbindungen zur Landschaftspflege, zum Artenschutz und zum Umweltschutz aufgezeigt werden, um auch Aufmerksamkeit bei weniger technikaffinen Bevölkerungsgruppen zu erhalten. Wenn durch die bessere Effizienz bspw. weniger Dünger eingesetzt werden muss, werden sowohl finanzielle Nöte der Landwirte als auch Umweltbedenken der Bevölkerung adressiert.

3.5.4 Quantenkommunikations-Infrastruktur (QCI)

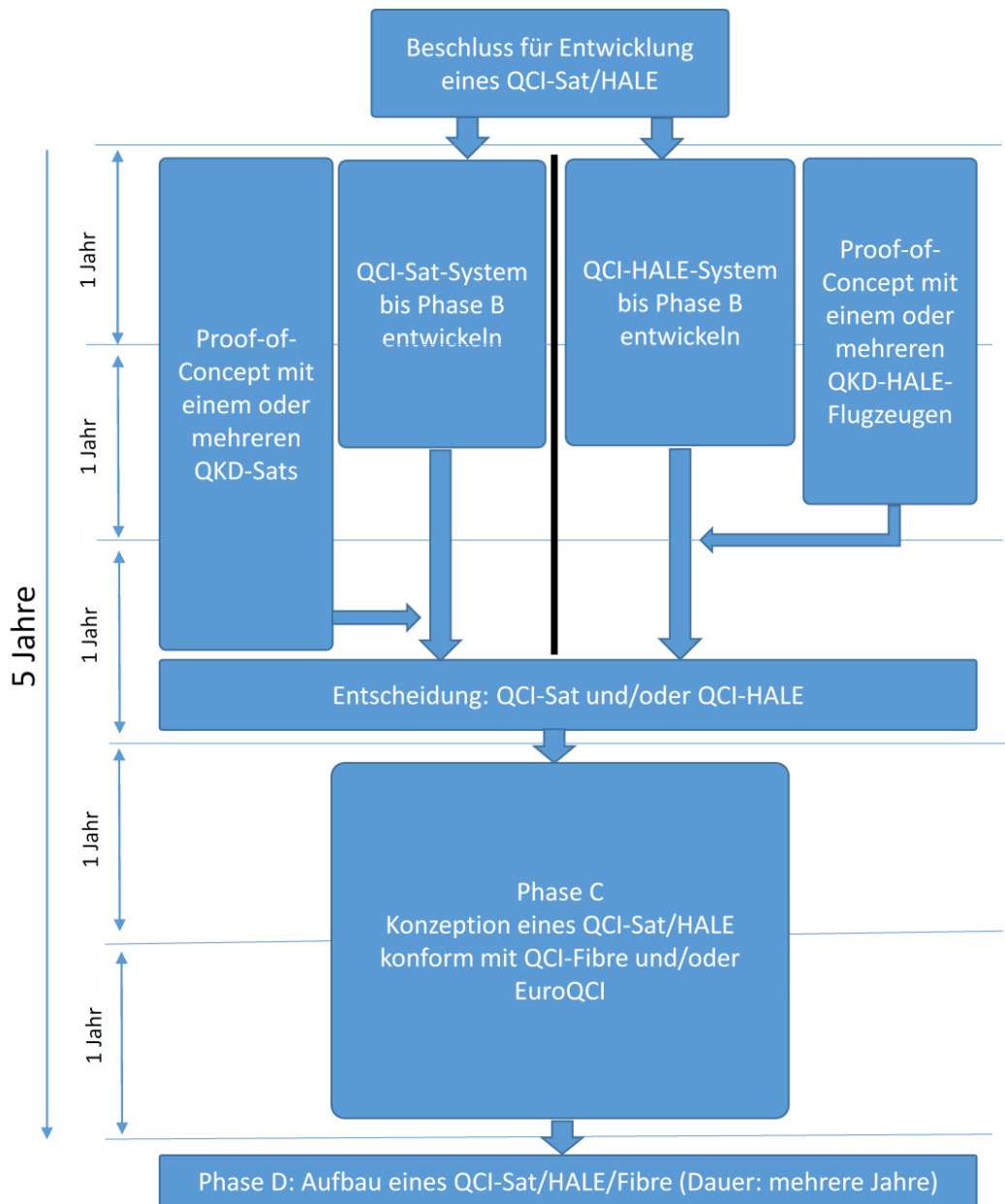


Abbildung 24: Roadmap einer Quantenkommunikations-Infrastruktur (QCI) bestehend aus QKD-Satelliten und/oder QKD-HALE-Flugzeugen, konform mit einem zukünftigen QCI-Fibre

Entwicklungsphasen

Dem Aufbau eines QCI geht voraus eine

1. 3-jährige Entwicklungsphase, in der parallel sowohl QKD-Satelliten als auch QKD-HALE-Flugzeuge die technischen Möglichkeiten im Flug verifizieren. Parallel dazu läuft eine QCI-Systemstudie bis Phase B, in der neben der technischen Architektur auch ein mögliche Integration in ein deutsches QCI-Fibre (QuNet und OPENQKD)

und/oder ein europäisches EuroQCI untersucht wird und in der die zu erwartenden Kosten eines Systems abgeleitet werden.

2. Erst danach erfolgt eine Entscheidung, welches der beiden Systeme oder ob beide synergetisch zusammen oder keines von beiden zusammen mit einem zu erwartenden bodengebundenen QCI-Fibre eingesetzt werden sollen.
3. Zur darauf folgenden Design Phase C (detaillierte Ausarbeitung eines QCI-Systems) gehört neben dem Flugsegment auch die Bodenstation für den operationellen Betrieb und das Design, wie ein bayerisches System in ein nationales QCI-Fibre und/oder EuroQCI integriert wird. Die Phase C dauert etwa 2 Jahre, unabhängig ob QCI-Sat oder QCI-HALE.

Erst dann erfolgt der Aufbau in Phase D (Bau der Satelliten und HALEs, Tests und Launch). Phase D dauert für QCI-HALE etwa 2 Jahre, für ein QCI-Sat System möglicherweise länger, bis zu 4 Jahre.

Ein operatives System stünde also nach etwa 7 – 9 Jahren zur Verfügung.

Entscheidungspunkte

Die hier vorgestellte Roadmap ist so gestaltet, dass die Entwicklung und Aufbau des Systems abgebrochen werden kann (Entscheidungspunkte, engl. decision points), wenn eine technische Lösung nicht so wie erwartet ist oder die Kosten den Nutzen oder anderer Lösungen überschreiten. Ein mehr oder weniger fließender Entscheidungspunkt ist die Proof-of-Concept Phase. Sollte sich dabei irgendwo ein unüberwindbares technisches Problem ergeben, kann sofort abgebrochen werden. Dasselbe gibt für die Systemstudien bis Phase B, wo ein Abbruch auch wegen Kosten/Nutzenüberschreitung erfolgen kann. Nach erfolgreicher Konzeption können die angedachten Systeme in Phase C gegen bis dahin eventuell existierende QCI-Systeme, insbesondere QCI-Fibre verglichen werden. Sollten sich andere Systeme als überlegen erweisen, könnte hier ebenfalls abgebrochen werden.

Erst danach, wenn also die Entscheidung zum Bau eines QCI-Systems gefallen ist (Phase D), würde ein Abbruch drastisch schwieriger.

Public Outreach

Die Starts und Flüge der QKD-Satelliten und QKD-HALE-Satelliten sind sehr öffentlichkeitswirksam und optisch gut in den Medien darstellbar. Ein entsprechendes Public-Outreach-Konzept (Medienagentur) und -Kosten sollten in der Konzept-Phase B mit ins Kalkül gezogen und später umgesetzt werden.

Literaturverzeichnis

- Amazon Web Services. (2020). *AWS Ground Station pricing*. Retrieved from <https://aws.amazon.com/ground-station/pricing/>
- Bayerischer Bauernverband. (2018). *Steckbrief bayerische Landwirtschaft*. Retrieved from <https://www.bayerischerbauernverband.de/steckbrief-bayerische-landwirtschaft>
- Bundesverband der Deutschen Industrie. (2019). *Zukunftsmarkt Weltraum*.
- Chrobry , A., Knopp Andreas, Knopp, M., & Schuff, H. (2018). SatCom 2025 – The near future of satellite communications in Germany. *69th International Astronautical Congress (IAC)*.
- Collins , J., & Hansen, M. (2011). *Great by Choice: Uncertainty, Chaos and Luck-Why some thrive despite them all*. Random House.
- Esch, T., Üreyen, S., Zeidler, J., Metz–Marconcini, A., Hirner, A., Asamer, H., . . . Marconcini, M. (2018). Exploiting Big Earth Data From Space – First Experiences with the Timescan Processing Chain. *Big Earth Data* 123 (12), pp. 1–20.
- European Commission. (2016). *Copernicus Market report Issue 1*.
- European Commission. (2017). *Forest Fires risk reduction: towards an integrated fire management approach in the E.U.* Retrieved from <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/lc-cla-15-2020>
- European Commission. (2018). *FOREST FIRES — Sparking firesmart policies in the EU*. FOREST FIRES — Sparking firesmart policies in the EU.
- Janakiram MSV. (2019). *Why AIoT Is Emerging As The Future Of Industry 4.0*. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/janakirammsv/2019/08/12/why-aiot-is-emerging-as-the-future-of-industry-40/#669d722a619b>
- Murara, B. (2017). IMT-2020 network high level requirements, how african countries can cope. *Fifth SG13 Regional Workshop for Africa on "ITU-T Standardization Work on Future Networks: Towards a Better Future for Africa"*.
- National Academies of Sciences, E. a. (2016). *Achieving Science with CubeSats: Thinking Inside the Box*. Washington, DC:: The National Academies Press, <https://doi.org/10.17226/23503>.
- Nguyen, C. T., Saputra, Y., Van Huynh, N., Ng, N., Khoa, T., Tuan, B., . . . Ottersten, B. (2020, May). Enabling and Emerging Technologies for Social Distancing: A Comprehensive Survey. *arXiv:2005.02816v1 [physics.soc-ph] (under peer-review)*.
- PWC. (2016). *Study to examine the socio-economic impact of Copernicus in the EU. Report on the Copernicus downstream sector and user benefits*. Luxembourg: Publications Office, ISBN: 9279590111.

SpaceTec Partners, & BHO Legal. (2016). NewSpace – Geschäftsmodelle an der Schnittstelle von Raumfahrt und Digitaler Wirtschaft. *Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie*.

statista. (2017). *Forecast market value of smart agriculture worldwide in 2017 and 2022* . Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/720062/market-value-smart-agriculture-worldwide/>

Sweeting, M. (2018). Modern small satellites-changing the economics of space. *Proceedings of the IEEE* 106.3, pp. 343-361.

Wertz, J. R. (2011). Reducing Space Mission Cost and Schedule. In J. Wertz, D. Everett, & J. Puschell, *Space mission engineering: The new SMAD* (pp. 355–366). Hawthorne, CA:: Microcosm Press.

Wertz, J., Conger, R., Rufer, M., Sarzi-Amad, N., & van Allen, R. (2011). Methods for Achieving Dramatic Reductions in Space Mission Cost. *Reinventing Space Conference*. Los Angeles, California, USA.

Glossar

DEM	Digital elevation model (digitales Höhenmodell der Erdoberfläche)
EO	Earth Observation (Erdbeobachtung)
GDI	Geodateninfrastruktur (Ein standardisiertes Internet-Netzwerk, über das Nutzer Geodaten austauschen können.)
GEO	geostationärer Orbit in 35.786 km Höhe (siehe Abschnitt 1.2)
GIS	Geoinformationssystem (Informationssysteme zur Erfassung, Bearbeitung, Organisation, Analyse und Präsentation räumlicher Daten, insbesondere Erdbeobachtungsdaten)
GUI	Graphical User Interface (Grafische Schnittstelle zwischen Computer und Nutzer, dargestellt auf einem Display)
HALE	High-Altitude Long Endurance (unbemannte Flugzeuge in etwa 15-20 km Flughöhe, die monatelang ununterbrochen im Einsatz sein können)
HAPS	High Altitude Platform System (Flugsysteme in 15 – 50 km Flughöhe, etwa Ballone, Zeppeline, Flugzeuge)
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in the European Community (Eine Richtlinie der EU, die festlegt wie mit Umwelt- und Geodaten umgegangen, gespeichert, verarbeitet und zugänglich gemacht werden soll.)
IoT	Internet of Things (globale digitale Infrastruktur zur gegenseitigen Vernetzung aller Teilnehmer einschließlich kleinster elektronischer Systeme)

IOV	In-Orbit Verification (Raumfahrzeuge, etwa Satelliten, die die Funktion neuer Technologien verifizieren, bevor sie als funktionstüchtige Technologie freigegeben werden)
IR	Infrarot (elektromagnetische Wellen mit Frequenzen kleiner als optisches Rot)
LEO	Low Earth Orbit (niedriger Erdorbit, Flughöhe 200 – 2000 km, siehe Abschnitt 1.2)
LPWAN	Low Power Wide Area Network (Ein Netzwerk zur Verbindung von Niedrigenergiegeräten)
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network (Eine sternförmige Netz-Architektur für geringe Übertragungsleistungen)
MEO	Medium Earth Orbit (Erdorbit in mittlerer Flughöhe, 2000 bis 35.786 km, siehe Abschnitt 1.2)
QCI	Quantum communication infrastructure (ESA-Terminologie für ein QKD-Netzwerk, also ein Netzwerk zur Verteilung von Quantenschlüsseln)
QCI-Sat	Ein satellitenbasiertes QCI
QCI-HAPS	Ein durch ein nicht näher spezifisches HAPS realisiertes QCI
QCI-HALE	Ein durch unbemannte HALE-Flugzeuge realisiertes QCI
QCI-Fibre	Ein durch ein terrestrisches Glasfasernetzwerk realisiertes QCI
QKD	Quantum key distribution (Quantenschlüssel-Verteilung als wichtigster Bereich der Quantenkryptographie)
SAR	Synthetic Aperture Radar (Radartechnologie auf Satelliten)
UIG	Deutsches Umweltinformationsgesetz

Liste der Gesprächspartner

Interviewpartner	Institution
Dr. Klaus Adelhard	Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, StMUV (eGovernment & Strategie)
Dr. Wolfgang Angermair	BayWa AG
Prof. Dr. Richard Bamler	Technische Universität München, Lehrstuhl für Methodik der Fernerkundung Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Earth Observation Center
Dr. Melanie Brandmeier	ESRI Deutschland GmbH (Geowissenschaften & -Chemie, KI)
Dr. Gerd Buziek	ESRI Deutschland GmbH (Produkt- und Datenmanagement)

Michael Dotterweich	Bayerisches Staatsministerium der Finanzen, für Landesentwicklung und Heimat, StMFH
Sabine Erbe	Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, StMELF
Dr. Markus Gandorfer	Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, StMELF
Andreas Gerschwitz	Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein
Stefanie Grundner	Panglobo – Grundner und Widmer GBR
Matthias Herkt	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Dr. Peter Lüttenberg	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Raumfahrtmanagement Erdbeobachtung
Dr. Alexander Malcharek	Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
Dr. Pierre-Philippe Mathieu	ESA Phi-Lab
Jörg Migende	BayWa AG
Dr. Gernot Ramminger	GAF AG
Melanie Rankl	European Space Imaging, EUSI (Projektmanager)
Godela Roßner	DLR-Raumfahrtmanagement, Abteilung Anwendungsentwicklung & Datennutzung
Dr. Peter Salamon	European Commission, Risk Management Unit
Pascal Schichor	European Space Imaging, EUSI
Daniela Schleder	Bayerisches Staatsministerium der Finanzen, für Landesentwicklung und Heimat
Alois Schmidner	Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
Gunter Schreier	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Earth Observation Center,
Ralf Schüpferling	ESRI Deutschland GmbH
Rudolf Seitz	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Abteilungsleiter für Fernerkundung
Christian Strobl	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, StMUV
Prof. Harald Weinfurter	Ludwig-Maximilians-Universität München, Fakultät für Physik, Fachbereich Experimentelle Quantenphysik

Prof. Dr. Xiaoxiang Zhu	Technische Universität München, Lehrstuhl für Signalverarbeitung in der Erdbeobachtung Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Earth Observation Center
--------------------------------	---