

INHALT

EINFÜHRUNG	3
UNSERE METHODIK	8
Wie wir Zukunft erforschen	
»MOBILITÄT« DEFINIERT	10
Datengrundlage	
TRENDRADAR	12
Megatrend »Mobilität«	
FAZIT	126
Megatrend »Mobilität«	

TRENDS



14 **GREEN SHIFT**



22 **REGULATORY COMPLEXITY**



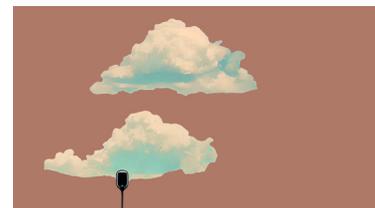
30 **EFFICIENT LOGISTICS**



38 **SUSTAINABLE FUELS**



46 **CO-CREATION FRAMEWORKS**



54 **ELECTRIFIED MOBILITY**



62 **INCLUSIVE MOBILITY**



70 **ELECTRIC AVIATION**

FRAGEN UND IMPULSE

WAS BEDEUTET DER TREND FÜR UNSERE ORGANISATION?

Aus den hier dargestellten Trends ergeben sich Fragen für den Alltag in einer Organisation. Diese können in der vorliegenden Studie nur generalisiert formuliert werden und dienen als erste Impulse, sich mit den Trends auseinanderzusetzen. Falls wir Sie weitergehend unterstützen können, nehmen Sie bitte Kontakt mit uns auf!



78 **INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS**



86 **LIVEABLE CITIES**



94 **MOBILITY AS A SERVICE**



102 **AERIAL DENSITY**



110 **RAIL ALIGNMENT**



118 **SEAMLESS MOBILITY**

PORTFOLIO

Angebot	128
Über das Zukunftsinstitut und Norton Rose Fulbright	130
Quellenverzeichnis	132

MOBILITÄT

DATEN-GRUNDLAGE

Die PWLG-Netzwerkanalyse ist ein vom Zukunftsinstitut speziell entwickeltes Verfahren, das im Rahmen des Megatrend Research eingesetzt wird. Durch ihre strukturierte Herangehensweise bildet sie die Basis, um Trends auf tiefgreifende Art und Weise zu identifizieren und dabei ihre komplexen Zusammenhänge zu berücksichtigen.

Zunächst werden dafür entlang des Rasters der 4x4-Datenmatrix erhebliche Datenmengen gesammelt (01). Für den Megatrend Mobilität waren dies mehr als 150 Dokumente, deren Inhalt verschiedene Perspektiven auf Mobilität liefert. Berücksichtigt werden dabei drei Ebenen, die auf dem ubiquitären – also alle Gesellschaftsbereiche betreffenden – und globalen Gedanken der Megatrends sowie auf Diversität der Quellen beruhen:



SUBSYSTEME DER GESELLSCHAFT

Welche Themen im Kontext des Megatrends beschäftigen ...

- Politik: Legislative, Exekutive, Judikative, Bürokratie
- Wirtschaft: Produktion, Dienstleistung, Technologie, Information, Finanzen
- Legitimation: Wissenschaft, Religion, Grundrechte, Grundannahmen
- Gemeinschaft: Kunst, Bildung, Öffentlichkeit, NGOs



MEDIENTYPEN

Welche Themen werden diskutiert in Medien der ...

- Empirie und Theorie: Wissenschaftliche Journale und Forschungsinstitute
- Positionierung: Thinktanks und Netzwerke
- Anwendung: Beratungen und Fachmedien
- Reichweite: Tagesmedien und weitere Journalismusformate



KONTINENTALE STRÖMUNGEN

In ihrer Grundcharakteristik sind Megatrends globale Phänomene, die auf allen (bewohnten) Kontinenten vorzufinden sind, weshalb dieser geografische Rahmen auch in der Quellenrecherche angewendet wird. Kontinentale Perspektiven abseits der europäischen sind notwendig, um dem Kriterium der Globalität zu entsprechen.

Aufbauend auf dieser Datenerhebung erfolgt die PWLG-Netzwerkanalyse (02) zur Identifikation der wichtigsten Megatrendräume für Organisationen. Die erhobenen Quellen werden KI-gestützt auf ihre semantische Nähe hin überprüft und in ein Netzwerk umgewandelt.

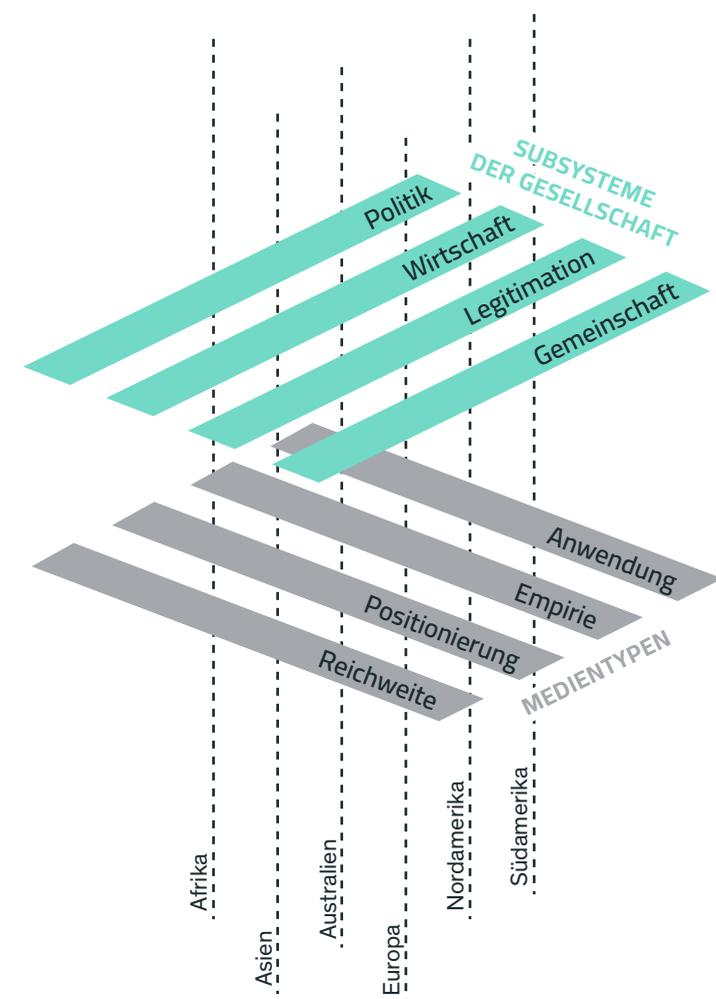
Interessant für die Zukunftsbetrachtung ist, wenn alle vier Subsysteme der Gesellschaft ganzheitlich analysiert werden. Dies ist der nächste Schritt, in dem die systemübergreifenden Megatrendräume entstehen. Je mehr Verbindungen ein Code hat und je zentraler er im Netzwerk ist, desto relevanter ist er für den untersuchten Megatrend. Aus ähnlichen Codes, die in Beziehung zueinander stehen, werden mittels künstlicher Intelligenz Cluster gebildet. Diese verdichteten Bündel an Veränderungsbewegungen sind die Megatrendräume, jene dem Megatrend innewohnende Handlungsfelder, an denen die Anschlussfähigkeit für Unternehmen gegeben ist, um einen Megatrend für sich zu nutzen.

Der Vorteil der Megatrendräume liegt in deren zeitlicher Stabilität, sie geben so Orientierung für die Zukunftsarbeit von Organisationen. Es sind die für die Kunden des Zukunftsinstituts oftmals entscheidenden Handlungsfelder, die für etwa ein Jahrzehnt lang Relevanz besitzen. Dem Zukunftsinstitut dienen diese Megatrendräume als Grundlage für die darauf folgenden Experteninterviews (03).

Im Kontext der Mobilität wurden nach einem iterativen Prozess sechs relevante Megatrendräume der nächsten Dekade identifiziert:

- Urban Mobility
- Sustainable Mobility
- Transport Technologies
- Traffic Safety
- Transport Policy
- Mobility Management

Auf Basis der identifizierten Megatrendräume wurden Experten ausgewählt, um Interviews zur Identifikation von Trends durchzuführen. An dieser Stelle sei noch einmal der zeitliche Horizont erwähnt: Megatrendräume bündeln Veränderungs-



KONTINENTALE STRÖMUNGEN

bewegungen einer Dekade; Trends hingegen sind kurzfristig und umfassen circa drei Jahre. Megatrendräume sind für Unternehmen Anknüpfungspunkte, sich intensiver mit Megatrends auf der strategischen oder visionären Ebene auseinanderzusetzen. Innovation und das Entdecken von akuten Chancen (etwa hinsichtlich der Kommunikation oder des Marketings) bietet hingegen die Trendbeobachtung. Die PWLG-Netzwerkanalyse hat den großen Vorteil, klar zwischen kurzlebigen Trends und längerfristig relevanten Megatrendräumen differenzieren zu können. Welcher Erkenntnisbereich der „richtige“ ist, hängt von der konkreten Fragestellung des jeweiligen Unternehmens ab.

SUSTAINABLE

DER TREND

Während im Straßenverkehr zunehmend auf die Emissionsreduzierung durch Elektrifizierung gesetzt wird, sind für andere Mobilitätssektoren wie die Luftfahrt, die Schifffahrt oder der Schwerlastverkehr vor allem alternative Kraftstoffe essenziell. Sustainable Fuels ermöglichen die Reduzierung von CO₂-Emissionen, ohne dass bestehende Infrastruktur und Fahrzeuge vollständig ersetzt werden müssen. Dazu gehören Biokraftstoffe und synthetische Kraftstoffe (E-Fuels).

Sustainable Aviation Fuels (SAF), die aus biogenen Reststoffen wie gebrauchten Speiseölen, Garten- und Lebensmittelabfällen, aus Pflanzenölen und Algen hergestellt werden oder aus Strom und Wasserstoff, sind beispielsweise eine der zentralen Lösungsansätze für die Luftfahrt. Allerdings sind ihre Verfügbarkeit und Kosten derzeit große Hürden. Experten betonen, dass die ehrgeizigen Quoten, die etwa von der EU (ab 2025 zwei Prozent, ab 2030 sechs Prozent, ab 2050 70 Prozent) oder Japan (für 2030 zehn Prozent) festgelegt wurden, nur schwer zu erreichen sein werden, da die Herausforderungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette erheblich sind. Bislang machen SAF nur etwa 0,3 Prozent des globalen Flugtreibstoffverbrauchs aus. Selbst mit den geplanten Investitionen wird erwartet, dass bis 2030 lediglich zehn Prozent des weltweiten Bedarfs gedeckt werden können. Der Ausbau der Produktion ist komplex, da neue Anlagen teuer sind, langwierige Genehmigungsverfahren durchlaufen müssen und eine verlässliche Rohstoffversorgung benötigen. Ein weiterer limitierender Faktor sind die hohen Herstellungskosten, die für SAF aktuell drei- bis fünfmal so hoch ausfallen wie für herkömmliches Kerosin. Die Luftfahrtbranche, die stark auf

Kosteneffizienz angewiesen ist, könnte dadurch unter Druck geraten. Ohne umfassende staatliche Förderprogramme oder einen global einheitlichen CO₂-Preis für Flugkraftstoffe bleibt SAF für viele Airlines wirtschaftlich unattraktiv. Zudem könnte ein erhöhter SAF-Anteil die Ticketpreise verteuern, was in diesem wettbewerbsintensiven Markt erhebliche Auswirkungen hätte.

Neben den Kosten spielt die begrenzte Rohstoffverfügbarkeit eine entscheidende Rolle. Derzeit basiert ein großer Teil der SAF-Produktion auf biogenen Reststoffen und Biomasse, deren globale Verfügbarkeit stark begrenzt ist, da vieles davon bereits in anderen Industrien genutzt wird, beispielsweise für Biodiesel. Eine vielversprechende Alternative ist die Herstellung synthetischer Kraftstoffe, die Wasserstoff und CO₂ in Flugkraftstoff umwandelt. Allerdings erfordert dieses Verfahren enorme Mengen erneuerbarer Energie, was die Skalierung in den nächsten Jahren erschwert.

In der Schifffahrt gewinnen alternative Kraftstoffe auch in Form von Methanol, Ammoniak oder Biomethan an Bedeutung, da sie mit bestehenden Motorentchnologien kompatibel gemacht werden können und die Emissionen signifikant reduzieren. Für den maritimen Bereich und den Schwerlastverkehr gilt insbesondere Wasserstoff als vielversprechender Energieträger, da er eine hohe Energiedichte aufweist und im Betrieb emissionsfrei genutzt werden kann. Grüner Wasserstoff benötigt enorme Mengen erneuerbarer Energie für die Produktion, da sein Herstellungsprozess – die Elektrolyse von Wasser – nur etwa 60 bis 70 Prozent Wirkungsgrad erreicht. Hinzu kommen hohe Energieverluste bei der Speicherung, dem Transport und der Umwandlung in nutzbare Energie, da Wasserstoff als leichtestes Element nur in sehr niedriger Temperatur (-253 °C als Flüssigwasserstoff) oder unter hohem Druck (700 bar) transportiert werden kann. Diese Verfahren sind technisch aufwendig und kostenintensiv. Flüssigwasserstoff erfordert eine komplexe Kühl- und Isolationsinfrastruktur, um Verdunstungsverluste zu vermeiden, was insbesondere für den Luftfahrtsektor problematisch ist. Druckgaswasserstoff

wird in Hochdrucktanks gespeichert, doch deren Herstellung und Wartung sind teuer, und die Transportkapazität ist begrenzt. Wasserstoffträgerstoffe wie LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier), Ammoniak, Methanol könnten eine Alternative sein, indem sie Wasserstoff chemisch binden und so leichter transportierbar machen. Allerdings erfordert die spätere Rückumwandlung wiederum zusätzliche Energie. Effizienter ist der Pipeline-Transport, jedoch ist die bestehende Infrastruktur nicht auf Wasserstoff ausgelegt, da das Gas Materialien verspröden kann und spezielle Beschichtungen sowie Verdichter benötigt werden.

Experten sehen insbesondere Technologie als Schlüssel zur Wettbewerbsfähigkeit – sowohl für die Kraftstoffproduktion als auch für die Optimierung von Antriebs- und Speichersystemen. Zu den zentralen technologischen Treibern gehören dabei Power-to-X-Technologien (PtX), unter denen alle Verfahren verstanden werden, die grünen Strom in chemische Energieträger zur Stromspeicherung, in strombasierte Kraftstoffe zur Mobilität oder Rohstoffe für die Chemieindustrie umwandeln. Unterteilt werden sie nach Verwendungszweck (z. B. Power-to-Fuel, Power-to-Chemicals oder Power-to-Ammonia) bzw. nach Energieform (Power-to-Gas, Power-to-Heat, Power-to-Liquid). Mithilfe von PtX lässt sich auf klimafreundliche Art beispielsweise Wasserstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge herstellen, aber auch Kerosin für Flugzeuge.

Hochleistungs-Elektrolyseure, die Wasser unter Verwendung von Strom in seine Grundbestandteile Wasserstoff und Sauerstoff spalten, sollen künftig die Effizienz der

Wasserstoffproduktion steigern und die Kosten senken. Hier gibt es Fortschritte bei verschiedenen Arten von Elektrolyseuren, wie PEM (Protonenaustausch-Membran), SOEC (Festoxid-Elektrolyseur) und alkalischen Elektrolyseuren zu verzeichnen. Die Wasserelektrolyse macht bislang lediglich etwa 0,1 Prozent der weltweiten Wasserstoffproduktion aus, mit angekündigten und geplanten Projekten könnte die globale Elektrolyseurkapazität bis 2030 jedoch zwischen 175 und 420 Gigawatt erreichen – ein Vielfaches der 1,15 Gigawatt, mit denen China aktuell die weltweiten Elektrolyseurkapazitäten für Wasserstoff überlegen anführt.

Neue Speichertechnologien wie Metallhydridspeicher, in denen Wasserstoff nicht in hochkomprimierter oder verflüssigter Form, sondern in einer Metallgitterstruktur gebunden werden, könnten unter wirtschaftlichen und sicherheitsrelevanten Gesichtspunkten eine attraktive Alternative zur Lagerung als Druckgas oder als Flüssigkeit darstellen. Darüber hinaus können digitale Steuerungssysteme zur Optimierung von Wasserstoffnetzwerken herangezogen werden, um die Vielzahl an Produzenten und Verbrauchern miteinander zu vernetzen und den Betrieb effizient zu gestalten. So können etwa über Blockchain Herkunft und Transportwege transparent verfolgt werden oder mithilfe von KI, Echtzeitüberwachung und -steuerung Betriebskosten gesenkt werden. Digitale Zwillinge können zudem die virtuelle Modellierung von Anlagen und Prozessen erleichtern, während integrierte Plattformen den Datenaustausch entlang der gesamten Wertschöpfungskette fördern und die Zusammenarbeit verbessern.

FUELS

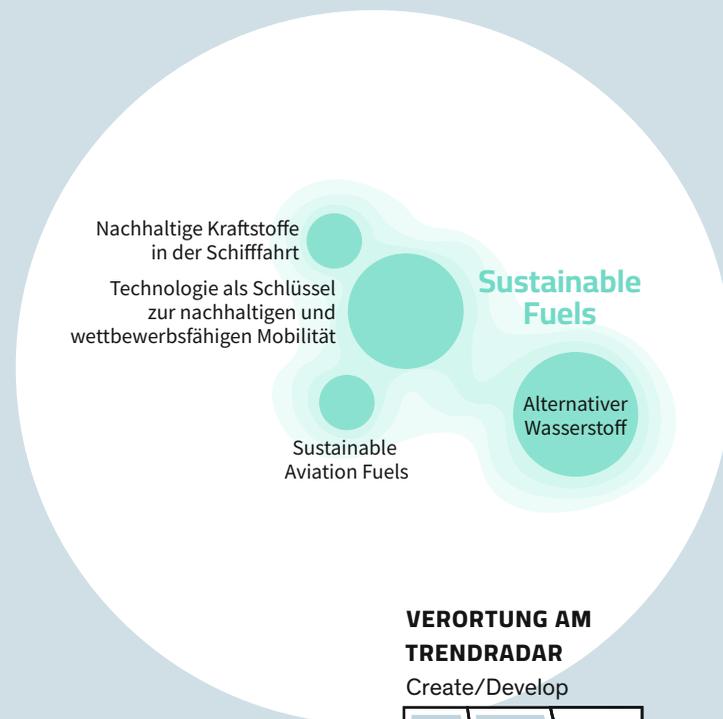
WAS STECKT HINTER DEM TREND?

Technologien zur Herstellung von Wasserstoff und anderen alternativen Treibstoffen sind die dominierenden Treiber im Trend Sustainable Fuels. Weiterentwickelte Verfahren, die die Herstellung synthetischer Kraftstoffe aus erneuerbaren Energiequellen effizienter, sicherer oder günstiger machen, werden ebenso zur langfristigen Wettbewerbsfähigkeit von Alternativen zu fossilen Brennstoffen beitragen wie Innovationen in der Motorentechnik. Wasserstoff spielt als direkter Energielieferant für Brennstoffzellen und als Grundlage für wasserstoffbasierte Kraftstoffe eine Doppelrolle, die vielversprechende Möglichkeiten, insbesondere für den Schwerlastverkehr, die Schifffahrt und perspektivisch auch die Luftfahrt bietet.

In den spezifischen Bereichen Schiff- und Luftfahrt stehen abseits von Wasserstoff verschiedene Energielieferanten als Alternative zu Schweröl und Marinediesel bzw. Kerosin im Fokus. Methanol, HVO (Hydrotreated Vegetable Oil), das hochgiftige Ammoniak oder SAF bieten sich durch ihre Einsatzmöglichkeiten in bestehenden Motoren und Triebwerken als Brückentechnologien oder darüber hinaus an.

Der Trend Sustainable Fuels bündelt die folgenden identifizierten Trendkonzepte:

- Nachhaltige Kraftstoffe in der Schifffahrt
- Technologie als Schlüssel zur nachhaltigen und wettbewerbsfähigen Mobilität
- Sustainable Aviation Fuels
- Alternativer Wasserstoff



ZOOM-IN

KONTEXT

WORIN ZEIGT SICH DER TREND?

Mit Maersk und CMA CGM haben im Herbst 2023 zwei Logistikkonzerne ihre Kräfte gebündelt, um die Dekarbonisierung der Schifffahrt zu beschleunigen. Beide Unternehmen haben sich ehrgeizige Net-Zero-Ziele gesetzt und investieren in alternative, umweltfreundlichere Kraftstoffe für den Antrieb von Containerschiffen. Konkret arbeiten sie daran, hohe Standards für alternative Kraftstoffe wie grünes Methanol und grünes Methan zu entwickeln und die Sicherheit und Bunkerung dieser Kraftstoffe zu gewährleisten. Sie setzen sich auch dafür ein, dass Häfen bereit sind, diese Kraftstoffe zu liefern. Außerdem wollen sie ihre kollaborative Entwicklungsarbeit intensivieren, um alternative Kraftstoffe wie Ammoniak zu erforschen.

Die Entwicklung eines europäischen Wasserstoffmarktes startet in Deutschland mit dem über 9000 Kilometer langen Wasserstoff-Kernnetz, das das Rückgrat des Fernleitungssystems für Wasserstoff in Deutschland bilden und Teil der europäischen Wasserstoff-Grundstruktur sein soll, um mehrere Mitgliedstaaten zu verbinden. Für die EU ist dieses Netz die Grundvoraussetzung, um die Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff in Industrie und Verkehr hochfahren zu können. Zudem wird ihm entscheidende Bedeutung beigemessen, um verstärkte Investitionen in die Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff anzustoßen. Mit dem Ausbau des südlichen Wasserstoffkorridors steht ein weiteres bedeutendes Projekt zur Förderung der grünen

Wasserstoffwirtschaft in Europa in den Startlöchern. Bis Anfang der 2030er-Jahre soll der H2Med Southwestern Hydrogen Corridor Nordafrika mit Europa verbinden und eine direkte Leitungsverbindung für gasförmigen Wasserstoff herstellen. Insgesamt wird der Korridor eine Länge von etwa 3500 bis 4000 Kilometer haben und aus fünf Teilprojekten bestehen, darunter die Pipelineprojekte H2Med und Hy-FEN. Die Transportkapazität des Korridors soll das Potenzial haben, jährlich bis zu zwei Millionen Tonnen grünen Wasserstoff zu transportieren. Deutschland, Algerien, Italien, Österreich und Tunesien haben eine gemeinsame politische Absichtserklärung zur Entwicklung des Korridors unterzeichnet, ebenso wie zwanzig weitere Unternehmen.

Herstellungsprozess von SAF aus biogenen Reststoffen



Quelle: Lufthansa Group, 2023