

Strukturelle Vulnerabilität und Kaskadeneffekte: Die Auswirkungen des globalen Helium-Schocks auf den Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Deutschland (2026–2030)

1. Einleitung und geopolitischer Katalysator der globalen Helium-Krise

Die Eskalation der geopolitischen Lage im Nahen Osten hat im Frühjahr 2026 eine der schwerwiegendsten Lieferkettenkrisen der modernen Industriegeschichte ausgelöst. Die militärischen Auseinandersetzungen zwischen den Vereinigten Staaten, Israel und dem Iran, die am 28. Februar 2026 ihren vorläufigen Höhepunkt erreichten, führten zu massiven iranischen Vergeltungsschlägen, die sich gezielt gegen die kritische Energieinfrastruktur in der Golfregion richteten. Im Zentrum dieser Zerstörung steht die katarische Ras Laffan Industrial City, der weltweit größte zusammenhängende Komplex zur Produktion von verflüssigtem Erdgas (LNG) und zugleich der entscheidende und systemrelevante Knotenpunkt der globalen Helium-Gewinnung.

Helium ist kein eigenständig geförderter Rohstoff, sondern fällt als Nebenprodukt der Erdgasverflüssigung durch kryogene Destillation an. Katar stellte vor dem Ausbruch des Konflikts mit einer jährlichen Produktion von etwa 63 Millionen Kubikmetern rund 30 bis 33 Prozent des weltweiten Heliumangebots bereit. Durch die verheerenden Raketeneinschläge am 18. und 19. März 2026 wurden die LNG-Produktionslinien Train 4 und Train 6 (Joint Ventures mit ExxonMobil) sowie die Pearl GTL-Anlage (betrieben von Shell) massiv beschädigt. Diese Zerstörung entzog dem Weltmarkt schlagartig 17 Prozent der katarischen LNG-Exportkapazität und damit unmittelbar 14 bis über 30 Prozent der globalen Heliumversorgung.

KatarEnergy sah sich gezwungen, umgehend den Status der Force Majeure (höhere Gewalt) auszurufen. Erschwerend kam hinzu, dass durch die De-facto-Blockade der Straße von Hormus selbst bereits abgefüllte Bestände im Persischen Golf eingeschlossen wurden. Ein Drittel der global zirkulierenden kryogenen ISO-Container für Helium saß in der Konfliktregion fest.

Dieser Bericht liefert eine erschöpfende und tiefgehende Analyse der konkreten, chronologischen Auswirkungen dieses beispiellosen Angebotsschocks auf die Bundesrepublik Deutschland. Aufgrund seiner einzigartigen physikalischen Eigenschaften – es besitzt die höchste thermische Leitfähigkeit aller Edelgase, ist absolut chemisch inert und weist den niedrigsten Siedepunkt aller bekannten Elemente auf – ist Helium in den Sektoren Medizin (Magnetresonanztomographie), Wissenschaft (Kernspinresonanzspektroskopie) und Halbleiterfertigung (Wafer-Kühlung) physikalisch nicht substituierbar.

Die nachfolgende Untersuchung modelliert zwei Entwicklungspfade: Szenario A geht von einer anhaltenden Krise mit dauerhaft blockierten Transportwegen aus. Szenario B simuliert ein sofortiges Kriegsende zum heutigen Stichtag, rechnet jedoch die physische Zerstörung der

katarischen Infrastruktur und die realen Wiederaufbauzeiten von drei bis fünf Jahren in die Lieferkettenverfügbarkeit ein. Ziel der Analyse ist die präzise Identifikation kritischer Engpässe und Points of no Return für die deutsche Industrie, das Gesundheitswesen und die universitäre Forschung.

2. Die physikalisch-ökonomische Asymmetrie des globalen Heliummarktes

Um die extreme Brisanz beider Szenarien für den Standort Deutschland fundiert bewerten zu können, müssen die absoluten physikalischen Grenzen der Helium-Logistik und die makroökonomischen Rahmenbedingungen verstanden werden.

Helium wird im flüssigen Zustand bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt (-269 °C beziehungsweise 4 Kelvin) transportiert. Der globale Transport erfolgt in hochspezialisierten kryogenen ISO-Containern. Diese Behälter verfügen über keine aktiven Kühlsysteme, die extern mit Energie versorgt werden könnten, sondern nutzen eine extreme Vakuumisolation in Kombination mit einem kontinuierlichen Druckabbau durch das kontrollierte Verdampfen eines Teils der Ladung (Boil-off). Die absolute physische Grenze dieser Containertechnologie liegt bei 35 bis 45 Tagen. Wird diese kritische Zeitspanne durch logistische Verzögerungen überschritten, erwärmt sich das verbliebene Flüssighelium unweigerlich. Um eine katastrophale Explosion der Tanks durch den immensen Druckaufbau zu verhindern, muss das Gas über Überdruckventile in die Atmosphäre abgelassen werden.

Eine Blockade der Transportwege, wie sie in der Straße von Hormus aufgetreten ist, bedeutet aus physikalischer Sicht somit nicht lediglich eine zeitliche Verzögerung in der Lieferkette, sondern führt zwangsläufig zum totalen und unwiederbringlichen physischen Verlust des transportierten Materials.

Auf dem Weltmarkt existieren keine strategischen Reservekapazitäten (OPEC-style spare capacity), die einen Ausfall von über 30 Prozent der globalen Produktion auch nur ansatzweise kompensieren könnten. Die ehemals staatliche US-Heliumreserve (Federal Helium Reserve) wurde in den vergangenen Jahren systematisch abgebaut, im Jahr 2024 vollständig privatisiert und von dem Industriegasekonzern Messer übernommen. Diese amerikanischen Anlagen bedienen heute primär den nordamerikanischen Binnenmarkt und sind nicht in der Lage, als globaler Puffer zu fungieren. Neue Extraktionsprojekte, wie das Dry Piney Projekt im US-Bundesstaat Wyoming, werden erst im Sommer 2028 kommerzielle Operationskapazitäten erreichen.

Deutschland ist von dieser globalen Asymmetrie in katastrophalem Ausmaß betroffen. Es existiert in der Bundesrepublik keine nennenswerte heimische Heliumproduktion. Zwar führt das französische Unternehmen 45-8 Energy aktuell in Vorpommern nahe dem Dorf Netzeband Explorationsbohrungen in bis zu 2.800 Metern Tiefe durch, um Helium aus historischen, stickstoffreichen Lagerstätten (mit einem Heliumanteil von 0,6 Prozent) zu gewinnen, doch befinden sich diese Bemühungen in einem extrem frühen Stadium. Diese lokalen Quellen werden in den Jahren 2026 bis 2028 keinerlei kommerziell relevante Volumina zur Abfederung des Schocks beitragen können. Die Bundesrepublik ist somit der Volatilität der globalen Logistiknetzwerke und den Zuteilungsquoten der wenigen verbliebenen internationalen Gaslieferanten (wie Air Liquide, Linde, Air Products und Messer) schutzlos ausgeliefert.

3. Ausgangsbedingungen und strukturelle

Vulnerabilität der deutschen Kernsektoren

Vor der detaillierten Betrachtung der chronologischen Krisenverläufe in den Szenarien A und B ist eine Bestandsaufnahme der strukturellen Abhängigkeiten in den vier definierten Kernsektoren zwingend erforderlich, um die Fallhöhe der deutschen Wirtschaft und Gesellschaft zu quantifizieren.

3.1 Medizin und Gesundheitswesen

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist das Rückgrat der modernen, strahlungsfreien medizinischen Bildgebung. Der medizinische Sektor ist global der größte Endabnehmer von flüssigem Helium und konsumiert etwa 30 Prozent der weltweiten Produktion. Ein MRT-Scanner nutzt supraleitende Magnetspulen, um Magnetfelder von 1,5 bis 3,0 Tesla zu erzeugen, die tiefe Einblicke in den menschlichen Körper ohne ionisierende Strahlung ermöglichen. Damit die Spulen ihren elektrischen Widerstand verlieren und supraleitend werden, müssen sie konstant auf 4 Kelvin gekühlt werden. Ein standardmäßiges älteres MRT-Gerät fasst in seinem Kryostaten zwischen 1.000 und 1.500 Liter flüssiges Helium.

In Deutschland zeichnet sich die radiologische Versorgung durch ein extrem hohes Volumen und eine starke Dezentralisierung aus. Laut den Erhebungen des statistischen Bundesamtes und der OECD gab es im Vorfeld der Krise in Deutschland knapp 1.900 Krankenhäuser, von denen jedoch weniger als 650 über eine eigene radiologische Fachabteilung mit stationären MRT-Geräten verfügten. In diesen Krankenhäusern wurden etwa 1.100 MRT-Geräte betrieben. Das Gros der Versorgung lastete jedoch auf dem ambulanten Sektor: Bei den niedergelassenen Radiologen in privaten Praxen und Medizinischen Versorgungszentren (MVZ) standen rund 1.900 MRT-Geräte im Einsatz.

Im Jahr 2021 wurden in Deutschland über 13,3 Millionen MRT-Untersuchungen durchgeführt, wobei das Untersuchungsvolumen in den ambulanten Praxen viermal so hoch war wie in den stationären Krankenhausabteilungen. Diese Dezentralisierung bedeutet, dass die Logistik für flüssiges Helium hochkomplex ist, da Tausende von Standorten in regelmäßigen Abständen von wenigen Monaten mit Dewargefäßen zur Nachfüllung des Boil-offs angefahren werden müssen.

3.2 Wissenschaft und Forschung

Die Grundlagenforschung in den Bereichen Chemie, Strukturbiochemie, Pharmazie und Materialwissenschaften stützt sich fundamental auf die Kernspinresonanzspektroskopie (NMR). NMR-Spektrometer nutzen, analog zu MRT-Geräten, extrem starke supraleitende Magnete, erreichen jedoch noch wesentlich höhere Feldstärken (bis zu 28,2 Tesla bei 1,2 GHz Systemen). Diese Magnete sind absolute Präzisionsinstrumente, die extrem empfindlich auf thermische Schwankungen reagieren. Ein modernes 1,2 GHz NMR-Spektrometer, wie es am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen betrieben wird, repräsentiert einen Investitionswert von rund 12,5 Millionen Euro, finanziert durch Steuergelder und Institutionen wie die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG).

An den deutschen Universitäten existieren Hunderte solcher Geräte in den Frequenzbereichen von 300 MHz bis 1 GHz. Während hochmoderne Anlagen (wie das Bruker Ascend Evo 400) durch fortschrittliche Kryotechnik Helium-Haltezeiten von bis zu einem Jahr ohne Nachfüllung erreichen, erfordert der weitaus größere Bestand an älteren Routine-Spektrometern (300 bis 500 MHz) in den chemischen Instituten eine kontinuierliche Versorgung und muss alle vier bis

acht Wochen mit flüssigem Helium nachgefüllt werden. Fällt diese Kühlung aus, droht unweigerlich ein unkontrollierter Quench, bei dem die Magnetspulen im schlimmsten Fall thermisch zerstört werden.

3.3 Industrie und Wirtschaft (Halbleiter und Automobilbau)

Der deutsche Automobilbau und der Maschinenbau sind vollständig von der globalen Halbleiterproduktion abhängig. Ein modernes, hochwertiges Elektrofahrzeug (EV) der Premiumklasse erfordert bis zu 3.000 einzelne Halbleiterchips zur Steuerung von Antrieb, Batteriemanagement, Infotainment und Fahrerassistenzsystemen. Der Verband der Automobilindustrie (VDA) prognostizierte bereits vor der Krise, dass sich die Halbleiternachfrage in der Automobilindustrie bis 2030 verdreifachen wird und die Branche dann 14 Prozent der globalen Halbleiterkapazitäten beanspruchen wird.

Die Produktion dieser Chips, insbesondere im Bereich der Logik- und Speicherbausteine, ist ohne Helium physikalisch unmöglich. Helium besitzt eine fünf- bis sechsmal höhere thermische Leitfähigkeit als Stickstoff, die nächstbeste Alternative. In den asiatischen Foundries (Fabriken) wird ultrahochreines Heliumgas (6N-Qualität, 99,9999 % Reinheit) unter hohem Druck auf die Rückseite der Silizium-Wafer injiziert, um die immense Hitze abzuführen, die bei Hochvakuum-Ätzprozessen, der chemischen Gasphasenabscheidung und der Ionenimplantation entsteht. Stickstoff kann diese Präzision nicht leisten, Argon dient der Plasmaerzeugung und Wasserstoff scheidet aufgrund extremer Explosionsgefahr aus.

Die Struktur der deutschen Automobilindustrie ist dabei besonders anfällig. Während asiatische Halbleiterfertiger bestrebt sind, modernste und kleinste Knoten (unter 7nm) für KI-Beschleuniger und Smartphones zu produzieren, entfallen rund 60 Prozent des Chipbedarfs der Automobilindustrie auf robustere, ältere Strukturgrößen von über 90 Nanometern. Diese "Legacy-Chips" bieten für Foundries geringere Gewinnmargen. In einer Verknappungssituation droht daher die Gefahr, dass die asiatischen Chiphersteller ihr limitiertes Helium vorrangig für hochprofitable KI-Chips allozieren und den Automobilsektor vernachlässigen. Eine ähnliche Chip-Krise zwischen 2021 und 2023 kostete die deutsche Automobilindustrie bereits über 100 Milliarden Euro an Wertschöpfung.

3.4 Verbrauchermarkt für Elektronik

Der Endkundenmarkt in Deutschland für Smartphones, Laptops, PCs und Unterhaltungselektronik ist direkt an die Produktionszyklen von DRAM- und NAND-Speicherchips gekoppelt. Auch hier ist Helium ein kritisches Prozessgas. Der Markt operierte bereits vor 2026 unter starken Kostensteigerungen, da die Nachfrage durch den Boom bei generativer Künstlicher Intelligenz und den damit verbundenen Server-Farmen massiv anstieg. Die Preissensibilität und die Verfügbarkeit von Endgeräten hängen direkt von der Ausbeute (Yield-Rate) in den asiatischen Fabs ab, die wiederum eine fehlerfreie thermische Kontrolle durch Helium voraussetzt.

4. Szenario A: Anhaltende Krise und permanente logistische Blockade

In diesem Szenario verharrt der Nahe Osten in einem Zustand der bewaffneten Auseinandersetzung. Diplomatische Bemühungen scheitern, und die Straße von Hormus bleibt

durch militärische Bedrohungen und Seeminen für die Handelsschifffahrt auf unbestimmte Zeit unpassierbar. Die Zerstörung der Anlagen in Ras Laffan tritt in den Hintergrund, da selbst die theoretisch mögliche Restproduktion Katar nicht auf dem Seeweg verlassen kann. Die Lücke von einem Drittel des globalen Heliumangebots verfestigt sich zu einem chronischen, strukturellen Defizit.

4.1 Kurzfristige Auswirkungen (1–3 Monate: April bis Juni 2026)

Der Beginn des zweiten Quartals 2026 ist geprägt von massiven Verwerfungen an den Spotmärkten und hektischen Notfallmaßnahmen in den Lieferketten. Da die 45-tägige Haltezeit der im Golf feststeckenden ISO-Container abläuft, muss ab Mitte April das gesamte darin gespeicherte Helium unwiederbringlich in die Atmosphäre abgelassen werden.

Medizin und Gesundheitswesen: In den deutschen Kliniken und radiologischen Praxen kommt es im kurzfristigen Zeitfenster noch nicht zu massenhaften Abschaltungen von MRT-Geräten. Die großen Industriegaslieferanten rufen intern Notfallprotokolle aus und etablieren ein striktes Triage-System ("Allocation Events"). Sie kappen die Lieferungen an nicht-kritische Industriekunden (z. B. Luftballonabfüllungen, Partygas, weniger kritische Schweißtechnik) komplett auf null, um die verbleibenden US-amerikanischen und algerischen Kontingente exklusiv in den medizinischen Sektor umzuleiten. Dennoch trifft der wirtschaftliche Schock die Praxen hart. Die Helium-Spotpreise, die sich bereits im März 2026 verdoppelt hatten, explodieren im Mai und Juni um weitere 25 bis 50 Prozent und durchbrechen die Marke von 2.000 US-Dollar pro tausend Kubikfuß. Zwar wähen sich viele Krankenhausverbünde in Deutschland durch langfristige 36-Monats-Verträge geschützt, doch die Lieferanten berufen sich auf Force-Majeure-Klauseln in der Vorkette und erheben massive lokale Logistik- und Notfallzuschläge (Surcharges), welche die Betriebskosten der Radiologien in die Höhe treiben. Erste Praxen beginnen aus wirtschaftlicher Not, Routineuntersuchungen zu verschieben, um die Öffnungszeiten der Magnete zu reduzieren und den passiven Boil-off zu minimieren.

Wissenschaft und Forschung: Für die deutsche Universitätslandschaft erweist sich das Triage-System der Gaslieferanten als fatal. Grundlagenforschung wird gegenüber der unmittelbaren medizinischen Patientenversorgung nachrangig behandelt. Ab Mitte Mai 2026 versiegen die Lieferungen an chemische und physikalische Institute. Ältere NMR-Spektrometer (300 bis 500 MHz), deren Füllzyklen bei vier bis acht Wochen liegen, geraten in einen kritischen Zustand. Die Arbeitsgruppenleiter an Instituten in München, Göttingen, Gießen oder Dresden stehen vor dem Point of no Return: Sie müssen entscheiden, ob sie die Magnete kontrolliert abwärmen ("kontrollierter Quench"), um physische Zerstörungen zu vermeiden. Dies bedeutet das sofortige Ende unzähliger Dissertationen, Postdoc-Projekte und drittmittelfinanzierter DFG-Studien in der Strukturaufklärung von Proteinen und neuen Wirkstoffen.

Industrie und Wirtschaft: In Asien läuft die "Zwei-Wochen-Uhr" der Halbleiterindustrie ab. Standard-Fabs, die nur über Helium-Puffer von ein bis drei Monaten verfügen, müssen ab Mai 2026 erste Fertigungslinien für Wafer stoppen. Branchenführer wie Samsung und SK Hynix greifen auf ihre strategischen Sechs-Monats-Bestände zurück, stoppen jedoch die Neuannahme von Aufträgen. Erschwerend wirkt ein toxischer Cocktail weiterer Materialengpässe, der durch den Krieg und geopolitische Risse verstärkt wird: Die Preise für Gallium haben sich durch chinesische Exportverbote und den Ausfall von Aluminiumhütten im Nahen Osten verdoppelt. Südkorea, das seine Chipherstellung auch zu 90 Prozent mit Brom aus dem kriegsbeteiligten Israel versorgt, meldet massive Störungen bei der Schaltkreisformung. Da die Liefer- und Produktionszeit von der Wafer-Belichtung in Asien bis zur Anlieferung am Band eines deutschen Automobilwerks etwa 8 bis 12 Wochen beträgt ,

spüren Volkswagen, BMW, Mercedes und Zulieferer wie ZF und Bosch den physischen Mangel im Juni 2026 noch nicht zwingend im Montageband, wohl aber in den Vorwarnsystemen ihrer ERP-Software. Panikartige Taskforces werden gebildet, um Restbestände auf dem grauen Markt zu exorbitanten Preisen aufzukaufen.

Verbrauchermarkt: Der Endkundenmarkt reagiert sofort auf die Nachrichten aus Asien. Händler für Elektronikprodukte in Deutschland (MediaMarkt, Saturn, Amazon) verzeichnen ab April Vorzieheffekte. Da die Halbleiterfertiger knappe Ressourcen in margenstarke KI-Chips leiten, kollabiert der Nachschub für klassische Consumer-DRAM- und NAND-Speicher. Die Preise für SSD-Festplatten, Arbeitsspeicher und in der Folge für Laptops und Smartphones ziehen im zweiten Quartal 2026 bereits spürbar an.

4.2 Mittelfristige Auswirkungen (3–12 Monate: Juli 2026 – März 2027)

In der mittelfristigen Phase bricht das Kartenhaus der Pufferbestände zusammen. Die Triage-Systeme stoßen an ihre mathematischen Grenzen, und die Krise schlägt in voller Härte auf die deutsche Realwirtschaft durch.

Medizin und Gesundheitswesen: Ab dem dritten Quartal 2026 können die Gaslieferanten die Priorisierung der Medizin nicht mehr flächendeckend aufrechterhalten, da schlichtweg die globale Masse an Helium fehlt. Das Bundesgesundheitsministerium und die Bundesnetzagentur müssen koordinierend eingreifen. Es kommt zu einer harten staatlichen Zuteilung: Große Universitätskliniken (Maximalversorger) werden priorisiert beliefert, um die Akut- und Notfalldiagnostik (Schlaganfälle, schwere Traumata, neurochirurgische Eingriffe) sicherzustellen. Der Point of no Return für die ambulante Versorgung ist erreicht: Die knapp 1.900 MRT-Geräte in den Praxen der niedergelassenen Radiologen erhalten ab Herbst 2026 keine Helium-Nachfüllungen mehr. Wenn der Füllstand im Kryostaten unter die kritische Schwelle sinkt, kommt es zum Quench. Das verbliebene flüssige Helium verdampft, dehnt sich um den Faktor 700 aus und wird als weiße Nebelwolke über die Quench-Rohre in den deutschen Winterhimmel geblasen. Die Magneten schalten sich unwiderruflich ab. Die Folgen für die Patientenversorgung sind katastrophal. Das ambulante Untersuchungsvolumen von jährlich Millionen Scans bricht weg. Wartezeiten für Routine-MRT-Untersuchungen (Orthopädie, Verlaufskontrollen in der Onkologie) steigen von wenigen Wochen auf sechs bis zwölf Monate. Ärzte sind gezwungen, auf die Computertomographie (CT) auszuweichen. Diese Ausweichbewegung löst ein sekundäres Problem aus: Eine drastische Erhöhung der kumulierten Strahlenbelastung in der Bevölkerung, was dem Strahlenschutzgesetz und jahrzehntelangen Bemühungen zur Dosisreduktion zuwiderläuft.

Wissenschaft und Forschung: Bis Ende 2026 sind nahezu alle dezentralen Routine-NMR-Spektrometer in Deutschland gequench und unbrauchbar. Aber auch die hochmodernen, teuren Großgeräte (wie die 1,0 oder 1,2 GHz Systeme), die Haltezeiten von bis zu einem Jahr aufweisen, geraten im Frühjahr 2027 an ihre physikalischen Grenzen. Institute, die in den vergangenen Monaten nicht in der Lage waren, auf dem Schwarzmarkt Helium zu besorgen oder in eilig bewilligte Helium-Rückgewinnungsanlagen (Reliquefier) zu investieren, müssen ihre Flaggschiff-Projekte einstellen. Der Rückstand der deutschen Spitzenforschung auf globaler Ebene, insbesondere gegenüber den USA, die ihre heimischen Heliumquellen für die eigene Forschung restriktiv bunkern, wächst rasant.

Industrie und Wirtschaft: Im September 2026 erschöpfen sich auch die sechsmonatigen Helium-Puffer der asiatischen Branchenführer Samsung und SK Hynix. Die globale Wafer-Produktion bricht massiv ein. Für den deutschen Automobilbau wird der Herbst 2026 zum Schicksalsquartal. Der Bullwhip-Effekt trifft die Montagebänder. Die Autohersteller benötigen

dringend Chips der Leistungsklassen über 90 Nanometer. Die Foundries in Asien haben jedoch beschlossen, das verbleibende, extrem teure Helium fast ausschließlich in die Fertigung von High-Bandwidth-Memory (HBM) und KI-Beschleunigern (Nvidia, AMD) zu lenken, da hier die Gewinnmargen ausreichen, um die Rohstoffpreise zu kompensieren. Die deutschen Autobauer stehen ohne Steuerungselektronik da. Ab Oktober 2026 kommt es zu flächendeckender Kurzarbeit. Werke in Wolfsburg, Ingolstadt, Stuttgart und Sindelfingen stehen tageweise, dann wochenweise still. Die Produktion von E-Autos, die besonders halbleiterintensiv ist, wird drastisch gedrosselt. Der von der VDA prognostizierte Rückgang der Fahrzeugproduktion um 20 Prozent wird im vierten Quartal 2026 brutale Realität. Die Wertschöpfungsverluste übersteigen schnell die 100-Milliarden-Euro-Marke, flankiert von Entlassungswellen bei mittelständischen Tier-2 und Tier-3 Zulieferern, die keine Kapitalpuffer besitzen.

Verbrauchermarkt: Der deutsche Elektronikmarkt erlebt im Weihnachtsgeschäft 2026 eine nie dagewesene Knappheit. Die Analysten von Gartner behalten recht: Die Preise für DRAM und SSDs steigen bis Ende des Jahres um 130 Prozent, was die Endkundenpreise für PCs und Laptops um durchschnittlich 17 Prozent nach oben treibt. Der Smartphone-Markt bricht im Absatz um 8 bis 10 Prozent ein. Verbraucher verlängern den Lebenszyklus ihrer Altgeräte aus finanzieller Not um durchschnittlich 20 Prozent. Refurbished-Geräte werden zum dominierenden Segment unterhalb der 600-Euro-Preisgrenze, da neue Mittelklassegeräte schlichtweg nicht lieferbar oder zu teuer sind.

4.3 Langfristige Auswirkungen (über 1 Jahr: ab April 2027)

Die anhaltende Blockade im Persischen Golf zwingt die deutsche Volkswirtschaft und Gesellschaft in eine schmerzhaft, aber unausweichliche strukturelle Transformation.

Gesundheitswesen: Der radiologische Mangel wird zum Dauerzustand. Es beginnt ein gewaltiger, von den Herstellern forcierter Umbau des Maschinenparks. Siemens Healthineers und Philips dominieren den Markt mit ihren neuen "Zero-Boil-off"-Technologien. Die "DryCool"-Technologie von Siemens (verbaut im Magnetom Flow.Ace) benötigt für die gesamte Lebensdauer lediglich 0,7 Liter flüssiges Helium, da der Kreislauf komplett hermetisch versiegelt ist und kein Quench-Rohr mehr benötigt. Philips vertreibt vergleichbare Systeme unter dem Namen "BlueSeal". Das Problem: Die Produktionskapazitäten in den europäischen Werken dieser Hersteller reichen nicht aus, um Tausende funktionsunfähige Legacy-MRTs in Deutschland kurzfristig zu ersetzen. Es dauert bis in die 2030er Jahre, bis das MRT-Netz in der Peripherie durch diese neuen Geräte wieder die Dichte von 2025 erreicht.

Wirtschaft und Geopolitik: Die Automobilindustrie verliert global massiv an Marktanteilen, da chinesische Hersteller, die direkteren Zugang zu asiatischen Chips und russischem Helium (aus der Amur-Anlage) haben, den europäischen Markt überschwemmen. Die deutsche Politik wird gezwungen, das Konzept der Lieferkettensicherheit neu zu definieren. Der *EU Chips Act*, der primär auf den Bau von Fabrikgebäuden abzielte, wird als unzureichend erkannt, solange die Versorgung mit kritischen Prozessgasen wie Helium, Gallium oder Brom nicht gesichert ist. Explorationsprojekte in Deutschland (Vorpommern) werden massiv subventioniert, können jedoch kurzfristig keine Erlösung bringen.

5. Szenario B: Verzögerte Erholung durch Infrastrukturschäden (Der trügerische Frieden)

In diesem Szenario unterzeichnen die Konfliktparteien am heutigen 24. März 2026 einen

sofortigen Waffenstillstand. Die Straße von Hormus wird geräumt, Frachtschiffe und LNG-Tanker dürfen den Persischen Golf wieder sicher passieren. Auf den ersten Blick scheint die Krise abgewendet. Doch die physikalische und infrastrukturelle Realität diktiert einen völlig anderen Zeitplan.

Die Raketeneinschläge vom 18. und 19. März 2026 haben die katarischen LNG-Produktionslinien Train 4 und Train 6 (insgesamt 12,8 Millionen Tonnen Jahreskapazität) sowie die Pearl GTL-Anlage strukturell vernichtet. Der CEO von QatarEnergy, Saad Sherida Al-Kaabi, bestätigt, dass der Wiederaufbau dieser hochkomplexen Anlagen drei bis fünf Jahre in Anspruch nehmen wird und jährlich 20 Milliarden Dollar an Einnahmenausfällen verursacht. Da Helium untrennbar als Nebenprodukt bei der Erdgasverflüssigung in diesen spezifischen Zügen anfällt, bedeutet dies: Das Gas ist nicht im Golf blockiert, es wird schlichtweg nicht mehr produziert. Die globale Materiallücke von 14 Prozent des Helium-Angebots ist in Stein gemeißelt und wird bis 2029 oder 2031 bestehen bleiben.

5.1 Kurzfristige Auswirkungen (1–3 Monate: April bis Juni 2026)

Der sofortige Friedensschluss führt an den globalen Märkten zu einer gefährlichen "Bullenfalle" – einer Fehleinschätzung der tatsächlichen Versorgungslage.

Logistik und Verbrauchermarkt: Die Spotmarktpreise für Elektronikprodukte stabilisieren sich im April kurzfristig, da Algorithmen und Analysten das Wort "Frieden" positiv einpreisen. Doch die logistische Enttäuschung folgt auf dem Fuß. Die Freigabe der Straße von Hormus erlaubt es den blockierten Frachtschiffen, ihre Reise anzutreten. Die an Bord befindlichen kryogenen ISO-Container mit Helium steckten jedoch seit Anfang März im Krisengebiet fest. Bis sie die europäischen Häfen in Rotterdam oder Hamburg erreichen, ist das Zeitfenster von 45 Tagen (Boil-off-Limit) weit überschritten. Ein massiver Teil des flüssigen Heliums musste auf See über die Überdruckventile in die Atmosphäre abgeblasen werden. Die Industrie empfängt im Mai 2026 halb leere Behälter. Zudem müssen diese hochspezialisierten Container erst entladen und mühsam nach Nordamerika oder Algerien repositioniert werden, was laut Experten mindestens drei weitere Monate in Anspruch nimmt, bevor sie wieder in den regulären Kreislauf eintreten können.

Industrie und Automobilbau: Die deutschen Einkaufsmanager in der Automobilindustrie schöpfen im April Hoffnung, dass die Chip-Lieferungen bald wieder anlaufen. Doch die Halbleiter-Foundries in Asien kalkulieren präziser. Sie erkennen, dass die 14-prozentige globale Heliumlücke aus Katar für die nächsten drei bis fünf Jahre strukturell ungelöst bleibt. Anstatt ihre strategischen Sechs-Monats-Puffer nun freizugeben und die Wafer-Produktion wieder hochzufahren, frieren Samsung und TSMC ihre Bestände ein. Sie wissen, dass sie mit diesem Helium-Vorrat mehrere Jahre der Knappheit überbrücken müssen. Die Konsequenz für Deutschland: Die Zuteilung von Chips für den Automobilbau wird nicht gelockert, sondern drastisch rationiert. Die Foundries weigern sich, das nun extrem kostbare Helium für die Belichtung und Kühlung von einfachen, margenschwachen Leistungschips (>90nm) zu verschwenden. Der deutsche Automobilbau fährt im Frühsommer 2026 direkt auf eine unsichtbare Wand zu.

Medizin und Wissenschaft: Das Gesundheitswesen profitiert kurzfristig vom Wegfall der Kriegsrisikoprämien in der Schifffahrt. Die absolute Panik in den radiologischen Praxen legt sich, da die Gaslieferanten zusichern, die medizinische Triage aufrechtzuerhalten. Das Preisniveau bleibt jedoch exorbitant hoch, da das fehlende katarische Volumen durch teure US-amerikanische Käufe ersetzt werden muss. Die Universitäten versuchen, die Zeit zu nutzen, um dezentrale NMR-Spektrometer hastig durch Umverteilung von Restmengen über den

Sommer zu retten.

5.2 Mittelfristige Auswirkungen (3–12 Monate: Juli 2026 – März 2027)

In der mittelfristigen Phase weicht die Hoffnung der Erkenntnis, dass Deutschland sich in einem zermürbenden, mehrjährigen Mangel-Szenario einrichten muss. QatarEnergy hält die Force-Majeure-Klauseln für Helium- und LNG-Lieferverträge unvermindert aufrecht.

Industrie und Wirtschaft: Für den deutschen Automobil- und Maschinenbau beginnt im Herbst 2026 ein zermürbender Zuteilungskampf. Da die asiatischen Chip-Hersteller weltweit aggressiv die verbliebenen Helium-Kapazitäten (aus den USA und Algerien) aufkaufen, steigen die Produktionskosten für Wafer weiter an. Der Mangel an etablierten Chips schlägt nun voll auf die Bänder in Deutschland durch. Es kommt nicht zu einem totalen, apokalyptischen Blackout wie in Szenario A, sondern zu einem stotternden "Stop-and-Go"-Betrieb. Automobilhersteller sind gezwungen, sogenannte "Feature Drops" vorzunehmen: Fahrzeuge werden ohne Totwinkelassistenten, ohne Highend-Navigationssysteme oder mit reduzierten Batteriesteuergeräten gebaut und auf Halde gestellt, in der Hoffnung auf spätere Nachrüstungen. Die Produktion sinkt signifikant, Gewinne schmelzen ab, und die Transformation zur Elektromobilität in Deutschland erleidet einen massiven Rückschlag, da E-Autos zehnmal mehr Halbleiterkapazität erfordern als Verbrenner.

Wissenschaft und Forschung: Deutsche Wissenschaftsorganisationen erkennen den Point of no Return: Ein Betrieb von NMR-Spektrometern ohne geschlossene Helium-Kreisläufe ist bis 2030 finanziell nicht darstellbar. Es kommt zu einem panikartigen Ansturm auf Helium-Rückgewinnungsanlagen (Reliquefier). Systeme wie der "Bluefors HeRL02-RM", die einen Closed-Loop (Zero-Boil-Off) für einzelne NMR-Magnete durch den Einsatz von Pulsröhrenkühlern ermöglichen, sind weltweit ausverkauft. Die Lieferzeiten für diese rettenden Kompressoren steigen auf über ein Jahr. Institute, die nicht schnell genug bestellt haben oder deren DFG-Anträge (die ohnehin strenge Nutzungs- und Auslastungskonzepte fordern) im bürokratischen Prozess feststecken, müssen ihre NMR-Geräte im Winter 2026/2027 unweigerlich herunterkühlen lassen. Der finanzielle und wissenschaftliche Flurschaden an den deutschen Chemie- und Physikfakultäten ist immens.

Medizin und Gesundheitswesen: Die radiologische Versorgung in Deutschland stabilisiert sich im "New Normal" einer extremen Hochpreisphase. Die Industriegasversorger können die Versorgung der MRTs in den 1.900 Praxen und Krankenhäusern knapp sicherstellen. Allerdings führen die massiven Logistikzuschläge und Rohstoffkosten dazu, dass die Betriebskosten einer radiologischen Praxis explodieren. Der Druck auf den Gemeinsamen Bundesausschuss (G-BA) und die Krankenkassen wächst rasant, die Erstattungssätze für MRT-Untersuchungen (EBM-Ziffern) im System der Kassenärztlichen Vereinigungen signifikant anzuheben. Bleiben diese Anpassungen aus, drohen Insolvenzen im niedergelassenen Bereich, was zu einer schleichenden Ausdünnung der ländlichen radiologischen Versorgung führt.

4.3 Langfristige Auswirkungen (über 1 Jahr: Die Lücke bis 2031)

Die Jahre 2027 bis 2030 sind geprägt von dem Bemühen, die Abhängigkeit von Helium strukturell zu minimieren, während man auf den Wiederaufbau der Anlagen in Katar wartet.

Innovation durch erzwungene Substitution: Im medizinischen Sektor beschleunigt sich die Marktdurchdringung von Low-Helium-Scannern. Jede Neuanschaffung in deutschen Kliniken ist fortan ein versiegeltes System der Marken Philips (BlueSeal) oder Siemens (DryCool). Der Flaschenhals verschiebt sich vom Gas hin zu den Produktionskapazitäten dieser

Scanner-Hersteller. In der Spitzenforschung, insbesondere im Bereich Quantencomputing und Supraleitung, zwingt die Heliumknappheit zur Adaption radikal neuer Technologien. Deutsche Institute kooperieren verstärkt mit asiatischen Forschergruppen, die an der adiabatischen Entmagnetisierung (ADR) arbeiten. Hierbei kommen spezielle Seltenerd-Legierungen (wie Europium-Kobalt-Aluminium, EuCo_2Al_9) zum Einsatz, die als Festkörper-Kühlmodule Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt (106 Millikelvin) erreichen können, völlig ohne den Einsatz des knappen Helium-3-Isotops oder flüssigen Heliums.

Geopolitische Resilienz: Deutschland begreift Helium endgültig als kritischen strategischen Rohstoff. Neben der Subventionierung der inländischen Exploration durch Firmen wie 45-8 Energy in Brandenburg und Vorpommern, drängt die Bundesregierung auf europäischer Ebene auf den Aufbau einer "Strategic Helium Reserve" nach dem historischen Vorbild der Erdölreserven. Das Bewusstsein, dass der moderne Hightech-Standort nicht an fehlenden Gebäuden, sondern an fehlenden Atomen scheitern kann, prägt die Industriepolitik des kommenden Jahrzehnts.

6. Sektorenspezifische "Point of no Return"-Analyse (Synthese)

Die nachfolgenden tabellarischen Analysen synthetisieren die kritischen Kipppunkte (Points of no Return), ab denen in Deutschland irreversible technologische Schäden oder massive volkswirtschaftliche Verluste in den beiden betrachteten Szenarien eintreten.

6.1 Kritische Zeitfenster: Medizin und Wissenschaft (Thermische Kipppunkte)

Der physikalische Point of no Return für supraleitende MRT- und NMR-Magnete ist der *Quench*. Sinkt der Heliumpegel unter ein kritisches Minimum, verliert die Spule ihre Supraleitung. Der elektrische Widerstand erzeugt schlagartig Hitze, was das restliche Helium explosionsartig verdampfen lässt. Die Wiederinbetriebnahme erfordert gewaltige Mengen Neugas, was in einer Mangelkrise dem Totalausfall gleichkommt.

System / Sektor in Deutschland	Technologische Haltezeit (ohne Nachfüllung)	Point of no Return (Szenario A: Blockade)	Point of no Return (Szenario B: Zerstörung, aber Seeweg frei)
MRTs in Krankenhäusern (ca. 1.100 Geräte)	6 bis 12 Monate (konstanter Boil-off)	Winter 2026/2027: Zwangsquench bei peripheren Kliniken durch Zusammenbruch der Triage.	Kein Ausfall: Versorgung durch drastisch teurere US-Importe gesichert.
MRTs in Praxen (ca. 1.900 Geräte)	6 bis 12 Monate	Herbst 2026: Abschaltung aufgrund fehlender Priorisierung; Kollaps der ambulanten Versorgung.	Kein Ausfall: Massive Kostensteigerungen erzwingen gesundheitspolitische Eingriffe.
Ältere Routine-NMRs (300-500 MHz,	4 bis 8 Wochen	Mai/Juni 2026: Zwangsquench, Verlust	Winter 2026: Zwangsquench für

System / Sektor in Deutschland	Technologische Haltezeit (ohne Nachfüllung)	Point of no Return (Szenario A: Blockade)	Point of no Return (Szenario B: Zerstörung, aber Seeweg frei)
Universitäten)		der Hardware mangels Nachschub.	Institute ohne Liefervertrag für Reliquier (Closed-Loop).
Moderne Hochfeld-NMRs (z.B. 1,0 - 1,2 GHz)	Bis zu 365 Tage	Frühjahr 2027: Irreversibler Verlust der Flaggschiff-Projekte.	Gerettet: Durch Priorisierung der DFG und eilige Nachrüstung von Rückgewinnungsanlagen.

6.2 Kritische Zeitfenster: Industrie und Verbrauchermarkt (Lieferketten-Kipppunkte)

Der Point of no Return in der Industrie ist durch den Bullwhip-Effekt definiert: Ein Engpass am Beginn der Kette in den asiatischen Reindräumen schlägt zeitverzögert, aber in vergrößerter Amplitude auf die deutschen Montagebänder durch.

Wertschöpfungsstufe / Sektor	Strategischer Puffer / Lieferverzögerung	Point of no Return (Szenario A: Blockade)	Point of no Return (Szenario B: Zerstörung, aber Seeweg frei)
Halbleiter-Foundries (Asien)	1 bis 6 Monate Helium-Reserve	Spätsommer 2026: Reserven erschöpft, globaler Blackout der Wafer-Kühlung.	Mai 2026: Dauerhafte Drosselung und Allokation zugunsten von High-Margin KI-Chips.
Automobilbau (Deutschland)	8 bis 12 Wochen Logistik-Verzug	Herbst 2026: Flächendeckender Bänderstillstand (Kurzarbeit) wegen fehlender Steuerungschips.	Herbst 2026: "Stop-and-Go"-Produktion, 20 % Produktionsrückgang, Wegfall von Ausstattungsmerkmalen.
Verbraucherelektronik (Deutschland)	4 bis 8 Wochen Handelspuffer	Juli 2026: Leerkäufe, Zusammenbruch des Angebots an Neuware.	Ende 2026: +130 % Preisanstieg bei DRAM/SSD, +17 % bei PCs; Boom bei Refurbished-Geräten.

7. Zusammenfassendes Fazit

Die Modellierung des katarischen Helium-Schocks im Jahr 2026 legt eine weitreichende strategische Fehlkalkulation des Wirtschaftsstandortes Deutschland offen. Die völlige Abhängigkeit der deutschen Spitzenmedizin, der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung

und der Automobilindustrie von einem hochkomplexen, extrem flüchtigen und geopolitisch konzentrierten Edelgas erweist sich als Achillesferse der nationalen Wertschöpfung. Die detaillierte Betrachtung belegt, dass selbst ein optimistisches Szenario (Szenario B mit sofortigem Frieden) keine wirtschaftliche Erlösung bringt. Die physikalische Zerstörung der Verflüssigungsanlagen in Ras Laffan reißt eine Lücke in den Weltmarkt, die nicht durch logistische Umwege oder finanzielle Kraftakte kurzfristig geschlossen werden kann. Bis zum Abschluss des Wiederaufbaus in den Jahren 2029 bis 2031 ist Deutschland gezwungen, eine rigorose Mangelverwaltung zu betreiben.

Die Überlebensfähigkeit der deutschen Kernsektoren hängt künftig nicht von der Optimierung von "Just-in-Time"-Lieferketten ab, sondern von der raschen technologischen Substitution (wie dem Umstieg auf versiegelte MRT-Systeme und ADR-Kühlungen) sowie dem Aufbau geschlossener Kreislaufwirtschaften (Helium-Reliquefier). Nur durch massive Investitionen in technologische Resilienz und die gezielte heimische Exploration kritischer Rohstoffe kann verhindert werden, dass künftige geopolitische Verwerfungen zu irreversiblen De-Industrialisierungsschüben in Europa führen.

Quellenangaben

1. Iran War Disrupts One-Third of Global Helium Supply - Exiger, <https://www.exiger.com/perspectives/iran-war-disrupts-one-third-of-global-helium-supply/> 2. QatarEnergy says Ras Laffan damage to take up to five years to ..., <https://ingprime.com/middle-east/qatarenergy-says-ras-laffan-damage-to-take-up-to-five-years-to-repair/180857/> 3. US-Iran War Analysis: Will Helium Crisis Hit Data Centres?, <https://datacentremagazine.com/news/us-iran-war-analysis-will-helium-crisis-hit-data-centres/> 4. MRI providers keep eye on rising helium prices amid war in Iran, <https://www.fiercebiotech.com/medtech/mri-providers-keep-eye-rising-helium-prices-amid-war-iran> 5. Qatar Helium Crisis: Chip Supply Faces Two-Week Deadline | byteiota, <https://byteiota.com/qatar-helium-crisis-chip-supply-faces-two-week-deadline/> 6. Iran war halts Qatar helium output, threatening global tech supply chains, <https://apnews.com/article/iran-chips-semiconductor-helium-exports-war-fe934332f7c83bb722ca87db22cd57d0> 7. Final Shipments Docking: The Global Helium Supply Chain Hangs by a Thread, <https://en.igascn.com/global/detail/?Typeld=1036&Id=13248&SortSource=list> 8. Helium-Projekt: kritischer Rohstoff künftig aus Vorpommern?, <https://live.deutsche-boerse.com/nachrichten/Helium-Projekt-kritischer-Rohstoff-kuenftig-aus-Vorpommern-c2c1f4ca-0b9d-4315-8d26-4c804fe90cc0> 9. Deutsche Radiologie in Zahlen, <https://www.radiologie.de/deutsche-radiologie-zahlen/> 10. 1,2-GHz-NMR-Spektrometer angekommen 1.2 GHz NMR spectrometer arrived Proteine ganz nah Dissecting protein assemblies Wissensch, https://www.mpinat.mpg.de/621496/07_08_09_MPIbpcNews_Juli-August-September-2020.pdf 11. Leistungsfähiges NMR-Spektrometer für die TU München - Informationsdienst Wissenschaft, <https://idw-online.de/-DwXAA> 12. NMR-Spektrometer - Fachgruppe Chemie und Biologie - Uni Wuppertal, <https://chemie.uni-wuppertal.de/de/fachgruppe-chemie-und-biologie/analytischer-service/kernresonanzspektroskopie/nmr-spektrometer/> 13. Höchstaufauflösende NMR-Spektroskopie in Lösung und im Festkörper – 1 GHz AEON NMR Spektrometer - Nordbayerisches NMR Center, <https://www.nbnc.uni-bayreuth.de/de/nmr-spektrometer/04-1-GHz/index.html> 14. 300 MHz NMR Spectrometer - GEPRIS - DFG, <https://gepris.dfg.de/gepris/projekt/536629481?language=en> 15. Bruker Advances NMR Magnet Portfolio, Innovates in Industrial Solutions,

<https://ir.bruker.com/press-releases/press-release-details/2023/Bruker-Advances-NMR-Magnet-Portfolio-Innovates-in-Industrial-Solutions/default.aspx> 16. Agilent 400 MHz NMR Magnet, <https://www.agilent.com/Library/datasheets/Public/SI-0300%20Agilent%20400%20Mhz%20NMR%20Magnet.pdf> 17. NMR MAGNET UltraShield User, <https://2210pc.chem.uic.edu/nmr/downloads/BASHCD10/pdf/z31242.pdf> 18. SPECTROSPIN NMR Magnet System Safety Notes, https://www.weizmann.ac.il/ChemicalResearchSupport/sites/ChemicalResearchSupport/files/bruker_magnet_safety.pdf 19. Semiconductor supply risk management | Strategy& - PwC Strategy, [https://www.strategyand.pw.com/de/en/industries/automotive/semiconductor-supply-chain-risk.html](https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/automotive/semiconductor-supply-chain-risk.html) 20. Studie: Bis 2026 drohen wegen Halbleitermangel weltweit 20 Prozent weniger produzierte Fahrzeuge - VDA.de, https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/2023/230126_PM_Studie_Bis_2026_drohen_wegen_Halbleitermangel_weltweit-20-Prozent_weniger_produzierte_Fahrzeuge 21. Qatar helium shutdown puts chip supply chain on a two-week clock ..., <https://www.tomshardware.com/tech-industry/qatar-helium-shutdown-puts-chip-supply-chain-on-a-two-week-clock> 22. Why the Iran-Israel War Matters for the World's Helium Supply - Middle East Forum, <https://www.meforum.org/mef-observer/why-the-iran-israel-war-matters-for-the-worlds-helium-supply> 23. Helium Supply Disruption Amid Iran Conflict Raises Global ..., <https://www.binance.com/en/square/post/302134744171937> 24. Semiconductor Supply Chain Disruption 2026: How the Helium Crisis Is Hitting Chip Fabs and What Electronics Importers Must Do Now - Carra Globe, <https://carraglobe.com/semiconductor-supply-chain-disruption-2026/> 25. Situation spitzt sich zu: Chipkrise gefährdet die Produktion deutscher Autobauer, https://www.focus.de/finanzen/news/situation-spitzt-sich-zu-chipkrise-gefaehrdet-die-produktion-deutscher-autobauer_fed407c2-6eb5-4816-bb5a-6c37a7946b35.html 26. Wer 2026 ein Smartphone kaufen will, muss wohl deutlich tiefer in die Tasche greifen - CHIP, https://www.chip.de/news/handy/wer-2026-ein-smartphone-kaufen-will-muss-wohl-deutlich-tiefer-in-die-tasche-greifen_7a45a98e-e57b-49e9-892f-8d2af921fe02.html 27. Gasversorgung - Bundesnetzagentur, <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Gasversorgung/start.html> 28. What Is an MRI Quench? - Block Imaging, <https://www.blockimaging.com/blog/what-is-an-mri-quench> 29. Magnet quench - Questions and Answers in MRI, <https://mriquestions.com/what-is-a-quench.html> 30. Chip-Mangel: Bosch erweitert deutsche Chip-Produktion - Auto Motor und Sport, <https://www.auto-motor-und-sport.de/verkehr/chip-mangel-auswirkungen-auto-industrie-verluste-halbleiter-krise/> 31. Halbleiter-Krise: Nicht nur Autobauer in Bedrängnis | ZIB2 vom 23.10.2025 - YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=Tot8zQAs1MM> 32. Krise der Autozulieferer: 2026 entscheidet über Gewinner und Verlierer - Markt & Mittelstand, <https://www.marktundmittelstand.de/ratgeber/so-schlecht-geht-es-den-deutschen-autozulieferern> 33. Jetzt trifft der Chipmangel die Smartphone-Preise: "Steigen zurzeit täglich" - FOCUS online, https://www.focus.de/finanzen/boerse/jetzt-trifft-der-chipmangel-die-smartphone-preise-steigen-zurzeit-taeglich_937b2cd4-4209-4ed4-895c-1077aa6c9eb8.html 34. Prognose: Experten erwarten Chipmangel bis mindestens 2024 - autohaus.de, <https://www.autohaus.de/nachrichten/autohersteller/prognose-experten-erwarten-chipmangel-bis-mindestens-2024-3194285> 35. A New Helium Recovery Solution for Single NMR Units - Bluefors.com, <https://bluefors.com/news/a-new-helium-recovery-solution-for-single-nmr-units/> 36. Hinweise zur Beantragung und zum Betrieb von NMR-Spektrometern - DFG,

<https://www.dfg.de/resource/blob/169938/hinweise-beantragung-nmr-spektrometer.pdf>