

System SENSONiC jako element ochrony kolejowej infrastruktury krytycznej

Alexander Holper SENSONIC GmbH Austria,
Andrzej Bartnik FRAUSCHER Polska Sp. z o.o.

Z uwagi na stale rosnące wymagania w zakresie bezpieczeństwa i efektywności ruchu pociągów, wydajność operacyjna transportu kolejowego nie zależy już dziś wyłącznie od optymalnie utrzymanej infrastruktury torowej. Wielu operatorów ma do dyspozycji tysiące kilometrów kabli światłowodowych, biegnących wzdłuż ich torów, które są podstawą bezpiecznej komunikacji i transmisji danych. W niniejszym artykule została omówiona ważna rola, jaką w tym kontekście może odegrać technologia czujników światłowodowych.

Operatorzy kolejni, będąc znaczącymi dostawcami usług komunikacyjnych, zapewniają dostawy towarów i transport osób. W ten sposób przyczyniają się do utrzymania gospodarki i usług publicznych. W tym kontekście zakłócenia w ruchu mają znaczące konsekwencje ekonomiczne - zarówno dla operatora, jak i dla klienta. Dodatkowo, takie przerwy w świadczeniu usług kolejowych mają szeroki zasięg ze względu na rosnące natężenie ruchu pociągów, jak również ścisłe powiązanie krajowych i międzynarodowych sieci kolejowych. W związku z tym, oraz z uwagi na stale rosnące wymagania w zakresie bezpieczeństwa i efektywności ruchu pociągów, wydajność operacyjna nie zależy już dziś wyłącznie od optymalnie utrzymanej infrastruktury torowej. Postępująca cyfryzacja staje się w tym kontekście mieczem obosiecznym. Z jednej strony umożliwia ona wysoce wydajną i szybką komunikację, która jest niezbędna do utrzymania usług kolejowych zgodnie z dzisiejszymi potrzebami. Z drugiej strony, zależy od silnej, wysoce dostępnej i wydajnej sieci komunikacyjnej.

Dziś wielu zarządców infrastruktury kolejowej ma do dyspozycji tysiące kilometrów kabli światłowodowych, biegnących wzdłuż ich torów. Ta sieć światłowodów jest podstawą bezpiecznej komunikacji i transmisji danych w ramach działalności kolejowej. W związku z tym istnieje zapotrzebowanie na nowe, innowacyjne podejścia, których połączenie i zastosowanie w inteligentnych koncepcjach umożliwia monitorowanie tych sieci na całym obszarze. Ważna rola, jaką w tym kontekście może odegrać technologia czujników światłowodowych, została omówiona bardziej szczegółowo w niniejszym artykule. Najpierw jednak chcemy szczegółowo przyjrzeć się problemowi.

1. Zagrożenia dla działalności kolejowej

Fakt, że duże obszary sieci kolejowych są ze swej natury trudne w monitorowaniu lub w ogóle mu nie podlegają, czyni je szczególnie podatnymi na niezauważalne wpływy i zmiany. Mogą one mieć przyczyny naturalne, takie jak osunięcia ziemi. Mogą one być również spowodowane celowymi aktami sabotażu. Setolai inni przedstawiają cały szereg potencjalnych zagrożeń dla bezpieczeństwa operacji kolejowych (1):

- Wandalizm urządzeń związanych z ruchem kolejowym; Wtargnięcie/ingerencja osób nieupoważnionych, które dokonują zmian w działaniu urządzeń sterowania ruchem kolejowym (sygnałach);
- Umieszczanie ciężkich przedmiotów na torowisku (podkładach, szynach).
- Przesławianie zwrotnic na niewłaściwe drogi przebiegu, co ma wpływ na ruch kolejowy,

- Nieuwaga kierowców w ustępowaniu pierwszeństwa na bezobsługowych przejazdach kolejowych, co powoduje kolizję z przejeżdżającym pociągiem.
- Wtargnięcia zwierząt hodowlanych/dzikich na tory.
- Incydenty związane z substancjami niebezpiecznymi.

Jednak zdaniem autorów wspomnianej książki na szczególną uwagę zasługują również rosnące zagrożenia ze strony terroryzmu i kradzieży kabli (tamże). Liczne przykłady tego zjawiska tylko w ostatnim czasie opisują Jenkins i Butterworth (2), gdzie stwierdzają:

„Z bazy danych MTI wynika, że od 1970 roku do końca 2017 roku miały miejsce 282 próby celowego wykolejenia pociągów i 817 dodatkowych ataków na infrastrukturę kolejową, w tym tory, mosty, tunele, sygnalizację i inne urządzenia przytorowe. Z 282 prób wykolejenia pociągów, 118 (42%) zakończyło się wykolejeniem” (2).

Jak dalekosiężne mogą być skutki celowego ataku na sieć światłowodową stało się jasne w październiku 2022 roku w północnych Niemczech. Nieznani sprawcy uszkodzili dwa kable światłowodowe, po jednym w Berlinie i Herne. W efekcie udało im się spowodować awarię zarówno głównego, jak i zapasowego cyfrowego systemu radiokomunikacji kolejowej dla dużej części północnych Niemiec. Rezultatem była całkowita przerwa w ruchu lokalnym i dalekobieżnym przez kilka godzin (3).

Oprócz ukierunkowanych ataków na funkcjonalność kolei w jej roli infrastruktury krytycznej, kradzieże kabli często powodują ograniczenia w eksploatacji, na co powołuje się również Setola i inni. Aby zilustrować konsekwencje, odpowiedź na pytanie do niemieckiego parlamentu z 2018 roku pokazuje, że w 2013 roku na sieci kolejowej DB odnotowano łącznie 1 748 przypadków kradzieży kabli. W 2017 roku było to jeszcze 565 przypadków. Mimo że liczby wydają się maleć, wpływ na działalność jest nadal ogromny: w 2013 roku odnotowano 134 000 minut opóźnień i koszty w wysokości 17,7 mln euro, w 2017 roku było to jeszcze 71 000 minut opóźnień i 5,9 mln euro (4). Jak pokazują dalsze statystyki (5), częstotliwość kradzieży miedzi jest również zależna od odpowiedniej aktualnej ceny miedzi. Podczas gdy cena miedzi spadła w latach 2013 do 2016/17, w kolejnych latach odzyskała swoją wartość i osiągnęła wysoki poziom 420 centów amerykańskich za funt w 2022 roku (6). W związku z tym należy się spodziewać ponownego wzrostu kradzieży i wynikających z tego kosztów.

2. Holistyczne podejście do rozwiązań

Blokowanie torów, manipulowanie infrastrukturą, uszkodzanie komponentów lub kradzież kabli: odpowiednie działania są zwykle prowadzone na odcinkach torów, które trudno monitorować za pomocą obecnie dostępnych środków. Zastosowanie kamer monitorujących lub pracowników ochrony szybko osiąga swoje granice przestrzenne. Zakres monitorowanej infrastruktury, przebieg przez środowiska o różnych wymaganiach oraz charakter zdarzeń lub działań, które należy wykryć, stanowią poważne wyzwania dla odpowiednich rozwiązań. Zgodnie z celem, jakim jest zwiększenie efektywności i bezpieczeństwa, na tym tle pojawia się potrzeba zmniejszenia liczby pojedynczych, odizolowanych systemów. Zastosowanie wielu wysoce wyspecjalizowanych rozwiązań zwiększa jedynie złożoność systemów monitorowania. Potrzebne są raczej wspólnie opracowane koncepcje rozwiązań, w których zdefiniowane komponenty o określonym zakresie działania współgrają ze sobą, dane są gromadzone i w ten sposób generowane są użyteczne informacje. Na tej podstawie, przy uwzględnieniu nowych osiągnięć technologicznych, można stworzyć inteligentne systemy, które będą coraz wcześniej i dokładniej wykrywać niebezpieczne działania.

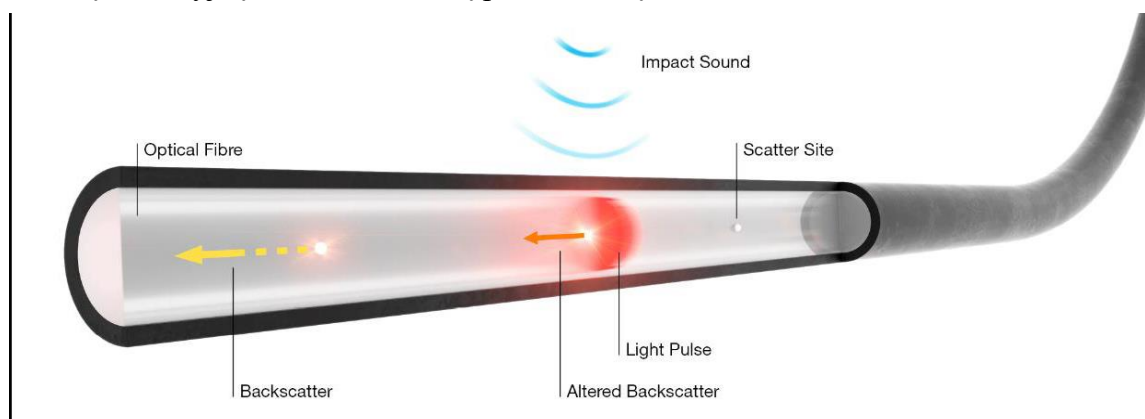
Podjęto już pierwsze kroki w kierunku całościowych koncepcji poprawy monitorowania infrastruktury torowej. Odpowiednie postępy poczyniono np. w ramach europejskiego projektu innowacyjnego SAFETY4RAILS. Z zebranych tam rozważań wynika również, że konieczna jest ścisła współpraca między różnymi systemami i zainteresowanymi stronami. Różne elementy ogólnego rozwiązania muszą być wysoce wyspecjalizowane, na przykład w gromadzeniu danych w czasie rzeczywistym wzdłuż trasy. Dane te muszą być następnie oceniane zgodnie z odpowiednimi wymaganiami i przekazywane do właściwych interfejsów. Do sensownego rozpowszechniania i dalszego przetwarzania tych informacji potrzebne jest zarządzanie wyższego szczebla, które koordynuje urządzenia monitorujące, zarządzanie ryzykiem i wynikającą z tego ochronę obiektów i komponentów w środowisku kolejowym.

Podczas gdy rozbudowa infrastruktury komunikacyjnej lub zastosowanie dronów i wykorzystanie zdjęć wykonanych przez satelity stanowią przyszłościowe formy przekazywania i wykorzystania informacji, również w dziedzinie gromadzenia danych wzdłuż torów stale pojawiają się nowe możliwości. Jedną z takich możliwości jest "czujnik światłowodowy" - technologia, która jest już z powodzeniem stosowana na całym świecie w ochronie granic i rurociągów.

3. Czujniki światłowodowe: szeroka baza informacji

Stworzenie szerokiej bazy danych dla holistycznej koncepcji monitorowania stanowi poważne wyzwanie dla istniejących technologii. Wiele z obecnie stosowanych rozwiązań ma bardzo ograniczony zasięg przestrzenny lub można je stosować tylko w określonych miejscach. Z kolei metody, które można wykorzystać do monitorowania szerszych obszarów, działają z opóźnieniem. Należy do nich wykorzystanie pracowników ochrony z psimi patrolami. Czujniki światłowodowe oferują możliwość generowania spostrzeżeń, które pomogą wykorzystać takie zasoby w bardziej ukierunkowany sposób.

Podstawowa zasada działania czujników światłowodowych (FOS) polega na obustronnym podłączeniu pojedynczego włókna kabla światłowodowego do specjalizowanych urządzeń optycznych w celu przekształcenia go w rozproszony (liniowy) czujnik drgań. Jak pokazano na rysunku 1, odbywa się to poprzez wysłanie 2000 impulsów laserowych na sekundę do sprężonego włókna. Odbite od ścianki włókna części tych impulsów są odbierane przez jednostkę odbiorczą. Te odbicia zmieniają się, gdy fale dźwiękowe i wibracyjne mechanicznie oddziałują na włókno. Poprzez pomiar tych zmian systemy FOS są w stanie monitorować różne działania i zdarzenia na podstawie impulsów akustycznych na dystansie do 80 km na jednostkę detekcyjną z rozdzielczością przestrzenną 6,4 m.



Rys. 1: Zasada działania czujników światłowodowych

Zgodnie z zasadą działania czujników światłowodowych, technologia ta umożliwia obszarowe monitorowanie całych stref wzdłuż światłowodu - w tym infrastruktury torowej, wzdłuż której on przebiega. Dzięki wysokiej czułości rozwiązań wykorzystujących najnowszą generację jednostek FOS, oprócz pociągów i zmian stanu torów, możliwe jest wykrywanie zdarzeń i procesów o stosunkowo niskiej energii drgań. Są to m.in. prace ziemne czy pojazdy mechaniczne, ludzie lub zwierzęta poruszające się w promieniu 10 m wokół światłowodu.

4. Mapowanie wykrytych zdarzeń

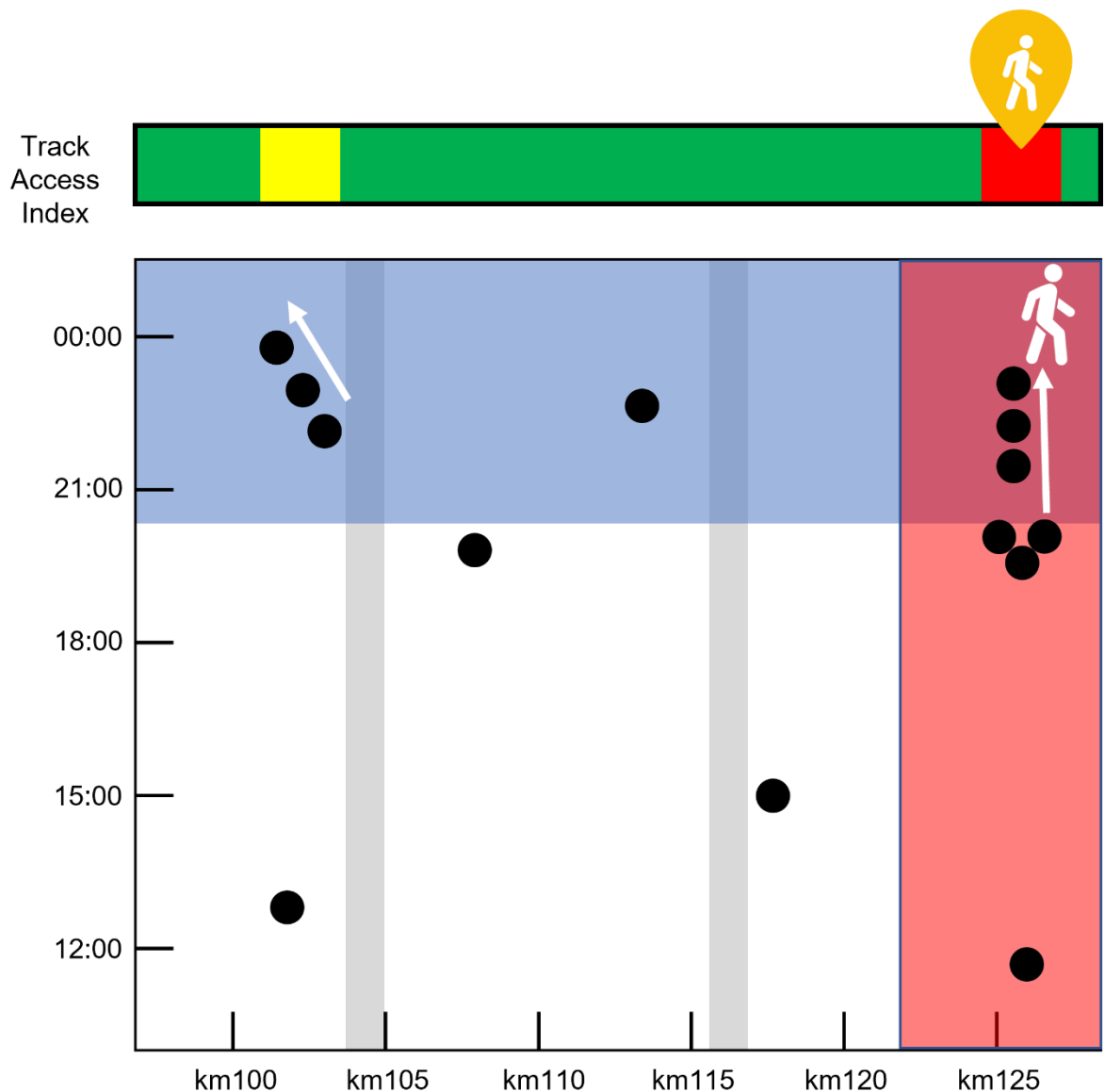
Dzięki wysokiej czułości systemów opartych na FOS, opisanych w rozdziale 3, możliwe jest wykrywanie nie tylko obiektów o dużej energii akustycznej, ale także procesów emitujących jedynie słabe drgania. Dotyczy to na przykład ludzkich kroków, ręcznego kopania czy wspinania się po ogrodzeniach. Takie podejrzane działania mogą być później analizowane w celu uzyskania wglądu w naturę potencjalnych zagrożeń.

Ocena znacznej ilości danych generowanych przez systemy FOS odbywa się przy użyciu inteligentnych algorytmów. Sensonic jest pionierem w tej dziedzinie od ponad trzech lat i opracował już odnoszące sukcesy metody ewaluacji dla różnych zastosowań w branży kolejowej.

W oparciu o technologiczne możliwości wykrywania podejrzanych działań na trasie wyposażonej w FOS, algorytmy takie mogą być wykorzystywane w koncepcjach do tworzenia schematycznych map dających przegląd zdarzeń istotnych dla bezpieczeństwa. W tym wypadku największe znaczenie musi mieć kontekstowa interpretacja poszczególnych zdarzeń, ponieważ pomaga to zrozumieć, gdzie faktycznie dochodzi do nietypowych działań. Może tak być np. w przypadku, gdy na niedostępnym dla publiczności odcinku linii kolejowej, w pobliżu toru iw nietypowym czasie zostaną zidentyfikowane ślady ludzkich kroków.

Poziom szczegółowości danych gromadzonych przez FOS pozwala na odpowiednie interpretacje. Poprzez ocenę danych historycznych i analizę trendów można na tej podstawie uzyskać wskazówki o zbliżających się zagrożeniach. Można na przykład założyć, że sabotażyści byli na miejscu kilka razy, aby zweryfikować możliwości przed dokonaniem czynu, takiego jak wymienione jako przykłady w punkcie 1. Już w tej fazie FOS może być wykorzystany do retroaktywnego generowania wskazań o wzmożonej aktywności na nietypowych dla tego celu odcinkach torów. Na tej podstawie można podjąć środki zapobiegawcze na przyszłość - takie jak instalacja kamer lub zwiększenie liczby patroli. Takie specjalistyczne zasoby bezpieczeństwa mogą być zatem rozmieszczone w sposób bardziej ukierunkowany i skupione na tych strefach, w których wykryto zwiększoną aktywność.

Zgodnie z opisanym powyżej procesem, staje się jasne, że podział na strefy monitorowanych obszarów jest ważnym pierwszym krokiem. Odbywa się to na przykład poprzez oznaczenie stacji lub niedostępnych, ale prawdopodobnie istotnych dla bezpieczeństwa obszarów. Ważnym elementem jest również uwzględnienie pór dnia. Rysunek 2 pokazuje przykład schematycznego przedstawienia monitorowanego obszaru.



Rys. 2. Wizualizacja koncepcyjna indeksu dostępu do torów

Przedstawia on przegląd wykrytych zdarzeń wzdłuż toru od kilometra (km) 95 do 130 (oś pozioma) w okresie od godziny 09:00 do 03:00 (oś pionowa). Szare pionowe paski przed km 105 i za km 115 oznaczają stacje. Niebieskie oznaczenie w górnej części obrazu podkreśla godziny nocne od ok. 08:00 do 03:00, czerwone oznaczenie po prawej stronie obejmuje odcinek toru uznany przez operatora za szczególnie krytyczny. W wyniku nakładania się tych obszarów powstaje skrzyżowanie odcinka toru i pory dnia, w której wykryte procesy zasługują na szczególną uwagę. Kroki wykryte przez system FOS wskazują na podejrzaną aktywność w tym miejscu i można rozpocząć wzmożony monitoring wyznaczonego obszaru.

W sumie opisane tu możliwości uświadamiają, że skuteczne koncepcje w sektorze bezpieczeństwa nie skupiają się na natychmiastowym alarmowaniu o krytycznych działaniach. Złapanie sabotażystów lub złodziei kabli na gorącym uczynku nie zawsze będzie możliwe ze względu na sam czas reakcji. Siła koncepcji opartych na technologiach takich jak FOS leży raczej w optymalizacji wykorzystania istniejących zasobów i ewentualnych przyszłych środków. Ogromna zaleta FOS jako technologii podstawowej polega między innymi na możliwości ciągłego monitorowania rzucających się w oczy elementów na wolnych, długich odcinkach dróg, jak również miejsc, które zasługują na szczególną uwagę w sposób

oszczędzający zasoby. Dzięki temu za pomocą jednej jednostki detekcyjnej można dokładnie monitorować zmiany na dystansie do 80 km i z lokalną rozdzielczością do 6,4 m. Chociaż FOS nie zapewnia kompleksowej ochrony, jest rozsądnym i niezwykle ważnym składnikiem pakietu środków bezpieczeństwa wzdłuż infrastruktury krytycznej, które będą konieczne w przyszłości.

5. Wnioski

Liczne przykłady dowodzą, że stale rosnące scenariusze zagrożeń dla kolei stają się coraz bardziej realne. Świadczy o tym również rosnąca liczba publikacji, projektów i rozwiązań mających na celu przeciwdziałanie tym zagrożeniom. Złożoność wymagań dotyczących zasobooszczędnych i wysoce wydajnych rozwiązań mających zaradzić tej sytuacji jest niezwykle wysoka, biorąc pod uwagę skalę sieci kolejowych i różnorodność działań, które należy monitorować. W niniejszym artykule pokazano, jak technologia czujników światłowodowych może zapewnić szeroką bazę informacji dla takich koncepcji. Dzięki możliwości wykrywania różnych działań na dużym obszarze i przekształcania danych o nich w informacje w czasie rzeczywistym, wygenerowane w ten sposób spostrzeżenia stanowią istotną podstawę dla skutecznej kontroli środków bezpieczeństwa. Dzięki temu firmy takie jak Sensonic mogą opracować inteligentne algorytmy, które łączą wykryte działania z informacjami dotyczącymi np. czasu i lokalizacji i automatycznie klasyfikują je jako podejrzane lub nie. W sumie, możliwość monitorowania wszystkich działań wzdłuż kompletnych sieci tras skutkuje koncepcją nadzoru o zwięzłym działaniu odstraszającym sabotażystów i złodziei.

Potencjał technologii dla tych zastosowań został już zademonstrowany w innych obszarach. Sintela, partner joint venture firmy Sensonic GmbH, od wielu lat dostarcza dostawcom zabezpieczeń rozwiązania do ochrony granic i rurociągów. Podczas gdy w tych zastosowaniach monitorowane są obiekty statyczne, a wszelkie interesujące zdarzenia są dzięki temu stosunkowo łatwe do odróżnienia, koleje mają w tym względzie swoje własne wymagania. Sensonic i Sintela były w stanie opracować system FOS i inteligentne algorytmy, które wykorzystują pełny potencjał technologii w tych szczególnych warunkach.

7. Źródła

- (1) R.o Setola, A. Sforza, V. Vittorini, C. Pragliola. Railway Infrastructure Security. Topics in Safety, Risk, Reliability and Quality. 2015. p. 28f
- (2) B. M. Jenkin, B. R. Butterworths. Train Wrecks and Track Attacks: An Analysis of Attempts by Terrorists and Other Extremists to Derail Trains or Disrupt Rail Transportation. 2018. p. 1
- (3) <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/schienenverkehr-sabotage-bei-derbahn-was-steckt-hinter-dem-zug-chaos-in-norddeutschland-vomsamstag/28731548.html>, 02 November 2022, 16:00
- (4) <https://kleineanfragen.de/bundestag/19/3914-kabeldiebstaehle-am-streckennetz-derdeutschen-bahn.txt>, 28 November 2022, 3:30 p.m.
- (5) <https://de.wikipedia.org/wiki/Metalldiebstahl>, 28 November 2022, 3:30 pm
- (6) <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37791/umfrage/kupferpreis-seit-2000/#:~:text=The%20copper%20price%20has%20increased%20in,420%20US%2DCent%20per%20pound>, 28 November 2022, 3:30pm.