

**System zur Zustandsüberwachung einer Leitung in einer
Energieführungskette**

10

Die Erfindung betrifft allgemein das Gebiet der Zustandsüberwachung einer elektrischen Leitung, insbesondere einer Leitung die durch eine dynamische Leitungsführungseinrichtung, wie z.B. eine Energieführungskette oder dgl., geführt ist, um einen beweglichen Verbraucher zu versorgen. Die Erfindung betrifft insbesondere die Überwachung bewegter Leitungen.

Eine begrenzte Lebensdauer und ggf. resultierender Ausfall einer derartigen Leitung, z.B. einer Versorgungsleitung für Daten und/oder für die Stromversorgung, ist bedingt durch die anwendungsbestimmte Bewegung unvermeidbar und kann zu kritischen Situationen und hohen Kosten führen.

Die Erfindung betrifft insbesondere ein System und Verfahren zur zur Leitungszustand-Überwachung im laufenden Echt-Betrieb der Leitung, umfassend eine Überwachungsvorrichtung, die ein erstes Modul und ein zweites Modul aufweist, welche jeweils beiderseits eines zu überwachenden Leitungsabschnitts vorgesehen, z.B. angeschlossen oder gekoppelt, sind. Dieser ist typisch in einer verfahrenbaren Leitungsführungseinrichtung zum geschützten Führen zumindest der überwachten Leitung angeordnet, wobei die Leitungsführungseinrichtung zumindest einen beweglichen Abschnitt zwischen einer ersten Anschlussstelle und einer dazu relativbeweglichen zweiten Anschlussstelle hat durch den der zu überwachende, weil durch Bewegung beanspruchte, Leitungsabschnitt

geführt ist.

Ein solches gattungsgemäßes System wurde z.B. in der WO 2020/104491 A1 der Anmeldering vorgeschlagen. Hierbei sind zwei zwei Module endseitig am zu überwachenden Leitungsabschnitt
5 vorgesehen. Diese Module nutzen jeweils Eigenschaften einer Protokollschicht eines digitalen Datenübertragungsprotokolls, um eine Zustandsüberwachung zu realisieren. Ein Nachteil hierbei ist, dass mit diesem Prinzip nur solche Leitungen überwacht werden können, die für ein derartiges digitales Daten-Protokoll, z.B.
10 ETHERNET, bestimmt oder zumindest auch hinreichend geeignet sind. Weiterhin wird durch das System ggf. die eigentliche Datenübertragung - weil deren Protokolleigenschaften genutzt werden sollen - zumindest geringfügig beeinflusst, durch zusätzliche Daten, die allein der Prüfung bzw. Überwachung des
15 Leitungszustands übertragen werden.

Eine Lösung zur on-line Leitungszustand-Überwachung im laufenden Betrieb ohne Beeinflussung der eigentlichen Nutzdaten-Übertragung wurde in DE10112844A1 vorgeschlagen. Hierbei erfasst das Prüfverfahren eine inaktive Phase des Datenübertragungsprotokolls,
20 z.B. über eine Feldbusleitung, um während der inaktiven Phase mittels einer Prüfeinrichtung ein Prüfsignal ohne Unterbrechung des Übertragungsprotokolls zu übertragen. Die Reflexion des Prüfsignals entlang der Übertragungsleitung wird detektiert und ausgewertet.

25 Anders als WO 2020/104491 A1 nutzen die meisten bisher vorgeschlagenen Lösungen, wie z.B. auch in der DE10112844A1, eine Reflexionsmessung, meist nach dem Prinzip der Zeitbereich-Reflektometrie (TDR: time-domain reflectometry) zur Bestimmung der Eigenschaften von elektrischen Leitungen durch Beobachtung der
30 reflektierten Wellenformen. Ein Vorteil hierbei ist, dass sich dadurch Fehlerstellen lokalisieren lassen. Diese Verfahren sind jedoch technisch sehr aufwendig und meist nicht für eine Anwendung im laufenden Betrieb (on-line) geeignet.

Eine erste Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es mithin eine

Lösung vorzuschlagen, welche eine Zustandsüberwachung einer elektrischen Leitung während des Betriebs erlaubt, wobei die Lösung mit möglichst geringem oder ohne Einfluss auf den bestimmungsgemäß Betrieb und/oder mit vergleichsweise geringem Aufwand realisierbar sein soll. Diese Aufgabe lösen unabhängig voneinander ein Überwachungssystem nach Anspruch 1, ein Adapter-System nach Anspruch 2 oder auch die Verwendung bzw. das Verfahren nach Anspruch 15.

Bei einem gattungsgemäßen Überwachungssystem nach dem Oberbegriff aus Anspruch 1 wird zur Aufgabenlösung vorgeschlagen, dass zwei Module zusammenwirkend ausgeführt sind, um im laufenden Betrieb zumindest eine elektrische Übertragungseigenschaft, des zu überwachenden Leitungsabschnitts in Bezug auf ein vorbestimmtes Hochfrequenz-Signal zu ermitteln, insbesondere eines HF-Signals das von der bestimmungsgemäßen Nutzung der zu überwachenden Leitung unabhängig ist bzw. bestimmungsgemäß nicht als Nutzsignal verwendet wird, und vorzugsweise möglichst störungsfrei ausgewählt für die Nutzung ist u.a. bzgl. möglicher Interferenzen. Hierbei wird nach einem Grundgedanken der Erfindung ein die Übertragungsqualität des bestimmungsfremden HF-Signals, über den Leitungsabschnitt, betreffender Wert, insbesondere hinsichtlich der empfangenen Signalstärke bzw. Signaldämpfung, ermittelt und zur Auswertung genutzt.

Hierzu wird insbesondere zunächst vorgesehen, dass das erste Überwachungs-Modul einen HF-Generator bzw. eine HF-Quelle umfasst, der mit der zu überwachenden Leitung gekoppelt ist, um ein vorbestimmtes HF-Signal als separates, von der zweckbestimmten Nutzung unabhängiges Signal, in Art eines Prüfsignals, auf den zu prüfenden Leitungsabschnitt zu bringen, z.B. in mindestens einen Leiter der Leitung elektrisch aufzubringen bzw. einzukoppeln (einzuspeisen, einzufügen, aufzuprägen oder dgl.).

Andererseits hat das zweite Modul einen für das HF-Signal geeigneten HF-Empfänger bzw. eine HF-Signalsenke, welcher mit der zu überwachenden Leitung gekoppelt ist, um vom Leitungsabschnitt das HF-Signal zu empfangen, und dass das Modul oder der HF-

Empfänger eingerichtet ist, Eigenschaften des empfangenen HF-Signals auszuwerten, um mindestens einen die Übertragungsqualität über den Leitungsabschnitt betreffenden Wert, insbesondere hinsichtlich der empfangenen Signalstärke bzw. Signaldämpfung, zu
5 ermitteln. Bevorzugt ist das zweite Modul eingerichtet ist, diesen Wert über eine weitere Verbindung, insbesondere eine drahtgebundene oder auch drahtlose Verbindung, an eine übergeordnete Einheit auszugeben.

Die Kopplung mit der zu überwachenden Leitung kann leitend oder
10 nicht-leitend, z.B. kapazitiv und/oder induktiv, erfolgen Je nach Anwendungsfall, bei Datenleitungen ggf. leitend, bei Versorgungsspannung führenden Leitungen vorzugsweise nicht-leitend z.B. zu Zwecken einer Schutzisolierung.

Vorliegend wird, wie allgemein in der Elektrotechnik mit
15 Hochfrequenz (HF, englisch RF für radio frequency) zunächst allgemein der Frequenzbereich von etwa 10 kHz bis zum THz-Bereich als Hochfrequenz (HF) bezeichnet (d.h. nicht etwa nur eingeschränktere HF-Definition aus der Funktechnik für Kurzwellen bzw. den Bereich zwischen MF-Funk und VHF-Funk). Unter
20 Hochfrequenz werden vorliegend insbesondere Frequenzen im Bereich von mindestens 1Mhz bis hin zu 10GHz verstanden, insbesondere auch typische Funkfrequenzen. Besonders bevorzugt kann eines der genehmigungsfreien und lizenzfreien ISM-Bänder (Industrial, Scientific and Medical Band) gemäß ITU Radio Regulations (Art. 5, ed. 2012) genutzt werden.
25

Weiterhin wird ein Adapter-System zur Zustandsüberwachung einer Leitung im Betrieb vorgeschlagen mit zwei entsprechenden Modulen, welche jeweils adapterartig an einem ersten Ende bzw. an einem zweiten Ende eines zu überwachenden Leitungsabschnitts
30 anschließbar sind. Erfindungsgemäß wird hierbei entsprechend vorgesehen, dass
- die Module zusammenwirkend ausgeführt sind, um im laufenden Betrieb mindestens eine elektrische HF-(Hochfrequenz)-Übertragungseigenschaft des Leitungsabschnitts in Bezug auf ein
35 vorbestimmtes HF-Signal zu ermitteln, welches Signal vorzugsweise

von der bestimmungsgemäßen Nutzung der zu überwachenden Leitung unabhängig ist, und

- das erste Modul einen HF-Generator umfasst, der mit der zu überwachenden Leitung koppelbar ist, um ein vorbestimmtes HF-Signal, als Prüfsignal aufzubringen; und
- das zweite Modul einen HF-Empfänger aufweist, welcher mit der zu überwachenden Leitung gekoppelt ist, um vom Leitungsabschnitt das aufgebrachte HF-Signal zu empfangen, und eingerichtet ist, Eigenschaften des empfangenen HF-Signals auszuwerten, um mindestens einen die Übertragungsqualität über den Leitungsabschnitt betreffenden Wert, insbesondere hinsichtlich der empfangenen Signalstärke bzw. Signaldämpfung, zu ermitteln.

Ferner kann zumindest das zweite Modul eingerichtet sein, diesen Wert über eine weitere Verbindung, insbesondere eine drahtgebundene Verbindung, an eine übergeordnete Einheit auszugeben.

Die Erfindung beruht zunächst auf dem kontraintuitiven Ansatz die Leitung zweckentfremdet zu nutzen für ein nicht bestimmungsgemäßes HF-Signal, welches insbesondere die Form eines ebenfalls kontraintuitiven Funksignals, das zur drahtlosen Übertragung bestimmt ist, haben kann. Die Erfindung kann ein Funksignal, insbesondere ein Funksignal das zur drahtlosen Datenkommunikation, zur Prüfung eines drahtgebundenen Leiters vorsehen. Es kann sich z.B. um ein Funksignal handelt mit einer hochfrequenten Trägerfrequenz auf welche ggf. durch Modulation Information aufgeprägt ist, auf deren Nutzung es jedoch für die bestimmungsgemäße Nutzung der Leitung nicht ankommt.

Ferner liegt der Erfindung die Erkenntnis zugrunde, dass es auf eine ungünstige Anpassung zwischen Leitung und dem HF-Signal nicht ankommt, wenn eine Nutzung des HF-Signals zu seiner eigentlichen Signalfunktion, etwa der Informationsübertragung, nicht beabsichtigt ist. Auf die absolute Übertragungsqualität des Prüfsignals kommt es nicht an für die Erfindung.

Im Gegenteil, ohne an Theorie gebunden sein zu wollen, steigen

Abstrahlverluste auf Leitungen mit Störstellen, insbesondere Ein- oder Zweidrahtleitungen, in etwa quadratisch mit der Signalfrequenz an. Demnach eignen sich höherfrequente Signale grundsätzlich für die Erkennung typischer Abnutzungserscheinungen
5 in bewegten flexiblen Leitungen, insbesondere in Energieführungsketten, wie z.B. durch Dauerbiegewechsel bedingte Querschnittsveränderungen, Knicke, Litzenbrüche oder andere Störstellen. Die Signaldämpfung kann z.B. bei idealisierten Eindraht- oder Zweidrahtleitern jedoch vergleichsweise niedrig
10 sein.

Grundsätzlich wird eine relative Veränderung der Übertragungsqualität des Prüfsignals überwacht und als Indikator für Abnutzung bzw. verschleißbedingte Degradation der Leitung ausgenutzt.

15 In einer Ausführungsform ist somit vorgesehen, dass das vorbestimmte HF-Signal, das der Überwachung dient, ein Funk-Datenübertragungssignal ist.

Hierbei können die HF-Einheiten (HF-Generator und/oder HF-Empfänger) jeweils als Bestandteile eines jeweiligen Funk-
20 Transceivers ausgeführt sein. Dadurch sind z.B. handelsübliche, preiswerte Funk-Transceiver verwendbar.

Eine günstige Ausführungsform sieht vor, dass HF-Generator und HF-Empfänger als Bestandteile einer integrierten Schaltung, insbesondere eines Funk-ICs (IC= integrated circuit/integrierter
25 Schaltkreis), ausgeführt sein. Die HF-Einheiten können vorzugsweise als Bestandteile von Funk-ICs vorliegen, die in beiden Modulen baugleich sind, was u.a. die Bauweise vereinheitlicht und Kosten senkt.

In einer solchen Ausführungsform ist vorzugsweise vorgesehen, dass
30 sowohl HF-Generator als auch HF-Empfänger jeweils als Bestandteile von Funk-ICs zur Datenübertragung nach einem handelsüblichen Drahtlos-Protokoll bzw. Drahtlos-Standard ausgeführt sind, welche inhärent bereits eine Funktion zur Schätzung der empfangenen Signalstärke implementieren. Beispiele solcher Funk-ICs sind z.B.

ICs oder Chipsets für WLAN, LoRa-WAN, LTE oder ähnliche Protokolle/Standards zur drahtlosen Datenübertragung. Die eigentliche Funktion zur Datenübertragung muss bzw. soll dabei nicht zum Einsatz kommen, sondern primär eine integrierte Funktion zur Signalgüte-Bestimmung, insbesondere zur Schätzung der relativen Qualität des über den überwachten Abschnitt empfangenen HF-Signals bzw. Funk-Signals. So sieht beispielsweise WLAN/WiFi, im 2,4GHz-Frequenzband (IEEE 802.11b/g/n) oder 5GHz-Frequenzband (IEEE 802.11a/h und IEEE 802.11n), eine RSSI-Messung oder eine RCPI-Messung vor. Der RSSI zeigt den Leistungspegel an der empfangen wird. Auch bei LoRa-WAN, z.B. mit Frequenzband von ca. 433 bis 435 MHz (ISM-Band Region 1) und von 863 bis 870 MHz (SRD-Band) in Europa oder Frequenzband 902 bis 928 (Grundfrequenz 915 MHz) in Nordamerika ist eine RSSI-Messung oder dgl. typisch bereits als mitgelieferte Funktion handelsüblicher LoRa-ICs vorgesehen. Auch andere vergleichbare Ansätze zur Einschätzung der empfangenen Signalstärke bzw. der Signaldämpfung über die überwachte Leitung liegen im Rahmen der Erfindung.

Vorzugsweise wird hierzu eine protokoll- bzw. standardinhärent implementierte Funktion eines handelsüblichen Funk-ICs zur Datenübertragung nach einem handelsüblichen Drahtlos-Protokoll bzw. Drahtlos-Standard genutzt. Dies vermeidet u.a. die Kosten aufwendiger Messtechnik, wie bei gängigen TDR-Ansätzen üblich.

Das genutzte HF-Signal hat vorzugsweise ein von der bestimmungsgemäßen Nutzung der eigentlichen Nutzenanwendung der zu überwachenden Leitung möglichst unabhängiges Frequenzspektrum, insbesondere in einem deutlich höheren Frequenzband, z.B. insbesondere in einem Frequenzband um eine Grundfrequenz f im Bereich im Bereich von 1 MHz bis zu 10 GHz, insbesondere im Bereich $100 \text{ MHz} < f < 7 \text{ GHz}$. Dabei kann auch/alternativ eine Trägerfrequenz für eine protokoll- bzw. standardinhärente Modulation in diesem Bereich liegen. Die Auswahl sollte so erfolgen, dass das HF-Signal möglichst wenig Interferenz mit dem Nutzsignal der Leitung erzeugt.

Erste Versuche anhand eines beispielhaften Prototyps haben

gezeigt, dass ein Aufbringen bzw. Einfügen eines LoRa-Funksignals auf einer ETHERNET-Leitung eine hinsichtlich Verschleiß- bzw. Abnutzung sensitive Überwachung anhand des RSSI-Werts erlaubt, ohne übermäßige Störung der ETHERNET-Übertragung.

- 5 Somit kann vorzugsweise vorgesehen sein, dass zumindest das zweite Modul eingerichtet ist, insbesondere der HF-Empfänger bzw. die Funk-IC(s) vorkonfiguriert ist/sind, für eine HF-Dämpfungsmessung des empfangenen HF-Signals, insbesondere für eine RSSI-Messung. Bei baugleichen ICs liegt die Eignung in beiden Modulen vor, 10 sodass auch eine austauschbare Verwendung bei geeigneter Ausführung möglich ist.

- Insbesondere bei Verwendung herkömmlicher Funk-ICs, können diese mittels einem bestimmungsgemäßen Antennen-Anschluss mit dem zu überwachenden Leitungsabschnitt gekoppelt bzw. koppelbar sein, 15 wozu ggf. eine geeignete Kopplungseinheit bzw. Kopplungsschaltung vorgesehen wird.

- In einer Ausführungsform umfassen beide Module eine Kopplungsschaltung zur galvanischen Kopplung von HF-Generator bzw. HF-Empfänger mit dem zu überwachenden Leitungsabschnitt. Diese 20 kann vorteilhaft weitere Funktionseinheiten umfassen insbesondere:
- ein erstes Filterglied, insbesondere mit auf das HF-Signal abgestimmter Filtercharakteristik;
 - ein Umschaltglied zur wählbaren Kopplung mit unterschiedlichen Leitern einer Mehrleiter-Leitung umfasst; und/oder
 - 25 - ein Impedanz-Anpassungsglied.

Weitere vorteilhafte Weiterbildungen des Systems bzw. des Moduls sind den Unteransprüchen 8-14 zu entnehmen.

- Die Überwachung unter Verwendung der Module erfolgt vorzugsweise laufend während des Nominalbetriebs, ggf. z.B. zeitdiskret zu 30 vorbestimmten regelmäßigen oder unregelmäßigen Zeitpunkten.

Hervorzuheben ist hierbei insbesondere die vorzugsweise externe Weiterverarbeitung des Qualitätswerts des Prüfsignals, welcher indikativ für die Übertragungsqualität über den überwachten

Leitungsabschnitt ist. Hierzu kann das als Empfänger dienende Modul den bestimmten Wert, z.B. einen RSSI-Wert, ggf. nach Umwandlung in einen Digitalwert in beliebig geeignetem Format an eine separate Auswerteeinheit übermitteln.

- 5 In einer Ausführungsform ist somit vorgesehen, dass das System eine separate Auswerteeinheit aufweist, welche Information zum Zustand der zu überwachenden Leitung auf Grundlage des die Übertragungsqualität betreffenden Werts ermittelt und hierzu z.B. den Wert mit vorgespeicherter Information vergleicht.

- 10 Ergänzend oder alternativ hierzu kann das zweite Modul über eine weitere Verbindung, insbesondere eine drahtgebundene oder auch drahtlose Verbindung, mit einer übergeordneten Einheit bzw. der Auswerteeinheit verbindbar bzw. verbunden sein.

- Die Auswerteeinheit kann hierzu insbesondere den
- 15 Übertragungsqualitäts-Wert, z.B. RSSI-Wert, mit einem vorgeschicherten Toleranzbereich vergleichen. Der Toleranzbereich ist typisch anwendungsabhängig, u.a. z.B. von Leitungstyp, Leitungslänge, verwendeten Steckern und weiteren Parametern abhängig. Der Toleranzbereich kann bei Inbetriebnahme durch eine
- 20 Initialisierung und/oder über einen anfänglichen als fehlerfrei betrachteten Betriebszeitraum festgelegt und z.B. in der Auswerteeinheit gespeichert werden. Würde rein beispielhaft bei Inbetriebnahme nach einigen Verfah-Hüben einer Energiekette der RSSI-Wert schwanken zwischen -52dBm bis -56dBm (Decibel-Milliwatt)
- 25 bis, so könnte als Toleranzbereich ein Wert von +/-2dBm um diese Werte d.h. von -50dBm bis -58dBm als Nominal akzeptabel angesehen werden. Jedes Verlassen eines vorbestimmten Toleranz-Bereichs kann als potentieller Schlechtfall gewertet werden. Die Entscheidung auf einen Schlechtfall sollte, zur Vermeidung von False-Negative
- 30 Ergebnissen gegebenenfalls mit Entscheidungs-Toleranz, z.B. per Integral über ein mitlaufendes Zeitfenster, eine Reaktion auslösen. Die Reaktion kann z.B. eine Wartungsmeldung zur prädiktiven Wartung oder auch einem Steuerungssignal zum Auslösen zu einem Anlagenstopp zu Sicherheitszwecken.

Als ein bevorzugter Ansatz wird derzeit die Überwachung, z.B. eines RSSI-Werts oder ähnlichen Werts, der eine Aussage über empfangene Signalstärke bzw. Signaldämpfung liefert, und dessen Vergleich mit einem vorgespeicherten Toleranzbereich angesehen.

- 5 Der vorgespeicherte Toleranzbereich kann z.B. aus Erfahrungswerten einprogrammiert bzw. parametrisiert oder durch einen Initialisierungsprozess passend zur Anwendung angelernt werden, wobei auch andere Ansätze möglich sind.

- 10 Allgemein bevorzugt wird eine laufende Überwachung während dem Betrieb der Leitungsführungseinrichtung.

- Die vorgeschlagenen Module können bei leitender Einkopplung zur überwachten Leitung passend gewählte Buchsen für eine lösbare Steckverbindung aufweisen. Da eines der beiden Module insbesondere am beweglichen Verbraucher, außerhalb der Energieführungskette
15 bzw. dynamischen Leitungsführung angeordnet ist, kann das vorgeschlagene System inhärent den nicht selten auftretenden Fall eines Fehlers im Stecker am beweglichen Anschluss erkennen. Aufgrund der Bewegungsbeanspruchung kommt es in der Praxis regelmäßig zu Fehlerfällen, welche nicht durch Verschleiß in der
20 eigentlichen Leitung, sondern durch mechanische Belastung, etwa Zugkraft auf einer der Adern, welche den Stecker am beweglichen Anschluss versagen lässt. Auch in diesem Fall kann eine Verschlechterung der Übertragung inhärent miterfasst werden.

- Weiterhin betrifft die Erfindung auch ein Verfahren bzw. die
25 Verwendung eines Systems zur Zustandsüberwachung einer Leitung im Betrieb (on-line) mit den Verfahrensmerkmalen nach dem unabhängigen Anspruch 15.

- Es kommen neben Energieführungsketten aus einzelnen Gliedern auch andere Arten von dynamischen Leitungsführungen in Betracht, bei
30 denen Leitungen im Betrieb dynamisch beansprucht werden. Rein beispielhaft offenbart z.B. WO 2016/042134 A1 eine flexible Leitungsführung für Reinraumanwendungen, auf welche die Erfindung ebenso anwendbar ist.

Die vorgeschlagene Lösung eignet sich zur Zustandsüberwachung

unterschiedlicher Leitungen, nebst Datenleitungen z.B. Busleitungen auch für Stromversorgungsleitungen, im laufenden Betrieb. Dabei kann die Leitung insbesondere in einer dynamischen Leitungsführung geführt sein. Das Prinzip ist auf
5 unterschiedlichste Datenleitung anwendbar, z.B. ETHERNET (IEEE 802.3), PROFIBUS oder andere industrielle Feldbus-Arten, wie etwa der CAN-Bus, EIA-485 oder dergleichen oder sonstige Steuerleitungen z.B. Das vorgeschlagene Prinzip ist jedoch, anders als bei WO 2020/104491 A1, ohne Weiteres auch auf
10 Versorgungsleitungen zur reinen Stromversorgung anwendbar.

Die vorgeschlagene Lösung erlaubt insbesondere vorausschauende bzw. präventive Wartung zur Vermeidung von Ausfällen.

Weitere vorteilhafte Merkmale und Wirkungen der Erfindung werden nachfolgend ohne Beschränkung der Allgemeinheit des Vorstehenden
15 anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen erläutert. Hierbei zeigen:

FIG.1: eine Prinzip-Skizze in Seitenansicht einer Energieführungskette mit einem erfindungsgemäßen Überwachungssystem nach einem ersten
20 Ausführungsbeispiel;

FIG.2: ein Prinzip-Schema eines Moduls zum Aufbringen eines HF-Signals auf eine Leitung;

FIG.3A: ein Prinzipschema eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Moduls für ein Überwachungssystem,
25 insbesondere nach FIG.1;

FIG.3B: ein Prinzipschema eines Systems mit zwei Modulen nach dem Prinzip aus FIG.3A, für ein Überwachungssystem, insbesondere nach FIG.1;

FIG.4: als Anwendungsbeispiel eine Seitenansicht eines
30 Industrieroboters mit einer räumlich auslenkbaren Energieführungskette, die mit einem Überwachungssystem gemäß FIG.1 ausgerüstet werden kann; und

FIG. 5: eine Prinzip-Skizze in Seitenansicht einer
Energieführungskette mit einem erfindungsgemäßen
Überwachungssystem nach einem zweiten
Ausführungsbeispiel mit induktiver Kopplung.

5 In FIG.1 ist als Beispiel einer dynamischen
Leitungsführungseinrichtung eine schematisch gezeigte
Energieführungskette allgemein mit 1 bezeichnet. Die
Energieführungskette 1 dient zur geschützten Führung von
elektrischen Leitungen (nicht näher gezeigt), zu einem beweglichen
10 Verbraucher. Zwischen einem bewegten Trum 2, hier dem Obertrum,
und einem ruhenden Trum 3, hier dem Untertrum, bildet die
Energieführungskette 1 einen mitfahrenden Umlenkbogen 4 mit
vorgegebener Krümmung. Der Umlenkbogen 4 hat zur Vermeidung von
Leitungsbrüchen einen vorgegebenen, minimalen Krümmungsradius. Die
15 Energieführungskette 1 gewährleistet damit, dass die zulässigen
Krümmungsradien der geführten Leitungen nicht unterschritten
werden. Die Energieführungskette 1 bildet typisch einen inneren
Führungskanal, in welchem eine anwendungsabhängige Anzahl und Art
von Leitungen geführt sind. Die Bauweise der Energieführungskette
20 1 ist nicht entscheidend für die Erfindung, es kommen z.B. alle an
sich bekannten dynamischen Leitungsführungen in Betracht, ggf.
auch solche ohne einzelne Kettenglieder, z.B. bandartige oder in
einem flexiblen Schlauch geführte Leitungspakete.

FIG.1 zeigt rein beispielhaft eine typische Anordnung mit linear
25 und in einer Ebene, z.B. horizontal, verfahrbarer
Energieführungskette 1. In FIG.1 endet das bewegte Trum 2 endet an
einem ersten Anschlussende 2A, z.B. in einem Endglied, das an
einem Mitnehmer eines beweglichen Maschinenteils (nicht gezeigt)
befestigt ist. Das ruhende Trum 3 endet an einem zweiten
30 Anschlussende 3A, z.B. in einem Endglied, das an einem festen
Punkt der Maschine bzw. Anlage befestigt ist wie schematisch in
FIG.1 angedeutet. FIG.4 zeigt eine andere, häufig an
Industrierobotern genutzte Art der Energieführungskette mit
räumlich auslenkbaren Gliedern, d.h. eine dreidimensional
35 bewegliche Energieführungskette.

FIG.1 zeigt schematisch als einen Aspekt der Erfindung eine Überwachungsvorrichtung, die allgemein mit 10 bezeichnet ist. Die Überwachungsvorrichtung 10 umfasst ein erstes Modul 200A und ein zweites Modul 200B, welche erfindungsgemäß HF(Hochfrequenz)-
5 Einheiten umfassen, wie nun näher beschrieben.

Die Module 200A, 200 wirken zusammen, um im laufenden Betrieb der Leitung 13 bzw. der damit versorgten Maschine bzw. Anlage mindestens eine elektrische HF (Hochfrequenz)-Übertragungseigenschaft eines in der Energieführungskette 1
10 geführten Leitungsabschnitts 130 (FIG.3B) einer Leitung in Bezug auf ein vorbestimmtes HF Signal zu ermitteln, das als Prüfsignal eigens zu diesem Zwecke auf den Leitungsabschnitt 130 gekoppelt wird.

FIG.2 zeigt sehr schematisch das erste Modul 200A, mit einem einen
15 HF-Generator (englisch: RF, radio frequency), welches ein vorbestimmtes HF Signal 20, in FIG.2 schematisch punktiert dargestellt, hier auf eine überwachte Einzelader 13A aufgibt bzw. (ein-)koppelt. Das Signal 13A ist von den in der bestimmungsgemäßen Nutzung der Leitung 13 verwendeten Signalen 23,
20 schematisch strichpunktiert auf der Einzelader 13A dargestellt, unabhängig und erzeugt vorzugsweise minimale oder keine nennenwerten Interferenzen hiermit. Das eigentliche Betriebssignal 23 kann z.B. rein beispielhaft ein ETHERNET-Signal sein, ein Signal nach einen beliebigen Industriebus, oder auch ein Signal
25 eines nicht-paketbasierten Bussystems, oder einer beliebigen digitalen oder analogen Steuerleitung oder Messleitung z.B. für einen Aktor (Antrieb, Motor, oder dgl.) oder einen beliebigen Sensor, z.B. einen Drehgeber.

Die Erfindung ist grundsätzlich auch auf Stromversorgungsleitungen
30 anwendbar. Wie FIG.2 schematisch zeigt, hat das erste Modul 200A einen HF-Generator 210, der mit der zu überwachenden Leitung 13, hier z.B. einer Einzelader 13A gekoppelt ist, um ein das vorbestimmte HF-Signal, als eine Art zu Prüfsignal, zusätzlich auf die Einzelader 13A aufzubringen. Grundsätzlich kommt dazu,
35 insbesondere bei Datenleitungen, jede geeignete leitende oder,

insbesondere bei spannungsführenden Versorgungsleitungen eine berührungslose Kopplung, insbesondere induktive Kopplung in Betracht.

Wie FIG.3B näher zeigt ist das zweite Modul 200B am anderen Ende
5 des zu überwachenden Leitungsabschnitts 130 angeschlossen, z.B. durch eine Stecker-Buchse Verbindung. Die Module können adapterartig ausgeführt sein, mit Eingangs- und Ausgangsbuchsen passend zur überwachten Leitung, z.B. RJ-45 Buchsen für eine CAT7-ETHERNET-Leitung, oder anderen geeigneten Buchsen. FIG.3B
10 veranschaulicht schematisch mehrere Einzeladern 13A, 13B usw. die hier beispielhaft als vier Paar Twisted-Pair-Leitungen vorliegen, jedoch anwendungsspezifisch sind, d.h. von der zu überwachenden Leitung 13 abhängen.

Das zweite Modul 200B hat einen HF-Empfänger, z.B. in Form eines
15 HF-Transceivers 210 (vgl. FIG.3A), welcher mit der zu überwachenden Leitung gekoppelt ist, und vom Leitungsabschnitt 130 das Prüfsignal bzw. HF-Signal 20 abgreift bzw. empfängt. Das zweite Modul 200B ist insbesondere eingerichtet bzw. konfiguriert einen Wert zu ermitteln, welcher die empfangene Qualität des
20 Prüfsignals, insbesondere die Signalstärke bzw. die Signaldämpfung des empfangenen HF-Signals 20 am beweglichen Anschluss der Leitung 13 mit dem Modul 200 darstellt. Hierzu ist z.B. der HF-Transceiver 210 im zweiten Modul 200B eingerichtet um Eigenschaften des empfangenen HF-Signals auswerten, und so zur Übertragungsqualität
25 über den Leitungsabschnitt 130 einen indikativen Wert zur Signalstärke bzw. die Signaldämpfung zu generieren.

Wie FIG.1 zeigt, ist das zweite Modul 200B bevorzugt eingerichtet, um zumindest diesen Wert über eine weitere Verbindung, z.B. einen drahtgebundene USB-Anschluss, welcher zugleich das Modul 200B
30 elektrisch versorgt, an eine übergeordnete Überwachungseinheit 100 auszugeben, z.B. an ein Modul das unter Handelsbezeichnung „i.Cee:plus“ oder „iCom“ von der Fa. igus GmbH, 51147 Köln erhältlich ist. Die Überwachungseinheit 100 kann insbesondere zur Kommunikation mit der Anlagentechnik in der gewünschten Anwendung,
35 oder mit einer Cloud-Lösung eingerichtet sein.

In einer Ausführungsform wird in beiden Modulen 200A, 200B ein baugleicher integrierter Schaltkreis für eine Funk-Datenübertragung, kurz Funk-IC 210 (Engl. Fachjargon „radio“) verwendet, der sowohl als Sender (Tx) bzw. HF-Generator und als
5 Empfänger (Rx) nutzbar ist. Somit sind HF-Generator und HF-Empfänger bevorzugt durch den Transceiver (Trx) eines solchen Funk-IC 210 realisiert.

Bevorzugt wird ein Funk-IC 210 für einen handelsüblichen Funk-Standard im ISM Band, z.B. LoRa-WAN (Long Range Wide Area Network:
10 siehe <https://loro-alliance.org/>) mit RSSI-Messung oder ähnlich eingesetzt. Ebenfalls in Betracht kommt ein WLAN-IC bzw. Chipsatz, insbesondere gemäß Wi-Fi bzw. einem Standard der IEEE-802.11 Familie. In Betracht kommt vorzugsweise jeder Funk-IC 210 der eine RSSI- (Received Signal Strength Indicator) oder RSSI-ähnliche
15 Funktion, z.B. RCPI (Received Channel Power Indicator) nach IEEE-802.11 aufweist. Somit ist der empfängerseitige Funk-IC 210 im zweiten Modul 200B inhärent und zu geringen Kosten geeignet, den gewünschten Wert über die empfangene Signalstärke bzw. die Signaldämpfung bereitzustellen, insbesondere als digitalen
20 Ausgabewert nach Herstellerspezifikation des Funk-ICs 210. Der HF-Empfänger kann den Wert in beliebigem Format, z.B. auch als eine analoge Spannung an einem Anschluss ausgegeben.

Bei einigen handelsüblichen Funk-ICs 210 wird der RSSI z.B. in der Zwischenfrequenzstufe (ZF) vor dem ZF-Verstärker abgeleitet. Der
25 RSSI-Ausgang kann dann als analoger DC-Pegel vom IC bereitgestellt und z.B. extern in einen digitalen Wert umgewandelt werden.

Jeglicher vergleichbare analoge Wert, welcher ein geeigneter Funk-IC 210, als Ergebnis einer integrierten Empfangsfeldstärke-Messung liefert, kann z.B. geräteabhängig skaliert und umgewandelt als
30 RSSI-Wert, bzw. als dimensionslosen Leistungspegel, in der Einheit dBm, oder in ASU (Arbitrary Strength Unit) oder dgl. ausgedrückt und verwertet werden. Ein solcher analoger Wert aus der ZF-Stufe im Funk-IC 210 kann auch von einem internen Analog-Digital-Wandler (ADC) im Funk-IC 210 abgetastet werden, welcher
35 resultierende Werte digital über eine Schnittstelle, z.B. einen

peripheren Prozessorbus zur Verfügung stellt. Auf die spezielle Art der Bereitstellung und des Wertes kommt es nicht an.

Die Erfindung kann grundsätzlich jede geeignete Art einer hinreichend deterministischen Ermittlung, Schätzung oder Messung, insbesondere hinsichtlich der Qualität des empfangenen Prüfsignals, z.B. der Signalstärke bzw. Signaldämpfung oder Empfangsfeldstärke, vorteilhaft einsetzen. Besonders kostengünstig ist die Nutzung handelsüblicher Funk-ICs 210 mit einer bereits integrierten Funktion hierfür, wie z.B. die RSSI-Bestimmung bei einem LoRa-WAN IC oder die RCPI-Bestimmung eines WiFi-IC. Typisch liegt der Wert in einem Bereich von <0 dBm (Idealwert verlustfreier Übertragung) bis zu -100 dBm ([quasi] kein Signalempfang) auf einer logarithmischen Skala. Auch andere Funk-Standards bieten solche Funktionen, z.B. LTE.

FIG.3A veranschaulicht eine Hardware-Realisierung, welche sowohl als senderseitiges erstes Modul 200A, als auch als empfängerseitiges zweites Modul 200B nutzbar ist. Hierbei sind die Module 200A bzw. 200B insbesondere hardwaremäßig baugleich ausgeführt, aber ggf. softwaremäßig unterschiedlich konfiguriert bzw. programmiert, insbesondere als Sender (Tx) und als Empfänger (Rx) mit Auswertungsfunktion bzw. der Qualität des Empfangssignals.

Dementsprechend ist der verwendete Funk-IC 210, z.B. ein LoRa-WAN IC, mittels dessen Antennen-Anschluss 212 mit dem zu überwachenden Leitungsabschnitt 130 gekoppelt. Zur Kopplung ist im Modul 200A, 200B eine Kopplungsschaltung 220 vorgesehen, hier z.B. zur galvanischen Kopplung des Antennen-Anschluss 212 mit dem zu überwachenden Leitungsabschnitt 130, insbesondere mit einer oder wahlweise einer von mehreren Einzeladern 13A, 13B usw.

In der Kopplungsschaltung 220 kann ein erstes Filter, bzw erstes Filterglied vorgesehen sein, insbesondere mit einer auf das HF-Signal 20 abgestimmten Filtercharakteristik, sodass möglichst geringe bzw. kein Anteil der bestimmungsgemäßen Signale 23 auf den Antennenanschluss 212 gelangen. Das Filterglied kann z.B. als

steilflankiger π -Filter bzw. Bandpassfilter auf das Funk-Frequenzband des HF-Signals 20 eingestellt sein und vorzugsweis in Analogtechnik mit diskreten Komponenten realisiert sein. Die Kopplungsschaltung 220 kann ggf. eine Umschalteinheit bzw. ein

5 Umschaltglied zur wählbaren bzw. einstellbaren Kopplung mit unterschiedlichen Leitern bzw. Adern 13A, 13B usw (vgl. FIG.3B) des Leitungsabschnitts 130 aufweisen, insbesondere wenn die Funktionsfähigkeit aller Leitungen überwacht werden muss. Gegebenenfalls kann weiterhin mindestens ein Impedanz-

10 Anpassungsglied vorgesehen sein für zumindest verbesserte eine Anpassung zwischen Adern 13A, 13B usw. und Antennen-Anschluss 212.

Allgemein bevorzugt wird ungeachtet der verwendeten Art der Kopplung, d.h. z.B. auch bei induktiver Kopplung, eine geeignete Entkoppel-Filterschaltung vorgesehen, welche alle parasitären,

15 insbesondere leitungsgebundenen, bzw. unerwünschten Ausbreitungswege des Prüfsignals bzw. HF-Signals 20 unterdrückt und das Prüfsignal auf den überwachten Leitungsabschnitt 130 beschränkt.

Weiterhin zeigt FIG.3A einen Schaltungsbestandteil bzw.

20 Einrichtung 230 zum Durchschleifen der Leitung 13 bzw. deren Einzelleiter 13A, 13B zwecks bestimmungsgemäßer Nutzung der zu überwachenden Leitung während der Überwachung. In diesem Schaltungsbestandteil 230 ist vorzugsweise ein Filterglied 232 umfasst, welches die Übertragung des HF-Signals zu einem der

25 beiden Anschlüsse 201, 202 für die Leitung 13 hin im Wesentlichen auf den zu überwachenden Leitungsabschnitt 130 beschränkt. Hierzu kann das Filterglied 232 z.B. als Bandsperre bzw. Bandstopppfilter ausgeführt welches das Frequenzband des pseudo Funk-Signals bzw. Prüfsignals 20 möglichst nicht in die Teile 15, 16 der

30 Kundenanlage passieren lässt.

Das Modul hat vorzugsweise eine im bzw. mit dem Gehäuse 204 realisierte möglichst umfassende Abschirmung zur möglichst vollständigen Reduzierung von Funk-Abstrahlung durch den Funk-IC 210, sodass eine ungewollte Luftverbindung zwischen den Modulen

35 200A, 200B möglichst ausgeschlossen wird. Die Abschirmung des

Gehäuse 204 verhindert auch, dass z.B. externe Funksignale stören und die Diagnoseergebnisse kurzzeitig oder dauerhaft verfälschen.

Das Modul kann zur Steuerung und/oder Signalauswertung bzw. Weiterverarbeitung der Werte aus dem Funk-IC 210 weiterhin eine

5 Steuereinheit, insbesondere eine programmierbare integrierte Schaltung wie einen Mikroprozessor 240 oder dgl. aufweisen. Dieser kann über einen weiteren geeigneten Anschluss 203 zwecks Datenverbindung mit der Auswerteeinheit 100 verbunden werden, z.B. über einen USB-Anschluss zur Steuerung des HF-Generators bzw. HF-

10 Empfängers im Funk-IC 210 aufweist. Über Mikroprozessor 240 und Anschluss 203 kann z.B. auch eine wahlweise Einstellung auf Senderverhalten, zur Verwendung als erstes Modul 200A, oder Empfängerverhalten und Auswertung, zur Verwendung als zweites Modul 200B, erfolgen. Wie die Architektur in FIG.3A erkennen

15 lässt, ist das gezeigte Modul 200A/200B wahlweise als Sender oder Empfänger einsetzbar, wozu lediglich eine umgekehrte Verwendung der Anschlüsse (Tausch Anlagenseite / Energieketten-Seite) und entsprechende Programmierung nötig ist.

Die Stromversorgung (nicht gezeigt) kann entweder über die

20 überwachte Leitung 13 oder auch über z.B. den USB-Anschluss 203 erfolgen, je nachdem ob das Modul als Sender-Modul 200A oder Empfänger-Modul 200B genutzt wird, da das Empfänger-Modul 200B vorzugsweise über den Anschluss 203 an die übergeordnete separate Auswerteeinheit 100 angeschlossen, und z.B. mit dieser in einem

25 Schaltschrank montiert sein kann.

Die Auswerteeinheit 100 erhält vom Modul 200B bzw. vom Funk-IC 210 laufend ggf. über die Steuereinheit 240 und den Anschluss 203 oder alternativ über eine weitere nicht gezeigte externe

30 Drahtlosverbindung den aktuellen die Übertragungsqualität betreffenden Wert, z.B. RSSI-Wert und vergleicht diesen z.B. mit vorgespeicherter Referenzinformation, vorzugsweise mit einem Toleranzbereich, und/oder leitet diesen Wert an eine weitere übergeordnete Rechner-Steuerung weiter, welche die Werte auswertet und ggf. in die Anlage eingreifen kann, z.B. einen Not-Stopp

35 auslöst.

Die Auswerteeinheit 100 oder eine andere vorzugsweise von den kompakten kostengünstigen Modulen 200A, 200B getrennte Einheit ermittelt Zustands-Information zum Zustand der zu überwachenden Leitung auf Grundlage des erhaltenen Werts betreffend die

5 Empfangsqualität am Modul 200B, welche aussagekräftig ist über unerwünschte physische Veränderungen im überwachten Leitungsabschnitt 130 sowie ggf. dessen Steckverbindungen mit den Anschlüssen 201 bzw. 202.

In einem Ausführungsbeispiel wertet die Auswerteeinheit 100 selbst

10 RSSI-Werte aus durch Vergleich mit einem zuvor gespeicherten Toleranzbereich. Bei dessen Unterschreitung oder auch Überschreitung, die Auswerteeinheit 100 eine Warn- bzw. Fehlermeldung an einen übergeordneten Überwacher ab, vorzugsweise über einen separaten Kanal. Hierdurch wird prädiktive Wartung ermöglicht, da eine

15 Verschlechterung der Empfangsqualität am Empfänger-Modul 200B in der Regel eintritt bevor die Leitung 13 gänzlich versagt.

FIG.4 zeigt als beispielhaften Anwendungsfall für eine Überwachungsvorrichtung 10 einen Gelenkarmroboter 40, z.B. zur vollautomatischen Handhabung von Werkstücken in einem

20 Fertigungsprozess. Von der ortsfesten Basis 40A des Gelenkarmroboters führt hier z.B. eine erste linear verfahrbare Energieführungskette 1, ähnlich FIG.1-3, zu einem Drehgelenk von dem aus eine räumlich auslenkbare zweite Energieführungskette 41 (z.B. gemäß WO 2004/093279 A1) weiterführt zum Endeffektor 42 bzw. endseitigen

25 Roboterwerkzeug. Am Endeffektor 42 sind typisch eine Anzahl Aktoren und Sensoren vorgesehen, die bereits für ein gängiges Feldbus-Protokoll oder z.B. das PROFINET-Protokoll geeignet sind.

Auch diese Aktoren und Sensoren können über ein Leitung 13, welche mit einem Abschnitt 130 (FIG.3B) in der zweiten Energieführungskette

30 41 geführt ist, versorgt werden. Somit kann eine Überwachungsvorrichtung 10 nach dem Prinzip aus FIG.1-2 und FIG.3A-3B mindestens eine oder ggf. alle Daten- und/oder Signalleitungen die durch die Energieführungsketten 1, 41, insbesondere durch die Energieführungskette 41, geführt sind auf ihren Verschleiß-Zustand

35 hin überwachen. Hierzu sind lediglich preiswert realisierbare Module 200A, 200B und ggf. eine Auswerteeinheit 100, die auch in Form eines

Softwaremoduls auf einem bereits vorhandenen Rechner realisiert sein kann, erforderlich. Es kann als Auswerteeinheit 100 auch eine bereits vorhandene Steuerungs-Einheit oder Überwachungseinheit genutzt werden.

- 5 Der relevant Qualitätswert des Prüfsignals kann, bei Verwendung von Transceivern, ggf. vom Empfänger-Modul 200B, in einem Sende-Modus, an das Sender-Modul 200A zurückübermittelt werden. Somit kann umgekehrt als in FIG.1 gezeigt, kann auch das Empfänger-Modul 200B am bewegten Maschinen- oder Anlagenteil angeordnet sein, und ggf. über das
- 10 Prüfsignal 20 z.B. RSSI-Werte kontinuierlich an das Sender-Modul 200A zurückübermitteln, welcher dann wiederum mit der Auswerteeinheit 100 verbunden ist.

- Das vorgeschlagene System zur Überwachung des Leitungszustands bietet somit eine preiswerte Lösung zur Unterstützung prädiktiver Wartung und/oder zur Verringerung bzw. Vermeidung von Ausfallzeiten. Die
- 15 Erfindung erlaubt es u.a. anfälligere und ggf. auch kostenintensive Datenleitungen, Spezialleitungen oder dgl. hinsichtlich ihrer möglichen Lebensdauer maximal zu nutzen, d.h. einen unnötig frühen Austausch zu vermeiden.

- 20 Die Lösung ist weiterhin auch auf Stromversorgungsleitungen anwendbar.

- FIG.5 zeigt ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel mit zwei Modulen 500A, 500B zum induktiven Einkoppeln bzw. Auskoppeln des Prüfsignals 20 (FIG.2) auf den zu überwachenden Leitungsabschnitt 130, einer
- 25 Leitung 13 die in einer Energieführungskette 1 geführt ist (vgl. FIG.1).

- Hierzu ist gemäß FIG.5 in jedem Modul 500A, 500B eine Induktionsspule 520 um einen jeweiligen Endbereich des Leitungsabschnitts 130 gewickelt und koppelt das gewünschte
- 30 Prüfsignal 20 induktiv ein bzw. aus. Jedes Modul 500A, 500B hat zwei konjugierte bzw. zueinander passende Halbschalen 504A, 504B, welche eine möglichst umfassende Abschirmung zur möglichst vollständigen Reduzierung von Funk-Abstrahlung über eine ungewollte Luftverbindung bzw. Funkverbindung zwischen den Modulen
- 35 500A, 500B. Dies verhindert auch, dass z.B. externe Funksignale

stören.

In einer Halbschale 504A ist jeweils eine Schaltung in entsprechender Bauweise zu FIG.3A vorgesehen, zum Einkoppeln bzw. Auskoppeln des Prüfsignals 20. Die Schaltung (nicht näher gezeigt) verfügt ebenfalls
5 über einen geeigneten Funk-IC 210 (vgl. FIG.3A), auf dessen Frequenzband z.B. die Länge der Induktionsspule 520 angepasst ist. Die Induktionsspule 520 ist mit dem Funk-IC 210 leitend verbunden. Im Gegensatz zu FIG.3A erfolgt bei FIG.5 die Ein- und Auskopplung des Prüfsignals 20 in die Leitung 13 jedoch rein induktiv, d.h.
10 ohne Veränderung an der zu prüfenden Leitung 13.

Die beiden Halbschalen 504A, 504B weisen ferner Formnuten auf, um eine vorbestimmte Wicklungsgeometrie, insbesondere gleichbleibende Wicklungsschlaglänge und gleichen Radialabstand der Induktionsspule 520 zur Leitung 13 zu gewährleisten. Ein- und Auskopplung des
15 Prüfsignals 20 werden auch in FIG.5 bevorzugt über baugleiche Einheiten bzw. Module 500A, 500B realisiert.

Eine induktive Kopplung mit dem Leitungsabschnitt 130 kann in jeder geeigneten Bauart realisiert werden. Alternativ zu der in FIG.5 gezeigten Bauweise ist dies bspw. auch in Art eines Stromwandlers
20 bzw. Einwicklungs-Trafos (Engl. single-winding-transformer) realisierbar. Hierbei kann in jedem Modul 500A, 500B um den Endbereich des Leitungsabschnitts 130 jeweils ein magnetisierbarer Ringkern, z.B. Ferritkern bestehend aus zwei Kernteilen, z.B. Ringhälften, angeordnet werden (nicht gezeigt). Mit dem Ringkern
25 kann die Induktionsspule 520 in Art eines induktiven Stromwandlers bzw. Durchsteckwandlers als Sekundärspule zusammenwirken, wobei der Leitungsabschnitt 130 im Idealschaltbild die (einzige) Primärwicklung darstellt. Auch auf diese Art kann eine Übertragung des Prüfsignals zwischen den Induktionsspulen 520 erzielt werden,
30 die eine Überwachung des Zustands des Leitungsabschnitts 130 ermöglicht.

Eine induktive Kopplung, etwa gemäß FIG.5, ist grundsätzlich zu bevorzugen. Ein wesentlicher Vorteil der induktiven Kopplung besteht darin, dass die Module 500A, 500B ohne jegliche Veränderung bzw. ohne
35 Eingriff an der zu überwachenden Leitung angebracht werden können,

durch einfaches umwickeln bzw. umgeben an den gewünschten Stellen beidseitig der Energieführungskette 1. Die induktive Kopplung, z.B. gemäß FIG.5, eignet sich insbesondere auch für spannungsführende Versorgungsleitungen, an denen aus Sicherheitsgründen Eingriffe eher
5 unerwünscht sind.

Bei geeigneter Auswahl des Funk-IC 210 erlaubt die Erfindung eine preiswerte Lösung ohne komplexe Technik, die im Betrieb nutzbar ist, ohne die bestimmungsgemäße Nutzung der Leitung 13, z.B. übertragener Daten, zu stören. Das Prüfsignal 20 kann ggf. nur zur
10 Prüfung von dessen Übertragungsqualität genutzt werden, d.h. muss insbesondere nicht zur eigentlichen Nachrichten- bzw. Informationsübertragung genutzt werden.

Insbesondere werden andererseits für die eigentliche Anwendung bestimmungsgemäße Signale der überwachten Leitung 13 selbst nicht
15 eingesetzt zu Überwachungszecken. Weiterhin wird mit vergleichsweise geringer Leistung eine laufende ggf. kontinuierliche Überprüfung/Überwachung des Leitungszustands ermöglicht.

Es können zur Prüfung der Empfangsqualität im Empfänger-Modul
20 verschiedene Metriken verwendet werden, sofern diese zum aktuellen Zustand des Leitungsabschnitts eine Aussagekraft haben.

Das erfindungsgemäße System bzw. Verfahren ermittelt Datenübertragungseigenschaften der Leitungen im laufenden Betrieb mittels HF-Technik. Damit besteht nicht mehr die Notwendigkeit
25 zusätzlicher Leiter bzw. Messadern oder Opferadern. Die Module 200A, 200B bzw. 500A, 500B bilden Durchgangsadapter am Anfang und Ende des zu überwachenden Bereichs, insbesondere durch die Leitungsführungseinrichtung 1, 42. Eine kompakte Bauform der Module 200A, 200B bzw. 500A, 500B ermöglicht eine leichte
30 nachträgliche Installation. Anschließend werden die erfassten Werte im laufenden Betrieb weiterverarbeitet. Bei beginnender Verschlechterung der Übertragungseigenschaften kann dies unmittelbar als Indikator für einen rechtzeitigen Leitungsaustausch gelten. Auch können Anlagenstillstände durch

diese intelligente Zustandsüberwachung der gesamten, bewegten
Leitung inklusive Steckverbinder verhindert werden.

K720314WO

PE/mb-tb

April 2022

Anmelder:**igus GmbH****51147 Köln**

5

**System zur Zustandsüberwachung einer Leitung in einer
Energieführungskette**

Bezugszeichenliste

10

FIG. 1

- 1 Leitungsführungseinrichtung (Energieführungskette)
- 2 bewegtes Trum
- 2A erstes Anschlussende
- 15 3 ruhendes Trum
- 3A zweites Anschlussende
- 4 Umlenkbogen
- 10 Überwachungsvorrichtung
- 100 Überwachungseinheit
- 20 13 Busleitung/Versorgungsleitung
- 15 erster Bereich (Kunden-Netz/-Bus)
- 16 zweiter Bereich (Kunden-Netz/-Bus)
- 200A erstes Modul
- 200B zweites Modul

25

FIG. 2 und FIG. 3A-3B

- 13 Leitung
- 13A, 13B Einzeladern (z.B. Twisted Pair)
- 20 Funksignal
- 30 23 Nutzsinal
- 130 überwachter Leitungsabschnitt
- 200A erstes Modul
- 200B zweites Modul
- 201, 202, 203 Anschlüsse (Buchsen, z.B. RJ-45).
- 35 204 Gehäuse (mit Abschirmung)
- 210 Funk-IC (z.B. LoRaWAN)

- 212 Antennen-Anschluss
- 220 Kopplungsschaltung
- 230 Durchlass-Schaltung
- 232 Filter
- 5 240 Steuereinheit (Mikroprozessor)

FIG. 4

- 1 erste Energieführungskette (linear verfahrbar)
- 10 2 erstes Trum
- 3 zweites Trum
- 4 Umlenkbogen
- 40 Gelenkarmroboter
- 40A Basis
- 15 41 zweite Energieführungskette (räumlich auslenkbar)
- 42 Endeffektor

FIG. 5

- 13 Leitung
- 20 130 Überwachter Leitungsabschnitt
- 500A erstes Modul
- 500B zweites Modul
- 504A erste Halbschale
- 504B zweite Halbschale
- 25 520 Induktionsspule / Antenne

5

ANSPRÜCHE

10

1. Überwachungssystem zur Zustandsüberwachung einer Leitung, die durch eine Leitungsführungseinrichtung, insbesondere eine Energieführungskette, geführt ist, umfassend:
 - eine verfahrbare Leitungsführungseinrichtung (1; 41) zum Führen einer Leitung zwischen einer ersten Anschlussstelle und einer dazu relativbeweglichen zweiten Anschlussstelle, wobei die Leitungsführungseinrichtung (1; 41) mindestens einen beweglichen Abschnitt aufweist und mindestens eine Leitung (13), welche mit einem zu überwachenden Leitungsabschnitt (130) durch die Leitungsführungseinrichtung (1; 41) geführt ist; und
 - eine Überwachungsvorrichtung (10), die ein erstes Modul (200A) und ein zweites Modul (200B) aufweist, welche jeweils beiderseits des zu überwachenden Leitungsabschnitts vorgesehen sind; **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - die Module (200A, 200B) zusammenwirkend ausgeführt sind, um im laufenden Betrieb zumindest eine elektrische Übertragungseigenschaft des Leitungsabschnitts (13A; 13B) in Bezug auf ein vorbestimmtes Hochfrequenz(HF)-Signal zu ermitteln, und
 - das erste Modul (200A) einen HF-Generator umfasst, der mit der zu überwachenden Leitung (13) gekoppelt ist, um ein vorbestimmtes HF-Signal als Prüfsignal, welches Signal vorzugsweise von der bestimmungsgemäßen Nutzung der zu überwachenden Leitung unabhängig ist, auf den

- Leitungsabschnitt (130) zu koppeln bzw. bringen; und
- das zweite Modul (200B) einen HF-Empfänger aufweist, welcher mit der zu überwachenden Leitung gekoppelt ist, um vom Leitungsabschnitt (130) das HF-Signal auszukoppeln bzw. zu empfangen, und eingerichtet ist, Eigenschaften des empfangenen HF-Signals auszuwerten, um mindestens einen die Übertragungsqualität über den Leitungsabschnitt (130) betreffenden Wert, insbesondere hinsichtlich der empfangenen Signalstärke bzw. Signaldämpfung, zu ermitteln.
2. **Adapter-System** zur Zustandsüberwachung einer Leitung im Betrieb, umfassend ein erstes Modul (200A) und ein zweites Modul (200B), welche jeweils adapterartig an einem ersten Ende bzw. an einem zweiten Ende eines zu überwachenden Leitungsabschnitts (130) anschließbar bzw. koppelbar sind; **dadurch gekennzeichnet, dass**
- die Module (200A, 200B) zusammenwirkend ausgeführt sind, um im laufenden Betrieb mindestens eine elektrische HF- (Hochfrequenz)-Übertragungseigenschaft des Leitungsabschnitts (130) in Bezug auf ein vorbestimmtes HF-Signal zu ermitteln, welches Signal vorzugsweise von der bestimmungsgemäßen Nutzung der zu überwachenden Leitung (13) unabhängig ist, und
 - das erste Modul (200A) einen HF-Generator (210) umfasst, der mit der zu überwachenden Leitung (13) koppelbar ist, um ein vorbestimmtes HF-Signal, als Prüfsignal aufzubringen; und
 - das zweite Modul (200B) einen HF-Empfänger (210) aufweist, welcher mit der zu überwachenden Leitung gekoppelt ist, um vom Leitungsabschnitt (130) das aufgebrachte HF-Signal zu empfangen, und eingerichtet ist, Eigenschaften des empfangenen HF-Signals auszuwerten, um mindestens einen die Übertragungsqualität über den Leitungsabschnitt betreffenden Wert, insbesondere hinsichtlich der empfangenen Signalstärke bzw. Signaldämpfung, zu ermitteln.
3. System nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass
- dass das vorbestimmte HF-Signal (20) ein Funk-

Datenübertragungssignal ist, und/oder

- dass HF-Generator und HF-Empfänger jeweils als Bestandteile eines jeweiligen Funk-Transceivers (210) ausgeführt sind.

4. System nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass HF-Generator und HF-Empfänger jeweils als Bestandteile einer integrierten Schaltung, insbesondere eines Funk-ICs (210), ausgeführt sind, vorzugsweise als Bestandteile von in beiden Modulen (200A, 200B) baugleichen Funk-ICs (210).
5. System nach einem der Ansprüche 3 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest das zweite Modul (206B) eingerichtet, insbesondere der HF-Empfänger bzw. die Funk-IC(s) (210) vorkonfiguriert ist/sind, für eine Messung der Stärke des empfangenen HF-Signals (20), insbesondere für eine RSSI-Messung.
6. System nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass HF-Generator und HF-Empfänger, insbesondere beide Funk-ICs (210), mittels einem bestimmungsgemäßen Antennen-Anschluss (212) mit dem zu überwachenden Leitungsabschnitt gekoppelt bzw. koppelbar sind.
7. System nach einem der Ansprüche 1 bis 6, insbesondere nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass beide Module (500A, 500B) eine Kopplungsschaltung umfassen zur induktiven Kopplung mit dem zu überwachenden Leitungsabschnitt, wobei die Kopplungsschaltung jeweils insbesondere eine Kopplungsspule (520) aufweist, welche
 - um einen Endbereich des zu überwachenden Leitungsabschnitts (130) wickelbar bzw. gewickelt ist; oder
 - um einen um einen Endbereich des zu überwachenden Leitungsabschnitts angeordneten bzw. anordenbaren magnetisierbaren Ringkern gewunden ist, um das Prüfsignal induktiv in den überwachenden Leitungsabschnitt einzukoppeln bzw. auszukoppeln und mit dem HF-Generator bzw. HF-Empfänger leitend verbunden ist.
8. System nach einem der Ansprüche 1 bis 6, insbesondere nach

- Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass beide Module (200A, 200B) eine Kopplungsschaltung (220) umfassen zur galvanischen Kopplung von HF-Generator bzw. HF-Empfänger mit dem zu überwachenden Leitungsabschnitt, wobei die Kopplungsschaltung insbesondere:
- ein erstes Filterglied, insbesondere mit auf das HF-Signal abgestimmter Filtercharakteristik;
 - ein Umschaltglied zur wählbaren Kopplung mit unterschiedlichen Leitern der Leitung umfasst; und/oder
 - ein Impedanz-Anpassungsglied umfasst.
9. System nach einem der Ansprüche 1 bis 8, insbesondere nach Anspruch 7 oder nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Modul (200A, 200B) jeweils mindestens ein Filterglied (232) umfasst, welches die Übertragung des HF-Signals im Wesentlichen auf den zu überwachenden Leitungsabschnitt beschränkt.
10. System nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das System eine separate Auswerteeinheit (100) aufweist, welche Information zum Zustand der zu überwachenden Leitung (13) auf Grundlage des die Übertragungsqualität betreffenden Werts ermittelt, insbesondere den Wert mit vorgespeicherter Referenzinformation, vorzugsweise einem Toleranzbereich vergleicht; und/oder
- zumindest das zweite Modul (200B) über eine weitere Verbindung, insbesondere eine drahtgebundene Verbindung, mit einer übergeordneten Einheit bzw. der Auswerteeinheit (100) verbindbar bzw. verbunden sind.
11. System nach einem der Ansprüche 1 bis 10, insbesondere nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Modul (200A, 200B) eine Abschirmung (204) zur Reduzierung, vorzugsweise Vermeidung, von Funk-Abstrahlung aufweist, wobei die Abschirmung insbesondere durch zwei um einen Endbereich des zu überwachenden Leitungsabschnitts verschließbaren Halbschalen ausgeführt ist.

12. System nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Modul (200A, 200B; 500A, 500B) eine Einrichtung (520) zum Koppeln mit der zu überwachenden Leitung und/oder eine und eine Einrichtung (230) zum Durchschleifen
5 der Leitung bzw. deren Einzelleiter (13A, 13B...) zwecks bestimmungsgemäßer Nutzung der zu überwachenden Leitung (13) während der Überwachung aufweist .
13. System nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kopplung (220) des Moduls mit dem zu
10 überwachenden Leitungsabschnitt als leitende Kopplung oder als berührungslose Kopplung, insbesondere induktive Kopplung, ausgeführt ist.
14. System nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Modul eine Steuereinheit (240),
15 insbesondere eine programmierbare integrierte Schaltung, zur Steuerung des HF-Generators bzw. HF-Empfängers (210) aufweist.
15. Verwendung eines Systems zur Zustandsüberwachung einer Leitung im laufenden Betrieb, umfassend ein erstes Modul und ein
20 zweites Modul, welche jeweils adapterartig an einem ersten Ende bzw. an einem zweiten Ende eines zu überwachenden Leitungsabschnitts vorgesehen sind, und, wobei
- die Module zusammenwirken, um im laufenden Betrieb mindestens eine elektrische Übertragungseigenschaft des
Leitungsabschnitts in Bezug auf ein vorbestimmtes HF-Signal zu
25 ermitteln, welches von der bestimmungsgemäßen Nutzung der zu überwachenden Leitung unabhängig ist, und
- das erste Modul ein vorbestimmtes Funk-Signal als Prüfsignal auf den Leitungsabschnitt bringt bzw. einkoppelt; und
- das zweite Modul vom Leitungsabschnitt das Funk-Signal
30 empfängt, und Eigenschaften des empfangenen Funk-Signals auswertet, um einen Indikatorwert betreffend die Übertragungsqualität, insbesondere die Signaldämpfung, des empfangenen Funksignals zu ermitteln, wobei dieser
Indikatorwert, vorzugsweise an eine separate
35 Überwachungseinheit weitergegeben, zur Auswertung des

überwachten Leitungszustands genutzt wird.